SENSOR DAN KONTROL JARINGAN IoT

Dalam Komunikasi Nirkabel Di Industri



Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

SENSOR DAN KONTROL JARINGAN IoT

Dalam Komunikasi Nirkabel Di Industri

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

BIO DATA PENULIS

Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yang diperoleh dari Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang dan dari Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga (UKSW) Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen dan ilmu sosiologi. Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sertifikasi keahlian dalam bidang Jaringan Internet, Telekomunikasi, Artificial Intelligence, Internet Of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Technopreneurship, Internet Marketing dan bidang pengolahan dan analisa data (komputer statistik).

Penulis adalah pendiri dari Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM) dan juga seorang dosen yang memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor Kepala (Associate Professor) yang telah menghasilkan puluhan Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta dan Hak Paten pada produk IPTEK. Penulis juga terlibat dalam berbagai organisasi profesi dan industri yang terkait dengan dunia usaha dan industri, khususnya dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul untuk memenuhi kebutuhan dunia kerja secara nyata.

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :
YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK
JL. Majapahit No. 605 Semarang
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

ISBN 978-623-6141-79-3

SENSOR DAN KONTROL JARINGAN IoT

Dalam Komunikasi Nirkabel Di Industri

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

JL. Majapahit No. 605 Semarang

Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144

Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

SENSOR DAN KONTROL JARINGAN IoT
Dalam Komunikasi Nirkabel Di Industri

Penulis :
Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom., M.Si., MM.

ISBN : 9 786236 141793

Editor :
Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom., M.Kom.

Penyunting :
Dr. Mars Caroline Wibowo. S.T., M.Mm.Tech

Desain Sampul dan Tata Letak :
Irdha Yunianto, S.Ds., M.Kom.

Penebit :
Yayasan Prima Agus Teknik Bekerja sama dengan
Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM)

Redaksi :
Jl. Majapahit no 605 Semarang
Telp. (024) 6723456
Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

Distributor Tunggal :
Universitas STEKOM
Jl. Majapahit no 605 Semarang
Telp. (024) 6723456
Fax. 024-6710144
Email : info@stekom.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin dari penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang maha esa, bahwa buku "SENSOR DAN KONTROL JARINGAN IoT, Dalam Komunikasi Nirkabel Di Industri" telah diselesaikan. Buku ini terdiri 3 bagian utama yaitu: (1) Jaringan Kontrol Digital; (2) Jaringan Sensor Nirkabel Industri; (3) Internet of Things (IoT) pada Industri. Jaringan kontrol industri memainkan peran penting dalam kontribusi sistem kontrol pada industri karena memungkinkan semua komponen dalam sistem saling berhubungan serta dapat memantau dan mengontrol peralatan secara fisik di lingkungan industri.

Perkembangan teknologi elektronik membuat seluruh sistem kontrol mekanis digantikan oleh sistem kontrol digital yang mengadopsi dari mikroprosesor daya dan pengontrol digital. Pergerakan sistem digital ini membutuhkan teknologi komunikasi dan protokol komunikasi dan unit pengontrolyang sesuai secara inheren. Pada buku ini dibahas tentang inti jaringan kontrol industri, yang terdiri dari protokol fieldbus dalam standar IEC 61158 sebagai serial digital, multi-drop, bus data untuk dapat berkomunikasi dengan unit kontrol industri dan perangkat instrumentasi lainnya.

Pada bagian ke dua dari buku ini membahas tentang jaringan sensor nirkabel Industri yang menganalisis dan mengevaluasi Industrial Wireless Sensor Networks (IWSN) atau Jaringan Sensor Nirkabel Industri dengan teknologi nirkabel. Aspek yang disorot dalam bagian ini adalah poin-poin kunci yang terdiri dari mekanisme Medium Access Control (MAC) dan standar komunikasi nirkabel untuk bidang industri. Selain hal itu, aplikasi jaringan tersebut terdiri dari penginderaan lingkungan, pemantauan kondisi, dan aplikasi proses otomatisasi untuk merancang jaringan yang didasarkan pada persyaratan aplikasi yang spesifik. Hal Ini menunjukkan tantangan teknologi dalam menyebarkan WSN di lingkungan industri serta solusi yang diusulkan untuk masalah tersebut. Daftar ekstensif solusi komersial IWSN dan penyedia layanan yang disediakan serta tren masa depan di bidang IWSN telah dirangkum pada bagian ini.

Pada bagian ke tiga dari buku ini membahas Internet of Things (IoT) pada Industri. Kemunculan Industrial Internet of Things (IIoT) telah berhasil memberikan keberhasilan yang besar dan manfaat ekonomi dalam sistem instalasi, perawatan, keandalan, keakuratan dan kemampuan antar bagian. Pada bagian ke tiga ini dapat disebut sebagai teknologi yang menjadi "state of the art" sepanjang jaman. Aplikasi yang luas dari IIoT pada industri yang mengadopsi teknologi internet secara fisik telah memunculkan paradigma baru dalam dunia logistik yang akan dibahas dalam buku ini. Semoga pembaca buku ini mendapat manfaat yang besar dan pengetahuan yang baru, yang berguna dan bermanfaat bagi perkembangan teknologi.

Semarang, 1 September 2021

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
KATA PENGANTAR ..... **iii**
DAFTAR ISI ..... **iv**
BAGIAN I JARINGAN KONTROL INDUSTRI 1
BAB 1 GAMBARAN UMUM JARINGAN KONTROL INDUSTRI 2
1.1 Pendahuluan 2
1.2 Arsitektur Jaringan Kontrol Industri 3
1.3 Persyaratan Jaringan Kontrol Industri 5
1.4 Teknologi Komunikasi untuk Jaringan Kontrol Industri 7
1.5 Tren dan Isu 13
1.6 Kesimpulan 14
BAB 2 PROTOKOL FLEXRAY: TUJUAN DAN FITUR 16
2.1. Pendahuluan 16
2.2. Sistem FlexRay 17
2.3. Penjadwalan Pesan untuk Sistem FlexRay 19
2.4. Verifikasi dan Validasi 23
2.5. Perangkat Lunak dan Perangkat Keras 24
2.6. Kesimpulan 26
BAB 3 KOMUNIKASI MENGGUNAKAN CONTROLLER AREA NETWORK PROTOKOL 27
3.1. Pendahuluan 27
3.2. Ikhtisar Protokol CAN 28
3.3. Fitur Utama 34
3.4. Kesimpulan 36
BAB 4 SISTEM KONTROL TERDISTRIBUSI MENGGUNAKAN DUAL FIELDBUS 37
4.1. Pendahuluan 37
4.2. Sistem Kontrol Terdistribusi Redundan 40
4.3. Implementasi dan Uji Eksperimental 48
4.4. Kesimpulan 53
BAB 5 MENERAPKAN MODBUS DAN ANTARMUKA KONVERSI PROTOKOL CAN BUS 55
5.1. Pendahuluan 55
5.2. Modbus dan CAN Bus 56
5.3. Desain Antarmuka Konversi 60
5.4. Kesimpulan 61
BAB 6 PROTOKOL MIL-STD-1553 DALAM APLIKASI KECEPATAN DATA TINGGI 62
6.1. Pendahuluan 62
6.2. Pekerjaan Terkait 62

6.3. Infrastruktur Protokol Jaringan MIL-STD-1553 64
6.4. Analisis Perbandingan Teknologi Bus Data Berkecepatan Tinggi 68
6.5. Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan 74
BAB 7 PENELITIAN DAN DESAIN UNIT KONTROL BUS PROTOKOL 1553B **.....** 76
7.1 Pendahuluan 76
7.2 1553B Protokol 76
7.3 Desain BCU 78
7.4 Emulasi Logika 82
7.5 Kesimpulan 83
BAGIAN II JARINGAN SENSOR NIRKABEL INDUSTRI 84
BAB 8 GAMBARAN UMUM TENTANG JARINGAN SENSOR NIRKABEL 85
8.1 Pendahuluan 85
8.2 Jaringan Sensor Nirkabel 86
8.3 Topologi Jaringan dari Jaringan Sensor Nirkabel 87
8.4 Aplikasi WSN 89
8.5 Fitur Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel 92
8.6 Teknologi dan Aplikasi yang Ada 94
8.7 Kesimpulan 95
BAB 9 Fieldbus Nirkabel untuk Jaringan Industri 96
9.1 Pendahuluan 96
9.2 Teknologi Fieldbus Nirkabel 99
9.3 Masalah di Jaringan Fieldbus Nirkabel 103
9.4 Kesimpulan 104
BAB 10 JARINGAN SENSOR NIRKABEL UNTUK APLIKASI INDUSTRI 105
10.1. Pendahuluan 105
10.2. Jaringan Sensor Nirkabel Industri 106
10.3. Standar Industri 107
10.4. Jaringan Sensor Nirkabel untuk Aplikasi Industri 112
10.5. Kesimpulan 115
BAB 11 PROTOKOL MAC UNTUK JARINGAN SENSOR NIRKABEL HEMAT ENERGI 117
11.1. Pendahuluan 117
11.2. Properti Jaringan Sensor Terkait Lapisan MAC 117
11.3. Pertimbangan Akses Ganda dalam Properti Jaringan Sensor 119
11.4. Protokol Lapisan MAC yang Diusulkan 123
11.5. Masalah Terbuka dan Kesimpulan 130
BAB 12 AKSES MULTI-SALURAN KOPERASI UNTUK JARINGAN NIRKABEL INDUSTRI BERBASIS STANDAR 802.11 132
12.1. Pendahuluan 132

12.2. Peningkatan Throughput 132
12.3. Penundaan Akses 137
12.4. Mengurangi Dampak Interferensi Antar-simpul 140
12.5. Kesimpulan 141
BAB 13 KONTROL AKSES MENENGAH 802.11 DCF DAN PCF 142
13.1. Pendahuluan 142
13.2. Protokol Akses Media IEEE 802.11 142
13.3. Perbandingan Kinerja 145
13.4. Kesimpulan 146
BAB 14 TEKNOLOGI ULTRA-WIDEBAND DAN APLIKASINYA 148
14.1. Pendahuluan 148
14.2. Sejarah dan Latar Belakang 148
14.3. Konsep UWB 150
14.4. Teknologi UWB 152
14.5. Teknologi dan Standar 154
14.6. Aplikasi UWB 158
14.7. Kesimpulan 160
BAB 15 TEKNOLOGI ULTRA-WIDEBAND UNTUK APLIKASI MILITER 161
15.1. Pendahuluan 161
15.2. Tinjauan Teknis Sistem Ultra-Wideband 162
15.3. Teknologi Ultra-Wideband untuk Aplikasi Militer 162
15.4. Kesimpulan 166
BAB 16 PERUTEAN REAL-TIME SADAR ENERGI UNTUK INTERNET OF THINGS INDUSTRI SKALA BESAR 168
16.1. Pendahuluan 168
16.2. Karya Terkait 170
16.3. Model Sistem 172
16.4. Skema Perutean Waktu Nyata Sadar Energi (ERRS) 175
16.5. Evaluasi Kinerja 180
16.6. Kesimpulan 186
BAB 17 KERANGKA PERSEPSI 3D UNTUK TATA LETAK KONTAINER BERTUMPUK DI INTERNET FISIK 187
17.1. Pendahuluan 187
17.2. Tinjauan Pustaka 188
17.3. Masalah dan Metodologi 190
17.4. Rumusan Matematika dari Soal CSP 193
17.5. Aplikasi dan Hasil 196
17.6. Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan 200

BAB 18 KERANGKA INFORMASI LAYANAN INTERNET OF THINGS 202
18.1. Pendahuluan 202
18.2. Infrastruktur IoT untuk Internet Fisik 205
18.3. Arsitektur Berorientasi Layanan untuk IOT 214
18.4. Manajemen Komposit kontainer: Studi Kasus 216
18.5. Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan 219
DAFTAR PUSTAKA 220

BAGIAN I
JARINGAN KONTROL INDUSTRI

Jaringan kontrol industri memainkan peran penting dalam kontribusi sistem kontrol pada industri karena memungkinkan semua komponen dalam sistem saling berhubungan serta dapat memantau dan mengontrol peralatan secara fisik di lingkungan industri. Perkembangan teknologi elektronik membuat seluruh sistem kontrol mekanis digantikan oleh sistem kontrol digital yang mengadopsi dari mikroprosesor daya dan pengontrol digital. Pergerakan sistem digital ini membutuhkan teknologi komunikasi dan protokol komunikasi dan unit pengontrolyang sesuai secara inheren. Pada buku ini dibahas tentang inti jaringan kontrol industri, yang terdiri dari protokol fieldbus dalam standar IEC 61158 sebagai serial digital, multi-drop, bus data untuk dapat berkomunikasi dengan unit kontrol industri dan perangkat instrumentasi lainnya.

Bagian I dari buku yang berjudul Jaringan Kontrol Industri ini mencakup enam proposal penelitian yang mencakup jaringan kontrol fieldbus utama (yaitu, CAN, FlexRay, dan Modbus). Pada bagian ini, teknologi fieldbus tersebut ditinjau untuk menunjukkan kinerja utama dan tantangan ketika menerapkan teknologi komunikasi tersebut dalam sistem kontrol industri. Tantangan tersebut membuka potensi penelitian untuk menemukan solusi terobosan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas layanan sistem. Salah satunya dijelaskan dalam proposal penelitian kami, yang mengusulkan untuk menggunakan teknologi bus medan ganda, CAN, dan Modbus untuk memenuhi penundaan waktu yang signifikan untuk sistem kontrol terdistribusi mesin kapal.

BAB 1
GAMBARAN UMUM JARINGAN KONTROL INDUSTRI

1.1 Pendahuluan

Secara umum, industri dapat dibagi menjadi dua kategori: proses, dan sektor manufaktur. Industri proses berurusan dengan proses yang melibatkan aliran material yang sangat besar baik secara kontinu, atau terputus-putus dan seringkali memiliki persyaratan keselamatan yang ketat (misalnya, pembangkit listrik, tanur semen, produksi petrokimia), sedangkan industri manufaktur berkaitan dengan produksi diskrit. Mencapai *throughput* maksimum barang yang diproduksi, biasanya, aspek yang sangat penting dalam sektor industri tersebut. Secara praktis, sistem industri harus diinovasi untuk meningkatkan pemantauan produksi dan kontrol kualitas dan pada saat yang sama menjaga biaya operasi serendah mungkin.

Inovasi ini telah terjadi dalam beberapa dekade terakhir karena kemajuan teknologi informasi dan komunikasi yang memungkinkan sistem industri untuk menyesuaikan dengan kebutuhan tersebut. Inovasi tersebut telah mengurangi secara signifikan tenaga kerja manual yang digantikan dengan mesin otomatis yang lebih cepat dan lebih andal, peralatan di sebagian besar operasi industri.

Hal ini juga memberikan baik pabrik maupun pabrik dengan pemantauan yang diperlukan yang mereka berdua cari untuk pengawasan dan kontrol kualitas yang lebih baik. Memperkenalkan semua jumlah unit otomatis ini ke dalam pabrik membutuhkan metode yang efisien untuk menghubungkan mereka bersama-sama, untuk berkomunikasi satu sama lain, dan untuk mentransfer berbagai data pengawasan ke monitor. Hal ini menyebabkan pengenalan jaringan komunikasi ke sektor industri.

Berdasarkan fungsi khusus, jaringan industri terdiri dari tiga komponen kontrol utama yang meliputi *Programmable Logic Controllers (PLC), Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), dan Distributed Control System (DCS)*. PLC tidak lain adalah komputer digital yang dapat bekerja di lingkungan industri yang berbahaya. Sistem berbasis prosesor tersebut mengambil input dari perangkat pembangkit data seperti sensor dan mengomunikasikannya dengan seluruh unit produksi dan kemudian menampilkan output ke HMI (*Human-Machine Interfaces*). PLC dapat mengontrol seluruh proses manufaktur sambil memastikan kualitas layanan (QoS) yang diperlukan dan fungsi kontrol presisi yang hebat. Sistem SCADA terutama digunakan untuk penerapan sistem pemantauan dan kontrol suatu peralatan atau pabrik di beberapa industri seperti pembangkit listrik, penyulingan minyak dan gas, pengendalian air dan limbah, telekomunikasi, dll.

Dalam sistem ini, pengukuran dilakukan di bawah lapangan atau tingkat proses di pabrik dengan jumlah unit terminal jarak jauh dan kemudian data ditransfer ke komputer host pusat SCADA sehingga informasi proses atau manufaktur yang lebih lengkap dapat diberikan dari jarak jauh. Sistem ini menampilkan data yang diterima tentang jumlah HMI

dan menyampaikan kembali tindakan kontrol yang diperlukan ke unit terminal jarak jauh di pabrik proses. DCS terdiri dari sejumlah besar pengontrol lokal di berbagai bagian area kontrol pabrik dan terhubung melalui jaringan komunikasi berkecepatan tinggi. Dalam sistem kontrol DCS, akuisisi data, dan fungsi kontrol dilakukan melalui sejumlah pengontrol DCS yang merupakan unit berbasis mikroprosesor yang didistribusikan secara fungsional dan geografis di atas pabrik dan terletak di dekat area di mana fungsi kontrol atau pengumpulan data dilakukan.

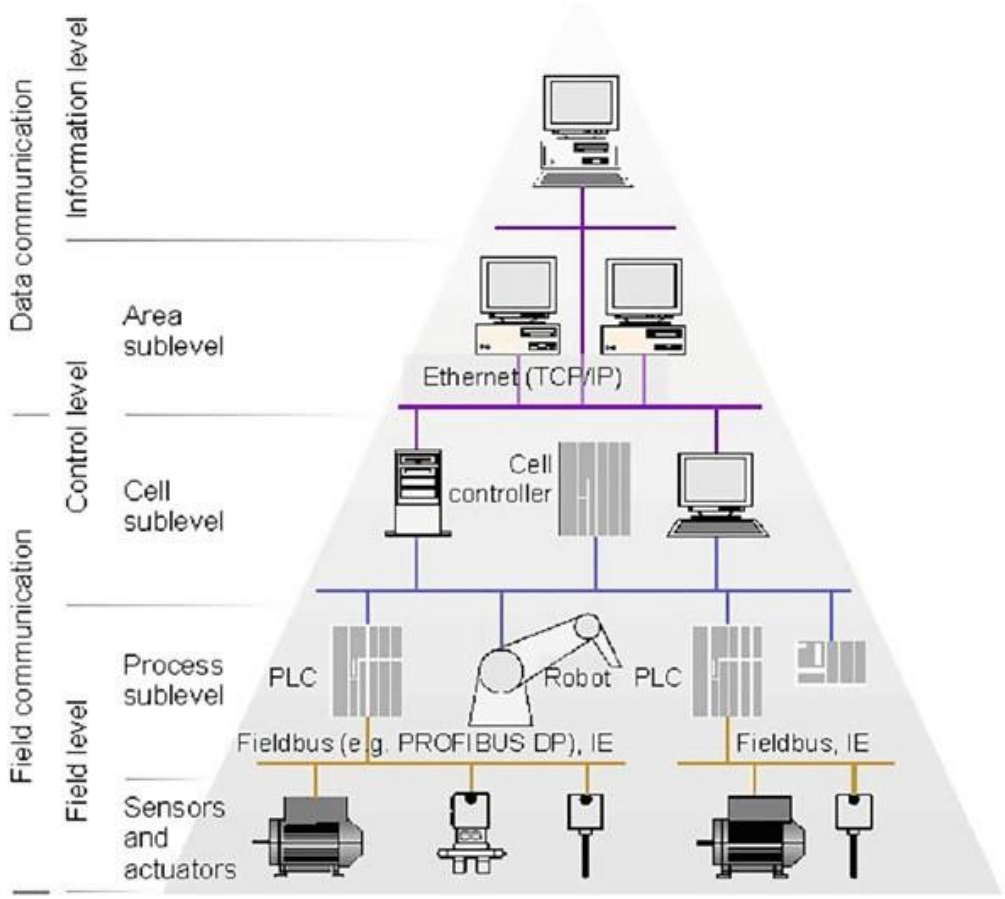
Ketiga elemen ini berhubungan dengan instrumen lapangan (yaitu, sensor, aktuator), perangkat lapangan pintar, PC kontrol pengawasan, pengontrol I/O terdistribusi, dan HMI (Human-Machine Interface). Perangkat ini terhubung dan dikomunikasikan oleh jaringan komunikasi yang kuat dan efektif yang disebut sebagai jaringan industri. Dalam jaringan ini, data atau sinyal kontrol ditransmisikan baik melalui media kabel atau nirkabel. Kabel yang digunakan untuk transmisi data kabel termasuk twisted pair, kabel koaksial atau serat optik. Sementara itu, gelombang radio digunakan untuk mengirimkan data dalam jaringan nirkabel industri.

1.2 Arsitektur Jaringan Kontrol Industri

Umumnya, jaringan kontrol industri dibangun dalam topologi hierarkis seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.1 termasuk tiga tingkat dasar: tingkat informasi, kontrol, perangkat. Setiap level memiliki persyaratan unik yang memengaruhi jaringan mana yang digunakan untuk level tertentu.

Tingkat perangkat terdiri dari perangkat lapangan seperti sensor dan aktuator proses dan mesin. Tugas level ini adalah mentransfer informasi antara perangkat ini dan elemen proses teknis seperti PLC. Transfer informasi dapat berupa digital, analog, atau hybrid.

Nilai-nilai yang diukur dapat bertahan untuk waktu yang lebih lama atau dalam waktu yang singkat. Semua perangkat terhubung ke satu kabel. Kabel biasanya memiliki konduktor untuk daya, sinyal perangkat, dan pelindung. Ada banyak jaringan komunikasi tingkat lapangan lain yang tersedia yang dicirikan oleh berbagai faktor seperti waktu respons, ukuran pesan, dll. Pesan biasanya kecil bila dibandingkan dengan jaringan lain. Karena persyaratan deterministik dan pengulangan, pesan dapat diprioritaskan sehingga informasi yang lebih kritis ditransmisikan terlebih dahulu. Saat ini, teknologi fieldbus merupakan jaringan komunikasi tercanggih yang digunakan di tingkat lapangan karena memfasilitasi kontrol terdistribusi di antara berbagai perangkat smart field dan pengontrol. Jaringan ini mendukung Carrier-Sense Multiple Access dengan protokol *Arbitration on Message Priority (*CSMA/AMP) untuk memenuhi persyaratan.



Gambar 1.1 Arsitektur Tiga Tingkat Jaringan Kontrol Industry

Tingkat kontrol melibatkan mesin jaringan, sel kerja, dan area kerja. Ini adalah level di mana *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) diimplementasikan. Jika pabrik perakitan otomotif digunakan sebagai contoh, tingkat jaringan ini adalah tempat sistem kontrol individu akan diberikan informasi tentang merek, model, dan opsi yang akan disertakan pada kendaraan sehingga pengontrol dapat menjalankan program yang sesuai untuk merakit kendaraan dengan benar. Data seperti waktu siklus, suhu, tekanan, volume, dll., juga dikumpulkan pada tingkat ini. Tugas dari level ini termasuk mengonfigurasi perangkat otomatisasi, memuat data program dan data variabel proses, menyesuaikan variabel yang ditetapkan, mengawasi kontrol, menampilkan data variabel pada HMI, pengarsipan historis, dll.

Level kontrol jaringan harus mencapai persyaratan yang telah ditentukan sebelumnya. seperti deterministik, berulang, waktu respons singkat, transmisi kecepatan tinggi, panjang data pendek, sinkronisasi mesin, dan penggunaan data penting secara konstan. Determinisme adalah kemampuan untuk memprediksi secara akurat kapan data akan dikirimkan, dan pengulangan adalah kemampuan untuk memastikan bahwa waktu transmisi konsisten dan tidak terpengaruh oleh perangkat yang terhubung ke jaringan.

Karena kendala deterministik dan pengulangan, protokol kontrol akses menengah oleh CSMA/CD (*Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection*) di jaringan Ethernet

tradisional tidak memadai, sehingga diperlukan jenis akses jaringan yang berbeda. *Local Area Network* (LAN) banyak digunakan sebagai jaringan komunikasi pada level ini untuk mencapai karakteristik yang diinginkan. Ethernet dengan protokol TCP/IP sebagian besar digunakan sebagai jaringan tingkat kontrol untuk menghubungkan unit kontrol dengan komputer.

Selain itu, jaringan ini bertindak sebagai bus kontrol untuk mengkoordinasikan dan menyinkronkan antara berbagai unit pengontrol. Beberapa fieldbus juga digunakan pada level ini sebagai bus kontrol seperti PROFIBUS dan ControlNet. Dalam jaringan seperti itu, protokol *Concurrent Time Domain Multiple Access (CTDMA)* digunakan berdasarkan algoritma time-slice yang mengatur peluang setiap node untuk mentransmisikan dalam interval jaringan. Penyesuaian jumlah waktu untuk interval jaringan memberikan waktu yang konsisten dan dapat diprediksi untuk transmisi data.

Tingkat informasi adalah tingkat atas dari sistem industri yang mengumpulkan informasi dari tingkat yang lebih rendah, yaitu tingkat kontrol. Ini berkaitan dengan volume data yang besar yang tidak digunakan secara konstan atau waktu kritis. Jaringan skala besar ada di level ini. Jadi WAN Ethernet biasanya digunakan sebagai jaringan tingkat informasi untuk perencanaan pabrik dan pertukaran informasi manajemen. Terkadang jaringan ini dapat terhubung ke jaringan industri lain melalui gateway.

1.3 Persyaratan Jaringan Kontrol Industri

Jaringan kontrol industri beroperasi di sepanjang dua paradigma yang berbeda: dipicu oleh waktu dan dipicu oleh peristiwa. Dalam aplikasi yang dipicu waktu, sistem bekerja secara berkala. Mereka pertama-tama menunggu awal periode (atau beberapa offset dari awal), mengambil sampel input mereka, dan menghitung beberapa algoritma sesuai dengan input dan beberapa data set point yang diterima dari komputer yang lebih tinggi dalam hierarki. Mereka kemudian membuat hasilnya tersedia di output. Input dan output sesuai dengan sensor dan aktuator pada level terendah dalam hierarki. Pada tingkat yang lebih tinggi, masukan sesuai dengan status dan laporan penyelesaian dari tingkat yang lebih rendah berikutnya. Output adalah set poin atau perintah ke tingkat yang lebih rendah. Aplikasi akuisisi dan distribusi adalah kasus khusus. Aplikasi akuisisi tidak memiliki output untuk proses tetapi menyimpan hasil output secara internal. Aplikasi distribusi tidak memiliki input dan menghitung algoritma dari informasi yang disimpan.

Periodisitas tidak wajib tetapi sering diasumsikan karena menyederhanakan algoritma. Misalnya, sebagian besar teori kontrol digital mengasumsikan periodisitas. Selain itu, ia mengasumsikan jitter terbatas pada periode dan latensi terbatas dari input instan ke output instan. Aplikasi akuisisi dan distribusi memiliki persyaratan yang sama dalam hal periodisitas dan jitter.

Sementara itu, pada aplikasi yang dipicu peristiwa, sistem diaktifkan pada saat terjadinya peristiwa. Suatu peristiwa mungkin kedatangan pesan dengan perintah baru atau status penyelesaian atau perubahan input yang terdeteksi oleh beberapa sirkuit. Ketika suatu peristiwa diterima, aplikasi menghitung beberapa algoritma untuk menentukan jawaban yang sesuai. Jawabannya kemudian dikirim sebagai acara ke aplikasi lain secara lokal atau jarak jauh. Waktu yang berlalu antara pembangkitan peristiwa input dan

penerimaan jawaban yang sesuai harus dibatasi. Nilainya adalah bagian dari persyaratan pada aplikasi dan juga sistem komunikasi jika peristiwa harus diangkut melalui beberapa jaringan.

Selanjutnya, aplikasi harus dapat menilai beberapa urutan dalam kejadian acara. Hal ini biasanya tidak menjadi masalah ketika peristiwa tersebut terdeteksi dan diproses pada komputer yang sama. Ini menjadi masalah ketika peristiwa terdeteksi di lokasi berbeda yang dihubungkan oleh jaringan yang dapat menyebabkan beberapa penundaan variabel. Karena sejumlah besar data dapat dilewatkan melalui jaringan kontrol ini dan panjang pesan cenderung lebih lama, kecepatan transmisi data cenderung lebih cepat dibandingkan dengan jaringan fieldbus. Namun, karena mereka dapat digunakan untuk melewatkan data kritis waktu antara pengontrol, jaringan kontrol juga harus deterministik dan memenuhi kebutuhan yang bergantung waktu (biasanya disebut waktu nyata) dari aplikasi yang dimaksudkan. Determinisme dalam konteks jaringan didefinisikan sebagai: ada penundaan kasus terburuk yang ditentukan antara penginderaan item data dan pengirimannya ke perangkat pengontrol. Waktu nyata dalam konteks ini didefinisikan sebagai "cukup cepat untuk mencapai tujuan aplikasi," dan diukur sebagai waktu latensi. Determinisme dan latensi adalah persyaratan yang terpisah tetapi saling melengkapi. Baik determinisme dan latensi spesifik diperlukan untuk mencapai sinkronisasi.

Jika jaringan kontrol yang sama digunakan untuk bertukar data waktu nyata antara pengontrol dan informasi bisnis antara pengontrol dan sistem bisnis, jelas harus ada beberapa cara untuk mencegah informasi bisnis mengganggu respons deterministik waktu nyata. Banyak protokol kompleks telah dibangun untuk tujuan ini, tetapi sebagian besar jaringan kontrol hanya mengandalkan sifat dasar dari protokol jaringan yang dipilih. Biasanya, determinisme dicapai dengan mencegah tabrakan pesan dan membatasi panjang pesan maksimum. Latensi rendah dicapai dengan menggunakan media berkecepatan tinggi dan meminimalkan frekuensi sinyal harus disiarkan ulang, seperti dalam jaringan mesh.

Manfaat menggunakan protokol jaringan standar seperti *Transport Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) melalui jaringan Ethernet adalah biaya yang lebih rendah. Dengan hanya memilih kabel Ethernet standar dan menggunakan switch Ethernet full-duplex alih-alih hub pasif, jaringan kontrol yang dibangun di atas teknologi komoditas ini dapat menjamin bahwa tidak akan ada tabrakan jaringan, membuat jaringan seperti itu deterministik. Menggunakan kecepatan tinggi seperti 100 atau 1000 Mbps dan panjang paket maksimum Ethernet standar 1500 byte mencapai latensi rendah dan berarti bahwa aplikasi lain tidak dapat "memonopoli kabel", mencegah transfer data kritis waktu. Namun, Anda tetap harus menghitung! Ingat bahwa definisi waktu nyata dan determinisme mengharuskan jaringan harus menyediakan bandwidth untuk transfer data kritis waktu dalam waktu kurang dari periode waktu maksimum yang diizinkan untuk sistem kontrol. Misalnya, jika aplikasi bisnis mentransfer pesan Ethernet ukuran maksimum (1500 byte) pada 100 Mbps, jaringan akan diblokir untuk waktu maksimum sekitar 150an.

Biasanya besarnya penundaan ini dapat diterima baik untuk kontrol proses dan kebutuhan otomatisasi pabrik, tetapi mungkin tidak dapat diterima untuk kontrol gerak atau kontrol mesin. Alangkah baiknya jika jaringan kontrol dan jaringan fieldbus tidak dapat

digunakan untuk aplikasi yang sama, tetapi dapat digunakan. Alangkah baiknya juga jika jaringan kontrol selalu terbatas pada lingkungan bisnis atau ruang kontrol, tetapi semakin meluas ke lapangan dan lantai toko. Dalam beberapa kasus, jaringan kontrol digunakan dalam aplikasi yang biasanya membutuhkan fieldbus. Faktanya, semua jaringan kontrol dikembangkan dari satu atau lebih jaringan fieldbus dan menggunakan protokol lapisan aplikasi dan lapisan pengguna yang sama. Karena jaringan kontrol terkait dengan fieldbus, akan terus ada garis pemisah yang sangat longgar di antara mereka.

1.4 Teknologi Komunikasi untuk Jaringan Kontrol Industri

Untuk melaksanakan tugas-tugas jaringan yang diberikan, penting bagi perangkat untuk berkomunikasi. Teknologi komunikasi kabel tradisional telah memainkan peran penting dalam pemantauan industri dan jaringan kontrol. Dengan demikian, komunikasi ini dilakukan melalui sistem kabel *point-to-point.* Sistem seperti itu, bagaimanapun, melibatkan sejumlah besar kabel yang pada gilirannya memperkenalkan sejumlah besar titik kegagalan fisik, seperti konektor dan rangkaian kabel, sehingga menghasilkan sistem yang sangat tidak dapat diandalkan. Kelemahan ini mengakibatkan penggantian sistem point-to-point menggunakan teknologi komunikasi industri canggih. Bagian ini bertujuan untuk menyoroti teknologi utama yang digunakan dalam jaringan kontrol industri.

1.4.1 Fieldbus

Secara tradisional, sistem kontrol di pabrik dan pabrik bersifat analog. Mereka menggunakan koneksi langsung dari pengontrol ke aktuator atau transduser ke pengontrol dan didasarkan pada sinyal kontrol 4 hingga 20 mA. Ketika sistem menjadi lebih kompleks dan teknologi jaringan berkembang, akhirnya terjadi perubahan dari sistem analog ke sistem digital. Fieldbus dikembangkan untuk menyatukan semua komponen digital ini. Selama beberapa dekade terakhir, industri telah mengembangkan segudang protokol fieldbus (misalnya, Foundation Fieldbus H1, ControlNet, PROFIBUS, CAN, dll.). Dibandingkan dengan sistem point-to-point tradisional, fieldbus memungkinkan keandalan dan visibilitas yang lebih tinggi dan juga memungkinkan kemampuan, seperti kontrol terdistribusi, diagnostik, keselamatan, dan interoperabilitas perangkat.

Fieldbus adalah jaringan dan protokol digital yang dirancang untuk menggantikan sistem analog. Mereka pada dasarnya adalah LAN industri yang menghubungkan semua komputer, pengontrol, sensor, aktuator, dan perangkat lain sehingga mereka dapat berinteraksi satu sama lain. Sebuah kabel jaringan tunggal menggantikan lusinan atau bahkan ratusan kabel analog individu dalam sistem yang lebih tua. Protokol memungkinkan operator memantau, mengontrol, memecahkan masalah, mendiagnosis, dan mengelola semua perangkat dengan mudah dari lokasi pusat. Sementara fieldbus ini mengurangi pengkabelan dan meningkatkan keandalan dan fleksibilitas sistem, masalah lain telah dibuat: beberapa sistem berpemilik, dengan ketidakcocokan dan kurangnya interoperabilitas antara berbagai komponen. Perangkat yang dibuat untuk bekerja dengan satu fieldbus dan protokol tidak dapat bekerja dengan yang lain.

Banyak fieldbus telah dikembangkan. Beberapa upaya untuk membangun standar umum dilakukan tetapi tidak ada satu sistem atau standar pun yang pernah muncul.

ControlNet, DeviceNet, Foundation Fieldbus H1, HART, Modbus, PROFIBUS PA, dan CAN/ CAN open adalah fieldbus yang paling umum digunakan

1.4.1.1 Jaringan Kontrol

ControlNet adalah jaringan dan protokol industri yang didukung oleh Open DeviceNet Vendors Association (ODVA) [7]. Ini didasarkan pada Common Industrial Protocol (CIP), yang mendefinisikan pesan dan layanan yang akan digunakan dalam otomatisasi manufaktur. ControlNet menggunakan kabel coax RG-6 dengan konektor Bayonet Neill-Concelman (BNC) untuk lapisan fisik (PHY) dan mampu kecepatan hingga 5 Mbits/s menggunakan pengkodean Manchester. Topologinya adalah bus dengan maksimum 99 tetes mungkin. Waktunya memungkinkan suatu bentuk determinisme dalam aplikasi.

1.4.1.2 DeviceNet

DeviceNet adalah fieldbus lain yang didukung ODVA. Ini menggunakan teknologi jaringan area pengontrol (CAN) yang terkenal untuk PHY yang awalnya dikembangkan oleh Bosch untuk aplikasi otomotif. Protokol DeviceNet mirip dengan ControlNet dan juga menggunakan Common Industrial Protocol (CIP) di lapisan atas. Layer 1 dan 2 adalah CAN bus. Mediumnya adalah unshielded twisted pair (UTP) menggunakan format single-ended non-return-to-zero (NRZ) dengan level logika 0 V dan +5 V. Topologinya adalah bus dengan hingga 64 node yang diizinkan. Kecepatan data tergantung pada panjang bus dan dapat mencapai 1 Mbit/s pada 25 m hingga 125 kbit/s pada 500 m.

1.4.1.3 Pondasi Fieldbus H1

Awalnya dikembangkan oleh kelompok standar International Society of Automation (ISA) sebagai Foundation Fieldbus, SP50 adalah salah satu fieldbus digital sebelumnya untuk menggantikan loop 4 hingga 20 mA. Protokol ini diberi nama H1, yang menggunakan standar IEC 61158-2 untuk PHY dan dilengkapi kabel *twisted-pair* dengan kecepatan data dasar 31,25 kbit/s. Frame transmisi sinkron dengan pembatas *start* dan *stop*. Pengkodean adalah Manchester.

1.4.1.4 HART

HART singkatan dari *Highway Addressable Remote Transducer* adalah jalur komunikasi dua arah melalui *twisted pair*. Ini mempertahankan fungsionalitas analog 4-20 mA yang populer tetapi menambahkan sinyal digital. Sinyal digital berupa pembawa termodulasi *frekuensi shift keying* (FSK) yang menggunakan frekuensi modem Bell 202 lama 2200 Hz untuk 0 dan 1200 Hz untuk 1.

Kecepatan data adalah 1200 bit/s. Sinyal FSK adalah fase kontinu dan tidak mempengaruhi level sinyal analog karena bersifat ac. Juga, sinyal FSK adalah variasi 1-mA di sekitar level dc. Protokol menggunakan lapisan OSI 1 sampai 4 dan 7. Bagian digital dari komunikasi terutama digunakan untuk perintah, penyediaan, dan diagnostik.

Fieldbus HART populer karena kompatibel dengan peralatan 4 hingga 20 mA yang lebih lama sambil menambahkan kemampuan jaringan digital. Itu masih banyak digunakan. Instrumen medan HART yang umum seperti Perangkat Analog ADμCM360

terdiri dari pengontrol tertanam dan I/O untuk sensor seperti transduser tekanan dan sensor suhu data waktu nyata (RTD). Konverter analog-ke-digital (ADCs) 24-bit sigma-delta on-board mendigitalkan informasi sensor dan kemudian mengirimkannya ke AD5421, konverter digital-ke-analog (DAC) dan sumber arus 4 hingga 20 mA untuk koneksi ke kabel. Informasi digital juga dikirim ke modem AD5700 HART FSK.

1.4.1.5 Modbus

Modbus adalah protokol industri populer yang biasanya digunakan untuk komunikasi dengan PLC. Ini sederhana dan standarnya terbuka sehingga setiap pengguna dapat menggunakannya. Pada dasarnya, Modbus bekerja dengan antarmuka RS-232. Format dasar terdiri dari karakter asinkron yang dikirim dan diterima dengan UART. Modbus dapat dibawa melalui berbagai PHY dan sering dikemas dalam *Transmission Control Protocol/IP* (TCP/IP) dan ditransmisikan melalui Ethernet. Hal ini juga kompatibel dengan link nirkabel.

1.4.1.6 PROFIBUS

PROFIBUS, fieldbus lain yang banyak digunakan, dikembangkan di Jerman dan populer di seluruh dunia. Ada versi untuk periferal terdesentralisasi (DP) dan otomatisasi proses (PA). Protokol ini sinkron dan beroperasi di lapisan OSI 1, 2, 4, dan 7. Menggunakan RS-485, bit rate dapat berkisar dari 9,6 kbits/s hingga 12 Mbits/s. Dengan panjang bus hingga 1900 m, kecepatan data adalah 31,25 kbit/s.

1.4.1.7 CAN/ CANopen

Penggunaan *Controller Area Network* (CAN) masih didominasi penggunaannya yang luas di industri otomotif. Benteng lainnya adalah penggunaan sebagai lapisan fisik untuk protokol SAE J1939, dan CAN akan tetap menjadi solusi fieldbus yang paling sensitif terhadap biaya untuk sistem tertanam kecil.

Singkatnya, penggunaan CAN akan berlanjut di:

Mobil dan Truk
Dirgantara (mis., Satelit)
SAE J1939
Solusi Tertanam Kecil
Aplikasi Warisan

CANopen pada dasarnya adalah perangkat lunak tambahan untuk menyediakan fungsi manajemen jaringan ke CAN. Efek sampingnya adalah pengurangan bandwidth CAN. Aplikasi warisan CANopen ini adalah kontrol gerak dan Kontrol Mesin Industri.

CAN dan CANopen, digunakan sebagai sistem fieldbus untuk solusi yang disematkan. Keuntungan dari jaringan tersebut meliputi:

Keandalan dan Ketangguhan yang Ekstrim
Tidak Ada Tabrakan Pesan
Persyaratan sumber daya yang sangat rendah
Implementasi berbiaya rendah
Dirancang untuk aplikasi waktu nyata
Waktu pemulihan kesalahan yang sangat singkat
Dukungan profil perangkat (hanya CANopen)

Namun, ada beberapa kelemahan menggunakan CAN dan CANopen, yang terbesar adalah panjang jaringan yang terbatas (~120 kaki pada baud rate 1 Mbit/s). Kerugiannya termasuk panjang jaringan yang terbatas (tergantung pada baud rate), baud rate yang terbatas sebesar 1 Mbit/s, dan bandwidth yang terbatas.

1.4.2 Ethernet Industri

Selama bertahun-tahun, *Controller Area Network* (CAN) dan CANopen, protokol lapisan yang lebih tinggi berdasarkan CAN, telah terbukti menjadi solusi terbaik untuk jaringan tertanam industri berbiaya rendah. Namun, kekurangan yang paling jelas dari teknologi ini termasuk baud rate yang terbatas dan panjang jaringan yang terbatas. Teknologi Industrial Ethernet saat ini merupakan tantangan paling berat bagi CANopen sebagai teknologi jaringan industri berbiaya rendah pilihan untuk bisnis dan perusahaan selama beberapa dekade. Sejauh ini, ini adalah teknologi jaringan yang paling sukses dan paling banyak digunakan di dunia. Ini terjangkau dan dapat diandalkan dan didukung oleh serangkaian standar IEEE 802.3 yang kuat yang membuatnya tetap terkini. Selama 10 tahun terakhir, Ethernet telah menemukan jalannya ke dalam pengaturan industri untuk I/O dan jaringan. Hal ini secara bertahap menggantikan beberapa fieldbus dan jaringan kepemilikan atau bekerja dengan mereka.

Beberapa manfaat pindah ke Ethernet adalah:

- Lebih sedikit jaringan yang lebih kecil: Sebagian besar fieldbus dapat menghubungkan hingga 20–40 perangkat. Namun di luar itu, jaringan fieldbus terpisah diperlukan untuk lebih banyak perangkat dan untuk menghubungkan dua jaringan, jika memungkinkan. Dengan Ethernet, Anda dapat menghubungkan hingga 1000 perangkat di jaringan yang sama. Pengaturan ini meningkatkan efisiensi dan mengurangi kompleksitas jaringan.
- Biaya lebih rendah: Dengan banyak vendor Ethernet, harga peralatan kompetitif dan biaya keseluruhan untuk membangun jaringan biasanya lebih rendah daripada membangun jaringan fieldbus.
- Kecepatan lebih tinggi: Ethernet memiliki kemampuan kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada kebanyakan fieldbus. Meskipun kecepatan itu tidak selalu diperlukan, itu adalah keuntungan dan jaringan bertambah besar dan karena perangkat yang lebih cepat terhubung. Walaupun 10/100-Mbits Ethernet adalah yang paling umum, beberapa fasilitas industri telah ditingkatkan ke 1-Gbit/s Ethernet. Koneksi ke pabrik atau jaringan TI pabrik: Jaringan industri secara tradisional dipisahkan dari jaringan bisnis, tetapi perusahaan menemukan bahwa keuntungan terjadi ketika dua jaringan dapat saling berhubungan. Data dapat dikumpulkan dan digunakan untuk mengoptimalkan proses manufaktur atau membuat perbaikan atau keputusan yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan.
- Koneksi ke Internet: Ini mungkin tidak diinginkan, tetapi jika ya, Ethernet menyediakan cara yang sangat nyaman untuk mengirim dan menerima data melalui koneksi Internet.

Ada dua kelemahan utama menggunakan Ethernet dalam pengaturan industri. Pertama, perangkat keras tidak dirancang untuk lingkungan yang menuntut di pabrik dan pabrik proses. Suhu yang berlebihan, bahaya lingkungan, bahan kimia, debu, tekanan mekanis, dan kelembaban membuat peralatan tradisional kurang dapat diandalkan. Namun selama bertahun-tahun, pabrikan telah mengemas ulang peralatan Ethernet untuk bertahan dalam kondisi seperti itu dengan menambahkan rumah kelas industri dan elektronik yang lebih tangguh.

Bahaya lainnya adalah kebisingan yang berlebihan yang disebabkan oleh motor, sakelar daya, dan sumber lainnya. Pengkabelan diferensial Ethernet pada dasarnya tahan terhadap kebisingan. Itu dapat dibuat bebas noise dengan kabel berpelindung. Sebagian besar kabel industri hanya standar, tetapi kabel CAT5 atau CAT6 kelas lebih tinggi biasanya sudah cukup. Di sisi lain, konektor RJ-45 merupakan sumber masalah, terutama di lingkungan yang kotor dan dengan kelembapan tinggi. Konektor RJ-45 khusus telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini. Konektor ini menambahkan penutup yang tertutup kotoran dan lembab ke konektor RJ-45 yang ditingkatkan. Konektor ini memenuhi standar lingkungan IP67 yang kaku untuk lingkungan berbahaya.

Kerugian kedua adalah sifat non-deterministik yang melekat pada Ethernet. Banyak jaringan industri bergantung pada kondisi waktu yang harus terjadi dalam kerangka waktu tertentu. Banyak yang membutuhkan koneksi real-time atau sesuatu yang dekat dengannya. Determinisme berarti bahwa perangkat atau sistem dapat merespons dalam interval waktu minimum. Itu dapat merespons dalam waktu yang lebih singkat tetapi tidak lebih dari waktu yang ditentukan. Jika perangkat deterministik hingga 10 ms, maka yang kurang tidak apa-apa. Respons biasanya tidak harus berulang, tetapi itu tergantung pada aplikasinya.

Determinisme Ethernet sangat bervariasi. Ini adalah fungsi dari metode *Akses Carrier-Sense Multiple Access* dengan metode akses *Collision Detection* (CSMA/CD), panjang kabel, jumlah node, dan kombinasi hub, repeater, bridge, switch, dan router yang digunakan dalam sistem. Untuk meningkatkan respons deterministik, perancang sistem Ethernet industri harus menjaga kabel tetap pendek dan meminimalkan jumlah node, hub, dan jembatan. Sakelar dapat ditambahkan ke jaringan yang lebih besar untuk mengisolasi segmen yang berbeda, dan itu mengurangi jumlah tabrakan dan interaksi.

Determinisme juga dapat diimplementasikan atau ditingkatkan dalam beberapa kasus dengan menggunakan IEEE 1588 *Precision Time Protocol* (PTP). PTP memungkinkan sistem dengan jam untuk mencapai sinkronisasi di antara semua perangkat yang terhubung, memungkinkan transfer informasi waktu yang tepat dalam jaringan. Pencapan waktu dan kinerja mendekati waktu nyata dapat terjadi di beberapa aplikasi.

Fitur lain dari penerimaan penemuan *Ethernet* adalah *Power over Ethernet* (PoE). Didefinisikan oleh standar IEEE 802.3af dan 802.3at, ini memungkinkan transmisi daya dc melalui kabel Ethernet ke perangkat jarak jauh. Ini adalah manfaat utama di banyak pengaturan industri dan menghilangkan kebutuhan untuk memasang sumber daya di dekat beberapa sensor jarak jauh atau perangkat lain. Standar ini menetapkan tingkat daya hingga 15,4 atau 25,5 W, tetapi versi daya yang lebih tinggi hingga 51 W tersedia.

Akhirnya, beberapa versi Ethernet yang disempurnakan atau dimodifikasi telah dikembangkan untuk mengatasi masalah waktu Ethernet standar atau sekadar membuatnya lebih kompatibel dengan peralatan dan sistem yang ada. Ini termasuk EtherCAT, EtherNet/IP, Profinet, Foundation Fieldbus HSE (Ethernet berkecepatan tinggi), dan Modbus/TCP. Beberapa menggunakan protokol khusus sementara yang lain menggunakan TCP/IP.

EtherNet/IP adalah protokol lapisan aplikasi menggunakan CIP, yang mendefinisikan semua perangkat sebagai objek dan menentukan pesan, layanan, dan metode transfer. CIP kemudian dienkapsulasi dalam paket TCP atau User Datagram Protocol (UDP) untuk transfer melalui Ethernet.

Profinet adalah protokol lain yang menggunakan TCP/IP melalui Ethernet. Ini bukan PROFIBUS melalui Ethernet. Sebaliknya, ia menggunakan dua protokol yang berbeda: satu disebut Profinet CBA untuk sistem berbasis komponen dan Profinet IO untuk operasi I/O real-time. Profinet CBA dapat memberikan determinisme dalam kisaran 100 ms. Itu juga dapat memberikan determinisme hingga 10 ms. Versi Profinet IO yang disebut IRT untuk waktu nyata isokron dapat memiliki determinisme kurang dari 1 ms.

Foundation Fieldbus HSE menggunakan protokol H1 melalui TCP/IP. Ini juga menggunakan penjadwal khusus yang membantu menjamin pesan pada waktu yang diketahui untuk memastikan determinisme pada tingkat yang diinginkan.

EtherCAT menghilangkan mekanisme CSMA/CD dan menggantinya dengan paket pesan “telegram” baru yang dapat diperbarui dengan cepat. Perangkat jaringan dihubungkan dalam format cincin atau rantai daisy yang mengemulasi cincin. Saat data dilewatkan di sekitar ring, data pesan dapat dihapus atau disisipkan oleh node yang dialamatkan saat data sedang mengalir. Satu atau lebih telegram EtherCAT diangkut langsung oleh frame Ethernet atau dienkapsulasi ke dalam datagram UDP/IP. Determinisme 30 s dan kurang dapat dicapai dengan hingga 1000 node.

Modbus/TCP adalah protokol fieldbus Modbus populer yang dikemas dalam paket TCP/IP. Checksum Modbus digantikan oleh TCP/IP 32-bit checksum. Kemudian paket TCP/IP dibawa melalui Ethernet standar. Jelas, semua sistem ini tidak dapat dioperasikan satu sama lain. Tetapi mereka semua dapat hidup berdampingan pada LAN Ethernet yang sama karena semuanya sesuai dengan standar Ethernet Layer 1 PHY. Mereka yang menggunakan TCP/IP dapat dibuat interoperable dengan modifikasi perangkat lunak yang sesuai. Tabel 1.1 memberikan gambaran umum tentang berbagai protokol Ethernet industri.

Tabel 1.1 Perbandingan Berbagai Jaringan Ethernet Industry

	EtherCAT	**Ethetnet/IP**	**Powerlink**	**Modbus/TCP**
Organisasi Penjual	Grup Teknologi EtherCAT	Buka Organisasi Vendor DeviceNet	Ethernet Powerlink Grup Spesifikasi	Grup Modbus-IDA
Beranda	www.ethercat.org	www.odva.org	www.ethernet-powerlink.org	www.modbus-ida.org

Ketersediaan spesifikasi	Anggota menandatangani NDA	Gratis	Anggota	Gratis
Ketersediaan teknologi	Contoh Kode, ASIC, FPGA	Contoh Kode	Chip Ethernet Standar	Contoh Kode
Produk tersedia sejak	2003	2000	2001	1999
Struktur interaksi	Tuan/Budak	Server klien	Tuan/Budak	Server klien
Metode komunikasi	Satu bingkai untuk semua mitra komunikasi	Berorientasi pesan	Berorientasi pesan	Berorientasi pesan
Kecepatan transfer data eter	100 Mbit/dtk	100/10 Mbit/dtk	100 Mbit/dtk	100/10 Mbit/dtk
Topologi fisik	Garis, Daisy, Rantai, Pohon	Bintang	Bintang	Bintang, Pohon
Topologi logis	Buka Ring Bus	Bis	Cincin	Bis
Komponen infrastruktur	Beralih di antara segmen yang berbeda	Switch (hub dimungkinkan, tetapi tidak efisien)	Hub, tidak ada sakelar	Hub, sakelar
Profil perangkat	CANopen, SERCOS	DeviceNet, ControlNet	Bisa membuka	Tidak ada

1.5 Tren dan Isu

Bidang industri umumnya tertinggal dari sektor kelistrikan lainnya hanya karena kebutuhan teknologinya tidak mengikuti tren pasar konsumen atau perusahaan. Namun secara keseluruhan, sektor industri mengikuti tren umum dalam teknologi komunikasi. Tren dan masalah utama termasuk yang berikut:

- Penggunaan teknologi fieldbus yang berkelanjutan: Teknologi fieldbus adalah LAB digital industri. Mereka menghubungkan sensor, pengontrol, dan aktuator dari sebagian besar otomatisasi pabrik dan fasilitas kontrol proses. Meskipun pergerakan berkelanjutan ke konektivitas Ethernet dan nirkabel, terus ada pertumbuhan beberapa persen per tahun di pasar fieldbus.
- Pergerakan kuat ke Ethernet: Ethernet telah menjadi jaringan area lokal (LAN) pilihan untuk jaringan perusahaan dan bahkan konsumen selama beberapa dekade, dan mendominasi. Industri ini lambat untuk mengadopsinya tetapi sekarang telah menerimanya sepenuhnya. Sebagian besar upaya jaringan industri baru menggunakan beberapa bentuk Ethernet. Keandalannya yang telah terbukti, biaya

rendah, dan ketersediaan tinggi membuatnya sangat populer. Versi industri khusus dari Ethernet telah muncul untuk meningkatkannya untuk penggunaan industri.

- Pertumbuhan signifikan dalam konektivitas nirkabel: Industri lambat mengadopsi nirkabel meskipun banyak manfaatnya. Pengguna industri menganggap itu tidak dapat diandalkan dan tidak aman tetapi telah belajar sebaliknya sejak itu. Standar dan peralatan nirkabel yang baru dan lebih baik telah menjadikan nirkabel sebagai komponen kunci di sebagian besar pengaturan industri modern.
- Standar kepemilikan yang lebih sedikit dan peralatan: Selama beberapa dekade, kebutuhan komunikasi industri dipenuhi dengan banyak bus lapangan, antarmuka, dan peralatan berpemilik berbiaya tinggi, yang masih tertanam di banyak sistem. Namun, tren saat ini adalah standar terbuka dan Ethernet.
- Adopsi cepat model protokol Internet (IP): Tujuannya adalah untuk memberikan alamat IP pada sebagian besar peralatan industri sehingga perangkat dan peralatan dapat berkomunikasi melalui Ethernet dan Internet. Dengan ketersediaan IPv6, itu sekarang mungkin. Peningkatan penggunaan pengawasan video: keamanan telah menjadi masalah di banyak pabrik dan fasilitas, dan video berguna. Video juga memungkinkan peningkatan pemantauan yang tidak dapat disediakan oleh sensor sederhana.

Standardisasi Industri untuk Interoperabilitas: Sebagian besar pabrik, pabrik kontrol proses, dan fasilitas merupakan kumpulan nyata standar lama dan baru, analog dan digital, serta kepemilikan dan standar terbuka. Masalah besar adalah ketidakcocokan dan interoperabilitas peralatan yang berbeda seperti semua perangkat dan sistem dapat bekerja sama dengan mulus. Tantangan seperti itu mengarah pada standar, peralatan, dan perangkat lunak baru yang dikembangkan secara bertahap untuk mengatasi masalah tersebut.

1.6 Kesimpulan

Teknologi terus menerus dan cepat mengubah proses industri. Terkadang sulit bagi bisnis untuk mengintegrasikan teknologi baru ke dalam sistem yang ada. Dibutuhkan keahlian dan pelatihan profesional untuk menjalankan sistem yang baru diperkenalkan. Namun, dengan meningkatnya permintaan akan produk yang canggih dan berkualitas tinggi, bisnis harus cepat beradaptasi dan memanfaatkan kekuatan sistem otomasi yang muncul.

Melihat ke masa depan, tren paling menonjol yang muncul di industri ini adalah perpindahan ke jaringan nirkabel industri di semua tingkatan. Jaringan nirkabel semakin mengurangi volume kabel yang dibutuhkan (walaupun seringkali daya masih diperlukan), memungkinkan penempatan sensor di lokasi yang sulit, dan lebih memungkinkan penempatan sensor pada bagian yang bergerak seperti pada tooltips yang berputar pada beberapa ribu putaran per menit.

Masalah dengan migrasi ke nirkabel termasuk gangguan antara beberapa jaringan nirkabel, keamanan, dan keandalan dan determinisme transmisi data. Manfaat yang

diantisipasi di sejumlah domain (termasuk banyak di luar manufaktur) mendorong inovasi yang dapat dimanfaatkan oleh manufaktur, secara umum. Tidak dapat dibayangkan bahwa nirkabel akan membuat jalan raya yang signifikan menjadi kontrol jaringan dan bahkan keamanan selama 5-10 tahun ke depan.

BAB 2
PROTOKOL FLEXRAY: TUJUAN DAN FITUR

2.1 Pendahuluan

Dalam jaringan industri, banyak bagian pengontrol mekanis telah diganti dengan unit kontrol elektronik (ECU). Banyak ECU yang diimplementasikan dalam mode otomasi industri, dan jumlahnya terus bertambah. Jaringan komunikasi dalam kendaraan mengirimkan data sinyal yang dikemas dalam pesan. Sebagian besar pesan ini adalah pesan waktu nyata, yaitu pengiriman tepat waktu harus dijamin. Secara teknis, jadwal pesan yang telah dihitung sebelumnya harus disediakan untuk memenuhi persyaratan waktu tersebut. Selain itu, dengan mempertimbangkan pesatnya pertumbuhan jumlah ECU dan sinyal dalam elektronik otomotif, komunikasi harus efisien untuk memberikan ekstensibilitas sistem. Akibatnya, kompleksitas jaringan industri meningkat pesat. Berbagai jenis protokol komunikasi saat ini digunakan di mobil yang berbeda seperti Controller Area Network (CAN) dan FlexRay.

FlexRay adalah protokol komunikasi bandwidth tinggi baru untuk domain otomotif. Diharapkan sebagai bus generasi berikutnya untuk industri otomotif dan menjadi standar de facto untuk kecepatan tinggi. Fitur FlexRay yang paling luar biasa dapat dikaitkan seperti kecepatan data tinggi, perilaku yang dipicu oleh waktu/peristiwa, deterministik, toleransi kesalahan, dan redundansi. Seiring dengan perkembangan industri otomotif untuk kebutuhan yang lebih tinggi seperti lebih aman, lebih nyaman, handal, tuntutan kompleks pada saat yang sama dan meningkatkan memori, pengembangan unit kontrol elektronik (ECU) juga memainkan peran penting. ECU semakin banyak digunakan saat ini dan telah dikembangkan dari 8 bit hingga 32 bit.

Protokol FlexRay dapat mengimplementasikan pesan yang dipicu oleh waktu dan peristiwa. Dalam kasus pertama, aktivasi tugas dan transmisi bingkai pasti akan terjadi pada titik waktu yang telah ditentukan sebelumnya.

Dalam kasus lain, pesan real-time sporadis dihasilkan oleh kejadian peristiwa dan harus dikirim sebelum batas waktu mereka. Menurut metode ini, FlexRay dapat dibagi menjadi dua bidang utama penetapan prioritas untuk pekerjaan: segmen statis (SS) dan segmen dinamis (DS). Organisasi SS didasarkan pada operasi Time-Division Multiple Access (TDMA). Ini terdiri dari sejumlah slot statis berukuran sama (STS) dan mengirimkan pesan mengikuti pengidentifikasi bingkai unik (FID). Dalam metode statis, prioritas tetap dipilih untuk setiap pekerjaan di awal pengembangan. Selain itu, DS menggunakan skema flexible TDMA (FTDMA). Berbeda dengan SS, waktu saat pesan mulai dikirimkan tidak tetap, tetapi prioritas pesan ditetapkan dengan DS. DS dilakukan dalam slot dinamis (DYSs) yang ditumpangkan pada slot mini (MS). Ketika pesan ditransmisikan oleh DYS, panjang DYS sama dengan jumlah MS untuk transmisi pesan. Jika tidak, panjang DYS adalah satu MS.

2.2 Sistem FlexRay

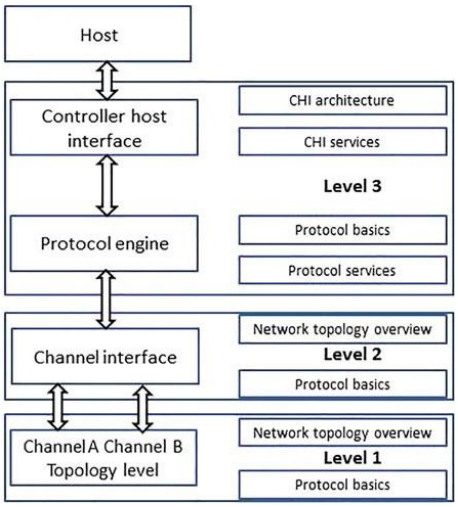
FlexRay dikembangkan untuk mobil generasi berikutnya oleh konsorsium yang didirikan oleh BMW, Bosch, DaimlerChrysler dan Philips pada tahun 2000. FlexRay adalah standar baru sistem komunikasi jaringan yang menyediakan komunikasi serial berkecepatan tinggi, bus yang dipicu waktu, dan toleransi kesalahan komunikasi antara perangkat elektronik untuk aplikasi otomotif masa depan. FlexRay mendukung skema pemicu waktu dan skema pemicu peristiwa opsional. Batas atas kecepatan data adalah 10 Mbps dan menyediakan dua saluran untuk redundansi (FlexRay Consortium, 2005). Protokol FlexRay pertama kali dirancang menggunakan SDL (Spesifikasi dan Bahasa Deskripsi). Kemudian, sistem didesain ulang menggunakan Verilog HDL berdasarkan sumber SDL. Selain itu, sistem FlexRay dikombinasikan dengan bintang aktif. Sistem gabungan diimplementasikan menggunakan ALTERA Excalibur ARM EPXA4F672C3. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang diterapkan beroperasi dengan sukses. Arsitektur FlexRay dibagi menjadi tiga level pada Gambar 2.1 berdasarkan protokol.

2.2.1 Tingkat 1—Topologi Jaringan

Di bagian ini, level 1 memperkenalkan ikhtisar topologi jaringan untuk FlexRay. Ini mendukung saluran tunggal / ganda dan tiga jenis topologi: tipe bus, tipe bintang, dan tipe hibrida yang dikombinasikan dengan tipe bus dan tipe bintang. Saluran ganda toleran terhadap kesalahan dengan membuat konfigurasi yang berlebihan. Selain itu, topologi tipe bintang digunakan untuk terhubung secara point-to-point untuk kecepatan data yang tinggi, dan mudah untuk mengurangi kegagalan.

2.2.2 Tingkat 2—Antarmuka

Di level 2, antarmuka FlexRay mendukung penjaga bus di antarmuka fisik termasuk penahanan kesalahan dan deteksi kesalahan dalam domain waktu. Kemudian, penjaga bus berinteraksi dengan pengontrol komunikasi dan prosesor host.



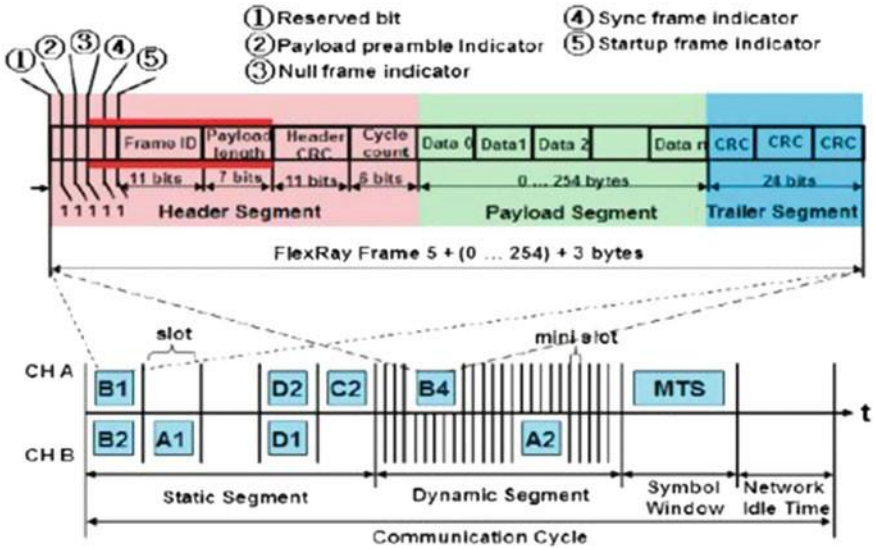
Gambar 2.1 Tingkat arsitektur FlexRay

2.2.3 Level 3—CHI dan Mesin Protokol

Level 3 berisi antarmuka host kontrol (CHI) dan mesin protokol. Mesin protokol juga disebut pengontrol komunikasi (CC). Arsitektur node ditunjukkan pada Gambar. 2.1.

Menurut, setiap node terdiri dari host dan communication controller (CC) yang dihubungkan oleh controller-host interface (CHI). CHI berfungsi sebagai buffer antara host dan CC. Host adalah bagian dari ECD tempat memproses pesan masuk dan menghasilkan pesan keluar. CC secara independen mengimplementasikan layanan protokol FlexRay.

Dalam protokol FlexRay, kontrol akses media didasarkan pada siklus komunikasi seperti Gambar 2.2. Siklus terdiri dari segmen statis (SS), segmen dinamis (DS), jendela simbol (SW), dan waktu idle jaringan (NIT). Organisasi SS didasarkan pada skema time-division multiple access (TDMA). Ini mentransmisikan pesan sesuai dengan jumlah tetap slot statis berukuran sama (STS) dan pengidentifikasi bingkai unik (FID). DS menggunakan pendekatan TDMA fleksibel (FTDMA). Ini dibagi menjadi slot mini. Komunikasi di segmen dinamis dilakukan dalam slot dinamis (berlawanan dengan slot statis dengan ukuran tetap di segmen statis). SW dan NIT menyediakan waktu untuk transmisi informasi pengendalian internal dan komputasi terkait protokol.



Gambar 2.2 Format bingkai FlexRay dan siklus komunikasi

Seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2, bingkai FlexRay mencakup tiga segmen: segmen header, payload, dan trailer. Lima bit pertama didefinisikan sebagai dasar dari frame. Untuk segmen statis, Frame ID (11 bit) didefinisikan sebagai posisi slot. Di segmen dinamis, ID Bingkai digunakan untuk menunjukkan prioritas bingkai: pengenal yang lebih rendah menunjukkan prioritas yang lebih tinggi.

Pada segmen header, panjang payload (7 bit) adalah panjang data (panjang payload 2 jumlah byte data). Header CRC (11 bit) didefinisikan sebagai Cyclic Redundancy Check, yang dihitung melalui indikator bingkai sinkronisasi (1 bit), indikator bingkai startup (1 bit), ID bingkai (11 bit) dan panjang muatan (7 bit) . Cycle count (6 bit) adalah nomor seri dari frame yang mendefinisikan secara lokal di node. Segmen payload (0–254 byte) berisi data utama yang ditransfer melalui bus. Segmen trailer (24 bit) digunakan untuk pemeriksaan redundansi siklik, dihitung melalui segmen header dan segmen muatan.

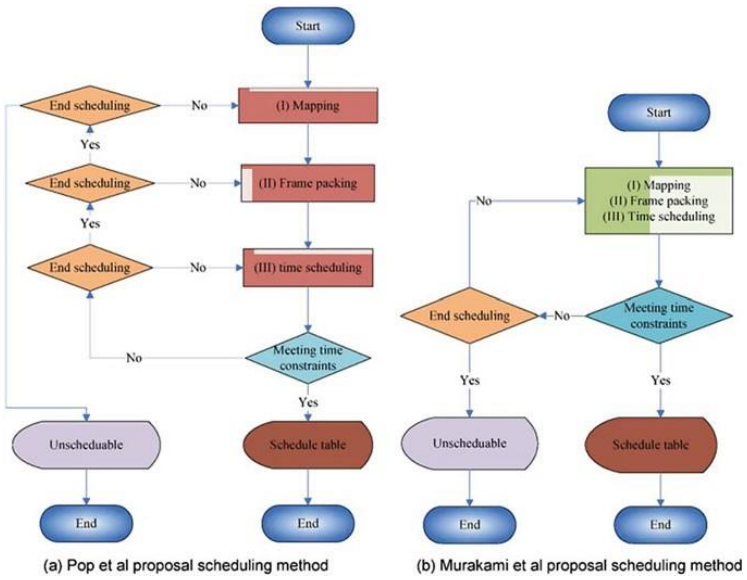
2.3 Penjadwalan Pesan untuk Sistem FlexRay

2.3.1 Segmen Statis FlexRay

Ada beberapa metode untuk mengoptimalkan penjadwalan untuk FlexRay di mana setiap algoritma disajikan dengan mengandalkan model yang ditentukan, oleh karena itu metode khusus diarahkan ke model yang berbeda. Pop dkk. telah memperkenalkan model penjadwalan yang terbagi menjadi tiga langkah. Pertama, langkah pemetaan yang meliputi klaster yang dipicu oleh waktu dan klaster yang dipicu oleh peristiwa, langkah kedua adalah pengepakan bingkai, dan langkah terakhir adalah penjadwalan waktu. Untuk setiap langkah, serangkaian parameter tertentu mengarah untuk mengetahui apakah suatu sistem dapat dijadwalkan dan batasannya terpenuhi.

Jika tidak terjadwal dalam langkah apapun, set parameter harus diubah sampai mendapatkan solusi yang mendekati optimal.

Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3, Pop et al. membagi model penjadwalan menjadi tiga langkah: pemetaan termasuk cluster yang dipicu oleh waktu dan cluster yang dipicu oleh peristiwa, pengepakan bingkai, dan penjadwalan waktu. Untuk setiap langkah,



Gambar 2.3 Perbandingan Model Penjadwalan

Serangkaian parameter yang diberikan mengarah untuk mengetahui apakah suatu sistem dapat dijadwalkan, dan batasannya terpenuhi. Jika tidak terjadwal dalam salah satu langkah ini, set parameter harus diubah sampai mendapatkan solusi optimal perkiraan.

Selain itu, Murakami dkk. juga mengusulkan algoritma simulasi annealing (SA) sebagai metode penjadwalan statis untuk sistem FlexRay. Metode ini didasarkan pada model penjadwalan Pop et al. tetapi menggabungkan tiga langkah: Pemetaan, Pengepakan bingkai, dan Penjadwalan waktu menjadi hanya satu langkah. Metode penjadwalan Murakami et al. Misalkan semua proses yang termasuk dalam grafik proses dapat memiliki perbedaan periode dan juga memperhitungkan pengaruh beban sistem pada metode penjadwalan [6].

Kemudian, algoritma genetika (GA) untuk FlexRay disajikan dan dioptimalkan model formal yang disebut diagram aliran data (DFG). Pendekatan algoritma GA lebih baik dari pada SA. Pertama, penulis memberikan deskripsi singkat tentang masalah berdasarkan TDMA untuk segmen statis FlexRay dan mempertimbangkan kendala input/output sinkron. Kemudian, berdasarkan model penjadwalan sistematis, mereka menggunakan GA untuk mengoptimalkan penugasan tugas di ECU dan penjadwalan pesan melalui bus. Setelah itu, GA dan hybrid-GA diusulkan pada.

Dalam karya-karya di atas, tidak ada pendekatan yang menjelaskan potensi jitter dalam transmisi pesan. Perhitungan jadwal pesan untuk SS FlexRay dirancang untuk mengakomodasi pesan waktu nyata secara periodik. Pekerjaan sebelumnya pada topik ini berfokus pada analisis waktu aplikasi pada bus FlexRay atau pada strategi heuristik yang bertujuan untuk menemukan jadwal pesan yang layak untuk kumpulan pesan yang diberikan. Klaus Schmidt dan Ece Guran Schmidt mengidentifikasi dan memecahkan dua masalah penjadwalan pesan pada SS FlexRay di.

Sinyal harus dikemas ke dalam pesan berukuran sama untuk mematuhi batasan protokol FlexRay, sementara menggunakan bandwidth sesedikit mungkin dan jadwal pesan harus ditentukan sedemikian rupa sehingga pesan periodik ditransmisikan dengan jitter minimum. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis merumuskan masalah nonlinier integer programming (NIP) untuk memaksimalkan pemanfaatan bandwidth. Selain itu, mereka juga memperkenalkan arsitektur perangkat lunak yang sesuai dan menurunkan masalah integer linear programming (ILP) yang meminimalkan jitter dan alokasi bandwidth.

Selain itu, untuk meminimalkan jumlah slot yang digunakan pada masalah tersebut di atas, penulis juga menyajikan formulasi untuk meminimalkan jitter transmisi. Karya ini membahas optimasi jadwal komunikasi segmen statis, tetapi tidak mencoba optimasi di tingkat sistem. Mereka tidak mempertimbangkan kemungkinan tenggat waktu end-to-end, penyampaian informasi dan batasan prioritas di antara tugas dan sinyal, atau sinkronisasi tugas dan jadwal sinyal. Untuk mengatasi masalah ini, Haibo Zeng et al. mempelajari masalah ECU dan sintesis penjadwalan bus FlexRay dari perspektif perancang aplikasi, tertarik untuk mengoptimalkan penjadwalan tunduk pada batasan waktu sehubungan dengan latensi atau fungsi metrik terkait ekstensibilitas.

Mereka memperkenalkan solusi untuk tugas dan masalah penjadwalan sinyal, termasuk kebijakan penjadwalan tugas yang berbeda berdasarkan standar industri yang ada. Solusinya didasarkan pada kerangka kerja pengoptimalan Mixed-Integer Linear Programming (MILP) alih-alih metode heuristik untuk menjadwalkan transaksi yang terdiri dari tugas dan sinyal pada sistem berbasis FlexRay. Formulasi ini mencakup optimasi jadwal tingkat sistem dengan definisi fase relatif optimal dalam aktivasi tugas dan sinyal yang memperhitungkan tenggat waktu dan kendala prioritas. Tujuan dari metode MILP yang diusulkan adalah untuk memaksimalkan jumlah slot komunikasi bebas dan meningkatkan ekstensibilitas atau untuk memaksimalkan kelonggaran minimum di antara jalur dan meningkatkan kinerja waktu. Penulis memberikan solusi untuk informasi tugas-ke-sinyal yang disinkronkan yang lewat di bawah kebijakan penjadwalan tugas yang berbeda berdasarkan standar industri yang ada. Ada banyak algoritma untuk mengoptimalkan penjadwalan untuk FlexRay berdasarkan

model yang berbeda. Bukan hanya algoritma optimasi yang berbeda, tetapi juga perspektif yang berbeda termasuk model dan metode

2.3.2 Segmen Dinamis FlexRay

Segmen dinamis FlexRay didasarkan pada pemicu genap dan pesan bersifat asiklik dan tiba kapan saja. Oleh karena itu, diperlukan model probabilistik untuk menganalisis transmisi pesan secara dinamis. Bagian ini adalah penelitian terkait analisis schedulability dan algoritma optimasi untuk segmen dinamis FlexRay. Nielsen dkk. mengusulkan pendekatan baru untuk analisis kinerja segmen dinamis berdasarkan analisis transien rantai Markov [9]. Model segmen dinamis adalah rantai Markov waktu diskrit dua dimensi, di mana langkah waktu diskrit mewakili slot mini segmen dinamis. Ruang keadaan model ini terdiri dari identitas slot dan keadaan dalam slot dinamis, setiap keadaan dalam rantai Markov merupakan slot mini yang menganggur, atau slot mini yang digunakan untuk mentransmisikan bingkai. Langkah waktu model ini memiliki durasi satu slot mini. Probabilitas transisi dari rantai Markov sesuai dengan probabilitas kedatangan setiap slot dinamis. Kemudian matriks probabilitas transisi dapat dihitung dengan cara iterasi pada himpunan slot dinamis, dan vektor probabilitas keadaan harus dihitung dengan mudah. Distribusi slot dinamis terakhir dapat diambil dari model rantai Markov. Oleh karena itu, model berdasarkan rantai Markov dapat menjadi alat bagi perancang jaringan untuk membuat prediksi awal tentang perilaku jaringan.

Menurut Nielsen dkk. model, penulis dalam meningkatkan model rantai Markov, dan mengusulkan model penundaan probabilistik pesan segmen dinamis. Model penundaan mempertimbangkan pesan panjang variabel yang berbagi ID Bingkai yang sama. Sementara model penundaan mengasumsikan bahwa bingkai dalam ID bingkai menggunakan panjang muatan yang sama, dalam model inovasi ini, pesan yang berbagi ID bingkai memiliki pilihan yang sama untuk dikirim di bus. Penulis berfokus pada pemanfaatan bus dan waktu tunda dalam sudut yang berbeda, mereka menyajikan dua metrik kinerja sebagai target analisis: probabilitas tunda bingkai dan distribusi slot mini kosong.

Pesan dinamis menghasilkan dan mengirimkan antara dua tugas masing-masing pesan memiliki panjang yang berbeda. Untuk sistem FlexRay yang diberikan, panjang segmen dinamis adalah tetap, sedangkan selama segmen dinamis, jika tidak ada pesan yang dikirim selama slot tertentu, maka slot tersebut akan memiliki panjang satu slot mini, sebaliknya slot dinamis akan memiliki panjang satu slot mini. panjangnya sama dengan panjang pesan yang dikirimkan. Berdasarkan karakteristik segmen dinamis, banyak peneliti menggambarkan optimasi target dengan bandwidth bus, waktu respon dan distribusi slot. Bab ini baru saja memperkenalkan pekerjaan baru-baru ini pada bandwidth bus.

Dalam hal bandwidth bus, Ece Guran Schmidt dan Klaus Schmidt mempertimbangkan batas waktu pembuatan pesan dan persyaratan waktu untuk pengiriman pesan dari pesan sporadis untuk memesan bandwidth untuk setiap pesan berdasarkan pengalamatan metode jadwal pesan untuk pesan sporadis. Dalam sudut pandang penulis, DS FlexRay dirancang untuk mengakomodasi pesan waktu nyata sporadis yang dihasilkan oleh kejadian peristiwa

dan harus dikirimkan sebelum tenggat waktu. Untuk tujuan ini, diperlukan untuk menemukan jadwal pesan yang layak yang memenuhi persyaratan waktu.

Pekerjaan sebelumnya pada FlexRay DS sebagian besar menyediakan metode untuk menguji apakah jadwal yang diberikan layak. Mereka mengusulkan metode untuk mensintesis jadwal pesan yang efisien dan layak. Berdasarkan deskripsi masalah formal, pendekatan mereka menentukan parameter sistem yang diperlukan sehingga pesan sporadis terkirim tepat waktu. Dua metrik kinerja ditentukan untuk mengukur efisiensi setiap jadwal: reservasi bandwidth dan beban siklus. Reservasi bandwidth menunjukkan jumlah slot mini yang dicadangkan per siklus untuk setiap node, sedangkan beban siklus menunjukkan jumlah maksimum slot mini yang dicadangkan untuk transmisi pesan dalam satu siklus. Kemudian, pemrograman integer diterapkan untuk mengelompokkan pesan, dan pesan dalam grup yang sama akan dikirimkan dalam reservasi. Jadwal optimal memenuhi lebih banyak reservasi yang digunakan oleh grup pesan dan reservasi bandwidth diminimalkan.

2.3.3 Perbandingan dengan CAN

2.3.3.1 Lapisan Fisik

Seperti disebutkan sebelumnya, FlexRay mendukung tiga topologi utama, bus, star dan hybrid dan baud rate-nya adalah 10 Mbps sedangkan CAN hanya menggunakan bus sebagai topologinya dengan baud rate 1 Mbps. CAN hanya menggunakan satu saluran dan menggunakan logam sebagai lapisan fisiknya sedangkan FlexRay dapat mendukung dua saluran pada implementasinya pada logam atau serat optik. Panjang bus CAN bisa mencapai 40 m, dan FlexRay hanya 22 m antara setiap node, atau node dan bintang aktif.

2.3.3.2 Komunikasi

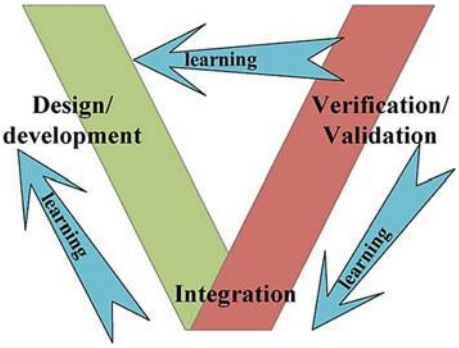
Komunikasi FlexRay didasarkan pada pemicu waktu untuk pesan periodik dan peristiwa yang dipicu untuk pesan aperiodik. FlexRay dapat menghubungkan hingga 22 node dalam topologi bus atau star. BISA hanya menggunakan event yang dipicu untuk komunikasinya dan dapat terhubung ke node tergantung pada waktu tunda bus.

2.3.3.3 Bingkai

Bingkai FlexRay memiliki tiga segmen. Payload maksimumnya adalah 254 byte, sedangkan CAN hanya memiliki 8 byte payload. Frame CAN terdiri dari Data frame, Remote frame, Error Frame, dan Over Rode.

2.3.3.4 Kondisi Kesalahan

CAN memiliki lima jenis error bit error, stuffing error, ACK error, framing error, dan CRC error. FlexRay memiliki semua jenis kesalahan kecuali sinkronisasi jam. Dalam CAN, status kesalahan dibagi menjadi tiga langkah, kesalahan aktif, kesalahan pasif, dan bus mati. Status kesalahan FlexRay juga dibagi menjadi tiga langkah, normal aktif, normal pasif, dan berhenti. Kondisi aktif di FlexRay dan CAN berarti tidak ada kesalahan. Kondisi pasif berarti kesalahan pada node masih dapat diterima. Kondisi bus mati atau berhenti berarti kesalahan yang terjadi berakibat fatal.



Gambar 2.4 Modem V diagram

2.4 Verifikasi dan Validasi

Jaringan FlexRay akan banyak digunakan di area kritis keselamatan dan keamanan seperti sistem manajemen powertrain. Kesalahan dalam salah satu sistem ini dapat menyebabkan tidak hanya kerugian finansial yang besar, tetapi juga hilangnya nyawa manusia. Model diagram V modern membantu insinyur mengembangkan jaringan FlexRay secepat Gambar 2.4.

Pada Gambar 2.4, tahap desain/pengembangan (kiri atas) dan tahap verifikasi dan validasi (kanan atas) diimplementasikan secara bersamaan. Keduanya secara bertahap memenuhi permintaan aplikasi melalui integrasi. Diagram V modem sesuai dengan proses rekayasa yang berulang dengan banyak langkah berulang sepanjang siklus hidup pengembangan. Akhirnya, siklus hidup pengembangan melengkapi seluruh desain. Maka verifikasi dan validasi penting untuk FlexRay. Ada beberapa metode validasi termasuk simulasi komputer, verifikasi formal.

2.4.1 Simulasi Komputer untuk Validasi Model

Simulasi komputer untuk verifikasi model meliputi analisis penjadwalan (pada model target abstrak), dan simulasi dan analisis waktu (pada model target detail). Biasanya, analisis penjadwalan model abstrak berada pada tahap desain awal dan simulasi waktu dan analisis berada pada tahap desain akhir untuk model kepastian.

2.4.1.1 Analisis Penjadwalan untuk Model Target Abstrak

Pada tahap desain awal, desain berbasis model diakui secara universal sebagai pendekatan yang baik untuk menjadwalkan sintesis dan semakin banyak digunakan dalam industri otomotif. Misalnya, pemodelan diagram aliran data mengabstraksi dan mendefinisikan fungsi sistem yang diperlukan. Dalam semua kontribusi yang disebutkan untuk segmen statis dan dinamis, ide dasarnya adalah membuat model formal yang mencakup kedatangan beban yang relevan ke dalam sistem.

Model pabrik yang berinteraksi dengan algoritma penjadwalan tersedia dalam desain awal. Artinya, hanya beberapa penyesuaian parameter sensitif yang cukup untuk mendapatkan model yang andal. Ini jelas berfokus pada pengaruh yang relevan dengan waktu yang menghasilkan model yang sangat kecil dan efisien dengan hanya beberapa parameter. Seperti ukuran slot, waktu siklus frame di FlexRay. Parameter kunci dari abstraksi yang kuat menggambarkan kedatangan beban sistem tanpa

rincian kode yang dieksekusi dan konten data yang dikirimkan. Hal ini memungkinkan untuk analisis waktu dan kinerja yang sistematis dan efisien, dan aplikasi awal tergantung pada diagram V untuk analisis dan desain tahap selanjutnya.

2.4.1.2 Simulasi dan Analisis Waktu untuk Model Kepastian

Simulasi dan analisis waktu, di FlexRay, bekerja pada tingkat protokol bus dan sistem operasi, dan menganalisis efek waktu yang dihasilkan dari integrasi tugas pada ECU dan pesan pada bus, masing-masing. Berdasarkan model sistem yang dapat dieksekusi, analisis penjadwalan dapat diterapkan di tingkat yang berbeda dan menceritakan tentang cadangan kinerja atau kemacetan yang akan datang sebelum seluruh sistem dibangun.

2.4.2 Verifikasi Formal

Termasuk sistem perangkat keras dan perangkat lunak, verifikasi formal adalah tindakan untuk membuktikan atau menyangkal kebenaran algoritma, hal itu dilakukan dengan memberikan bukti formal pada model matematis abstrak dari sistem. Kemudian ada banyak pekerjaan pada verifikasi formal perangkat keras, perangkat lunak, dan protokol untuk FlexRay. Hal ini menjadi lebih penting ketika mempertimbangkan sistem tertanam terdistribusi FlexRay. Erik Enders dll. mempertimbangkan interaksi yang erat antara bagian perangkat lunak dan perangkat keras, dan memverifikasi terhadap spesifikasi seperti yang terlihat oleh pemrogram sistem. Verifikasi formal protokol FlexRay diperkenalkan. Ini memverifikasi properti penjaga bus dan algoritma sinkronisasi jam. Rush by memberikan gambaran umum tentang verifikasi formal dari arsitektur Time-Triggered dan secara formal membuktikan kebenaran beberapa algoritma kunci. Tujuan dari verifikasi formal adalah layak untuk secara formal memverifikasi sistem otomotif terdistribusi yang kompleks dengan cara yang meresap. Tujuan yang diinginkan adalah teorema tingkat atas "tunggal" yang menggambarkan kebenaran keseluruhan sistem.

2.5 Perangkat Lunak dan Perangkat Keras

Teknologi FlexRay dapat dibagi menjadi dua (perangkat lunak/perangkat keras) untuk area utama: perangkat lunak untuk mengonfigurasi dan mengelola komunikasi dalam klaster FlexRay dan lapisan aplikasi ECU; digital dan logika yang mengimplementasikan protokol FlexRay dan driver sinyal analog.

2.5.1 Perangkat Lunak

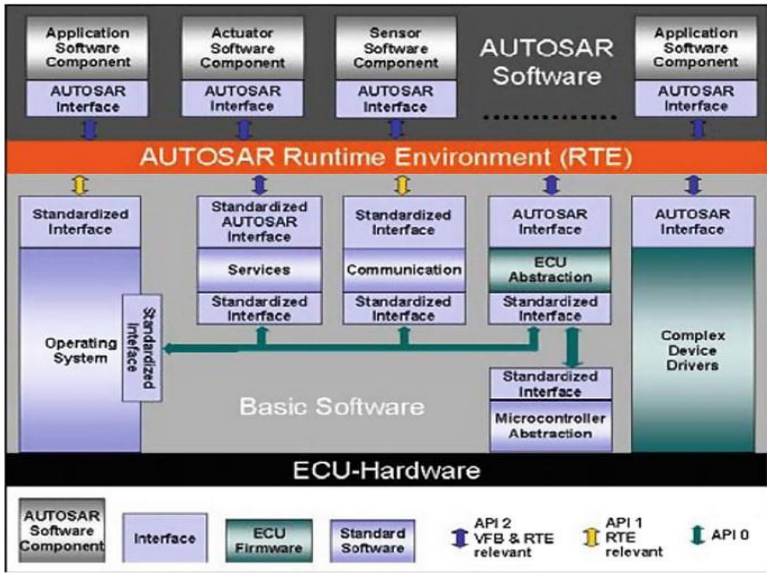
Perangkat lunak yang digunakan dalam mobil saat ini sangat beragam. Hasilnya adalah pengembang yang berbeda menggunakan standar yang berbeda untuk mengembangkan perangkat lunak yang sama dan pemasok yang berbeda mengembangkan komponen perangkat lunak untuk perangkat keras yang berbeda. Ini mencakup berbagai jenis unit kontrol elektronik serta berbagai jenis bus. Oleh karena itu, produsen mobil, pemasok, dan pengembang alat bersama-sama telah mengembangkan arsitektur perangkat lunak otomotif yang terbuka dan terstandarisasi (AUTOSAR). Tujuan dari inisiatif AUTOSAR adalah menetapkan standar terbuka untuk arsitektur elektrik/elektronik otomotif. Ruang lingkup AUTOSAR mencakup semua domain kendaraan sebagai berikut:

- Implementasi dan standarisasi fungsionalitas sistem dasar sebagai solusi "Standard Core" OEM yang luas.
- Skalabilitas untuk varian kendaraan dan platform yang berbeda.
- Transferabilitas fungsionalitas di seluruh jaringan.
- Integrasi modul fungsional dari beberapa pemasok.
- Pertimbangan ketersediaan dan persyaratan keamanan.
- Aktivasi redundansi.
- Pertahankan kemampuan di seluruh “Siklus Hidup Produk”.
- Peningkatan penggunaan "Perangkat keras komersial dari rak".
- Pembaruan dan peningkatan perangkat lunak selama masa pakai kendaraan.

Berdasarkan Gambar 2.5, standar AUTOSAR akan berfungsi pada platform perangkat keras yang berbeda dalam aplikasi kendaraan masa depan dan berfungsi untuk meminimalkan hambatan saat ini antara domain fungsional. Hal ini juga untuk memetakan jaringan fungsional ke ECU yang berbeda dalam sistem. Untuk tujuan teknis modularitas, skalabilitas, transferabilitas dan kegunaan kembali fungsionalitas, AUTOSAR menyediakan infrastruktur perangkat lunak umum untuk sistem otomotif dari semua domain kendaraan berdasarkan antarmuka standar.

2.5.2 Perangkat Keras

Pusat perangkat keras untuk FlexRay adalah lapisan eksekusi protokol, di mana data bingkai keluar dikirim ke lapisan fisik. Lapisan fisik terdiri dari tiga bagian:



Gambar 2.5 Arsitektur perangkat lunak AUTOSAR ECU

Pengemudi bus, wali bus opsional, dan interkoneksi fisik. Antarmuka untuk mengintegrasikan pengontrol FlexRay ke dalam sistem sebagai berikut:

Jam dan Antarmuka Atur Ulang: memungkinkan gerbang jam dan kontrol reset melalui hard atau soft reset.

- Antarmuka Host: antarmuka periferal baca/tulis sederhana.

- Interrupt and Strobes Interface: memilih implementasi interupsi dan debugging melalui perangkat lunak.
- Antarmuka Bus FlexRay: digunakan untuk menghubungkan perangkat FlexRay ke driver bus FlexRay, yang ditentukan dalam Spesifikasi Lapisan Fisik Elektrikal Sistem Komunikasi FlexRay.
- Antarmuka Memori Sistem: terhubung melalui Bus Master Interface (BMIF) ke pengontrol memori eksternal. Ini dapat dihubungkan langsung ke memori bersama atau subsistem bus memori eksternal. Dalam kedua kasus tersebut, persyaratan latensi tertentu harus dipenuhi.

Banyak vendor semikonduktor sedang mengerjakan pengembangan pengontrol FlexRay dan mengintegrasikan pengontrol FlexRay dengan MCU. Untuk mengembangkan sistem berbasis FlexRay, Freescale, Fujitsu, Atmel, dll., menawarkan papan evaluasi multifungsi dengan MCU 16/32 bit sebagai pengontrol host. Infineon dan NXP masing-masing telah mengembangkan CC untuk komunikasi bus FlexRay. Dalam domain MCU 32-bit, Freescale mengembangkan MPC5567 yang didasarkan pada inti PowerPC dan memungkinkan komunikasi yang toleran terhadap kesalahan pada kecepatan bandwidth tinggi 10 Mbps, mengurangi biaya sistem dengan mengintegrasikan fungsionalitas maksimum pada chip. Perangkat ini adalah MCU berbasis flash 32bit pertama dengan protokol FlexRay.

Fungsionalitas FlexRay yang terintegrasi adalah modul kontrol, cara yang deterministik dan dapat diandalkan berdasarkan protokol FlexRay di dalam mobil. Hal ini membantu mempopulerkan aplikasi FlexRay dalam sistem pengereman, stabilitas, dan suspensi. FlexRay mendapatkan dukungan internasional dalam industri otomotif dan akan digunakan oleh pembuat kendaraan untuk mengaktifkan fitur-fitur keselamatan dan kinerja yang kritis.

2.6 Kesimpulan

Bab ini menyajikan situasi dari analisis penjadwalan pada tahap desain awal hingga algoritma penjadwalan/optimasi untuk segmen statis dan dinamis. Ada banyak pekerjaan yang berfokus pada analisis penjadwalan untuk sistem FlexRay. Setiap pendekatan untuk mengoptimalkan metode penjadwalan bergantung pada sistem atau aplikasi model tertentu. Bab ini menyajikan secara singkat situasi studi dari analisis penjadwalan pada tahap desain awal hingga algoritma penjadwalan/optimasi untuk segmen statis dan dinamis. Di masa depan, ketika FlexRay menjadi tulang punggung data, pekerjaan pada FlexRay tidak hanya menganalisis kondisi layanan bus individu, tetapi juga meneliti seluruh desain jaringan termasuk topologi yang berbeda dari bus CAN, LIN dan FlexRay untuk mengembangkan protokol perutean gerbang agar untuk menghubungkan bus lain melalui gateway.

BAB 3
KOMUNIKASI MENGGUNAKAN CONTROLLER AREA NETWORK PROTOKOL

3.1 Pendahuluan

Controller Area Network (CAN) awalnya dikembangkan pada Februari 1986, oleh Robert Bosch Gmbh dan diperkenalkan sebagai "*Automotive Serial Controller Area Network*" di kongres SAE di Detroit sebagai sistem bus baru. Pada awal tahun 1980-an, sekelompok insinyur di Bosch GmbH adalah pelopor dalam memperkenalkan protokol jaringan multi-master ini. Itu didasarkan pada mekanisme arbitrase tak rusak yang memberikan akses bus ke pesan tanpa menyebabkan penundaan. Protokol CAN Serial Otomotif ini diperkenalkan karena fakta bahwa mobil memerlukan biaya kabel tambahan untuk meningkatkan jumlah sistem kontrol terdistribusi dan juga tidak ada protokol yang ada yang dapat bekerja dengan memuaskan bagi para insinyur otomotif.

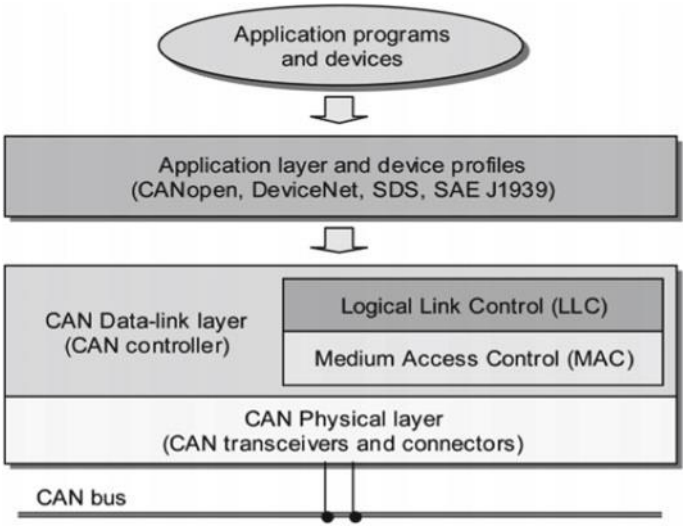
Pada awalnya CAN digunakan untuk menghubungkan ABS (Anti-Block System and Acceleration Skid Controls (ASC). Misalnya pada ASC, engine timing dan carburetor control diperlukan saat terjadi slip dan sebaliknya. oped untuk industri otomotif, sektor otomasi lainnya dan saat ini digunakan dalam berbagai macam aplikasi sistem tertanam lainnya Implementasi perangkat keras pertama dari protokol CAN diproduksi oleh Intel Corporation pada pertengahan 1987 dalam bentuk chip pengontrol, 82.526 yang lebih menyukai konsep FullCan dibandingkan dengan implementasi BasicCAN yang diperkenalkan oleh Phillips Semiconductors yang segera menyusul. Vendor semikonduktor yang mengimplementasikan modul CAN ke dalam perangkat mereka terutama berfokus pada industri otomotif dan sejak pertengahan 1990-an, Infineon Technologies (sebelumnya Siemens Semiconductors) dan Motorola telah memproduksi dan mengirimkan sejumlah besar chip pengontrol CAN ke produsen mobil penumpang Eropa dan d pemasok mereka.

Meskipun dirancang untuk aplikasi kendaraan, pada awal 1990-an, CAN mulai diadopsi dalam skenario yang berbeda. Dokumen standar memberikan spesifikasi yang memuaskan untuk lapisan komunikasi yang lebih rendah tetapi tidak menawarkan pedoman atau rekomendasi untuk bagian atas dari tumpukan protokol Interkoneksi Sistem Terbuka (OSI), secara umum, dan untuk lapisan aplikasi, pada khususnya. Inilah sebabnya mengapa aplikasi CAN sebelumnya di luar skenario otomotif (yaitu, mesin tekstil, sistem medis, dan sebagainya) mengadopsi solusi monolitik ad hoc.

Protokol CAN dapat diartikan sebagai protokol dua lapisan dalam hal model referensi 7-lapisan OSI/ISO. Dengan kata lain, CAN beroperasi pada lapisan fisik dan lapisan data link dari model OSI standar. Lapisan fisik menentukan bagaimana sinyal ditransmisikan.

Organisasi Standar Internasional (ISO) mendefinisikan standar ISO11898 yang menggabungkan spesifikasi CAN untuk memenuhi beberapa persyaratan dalam pensinyalan fisik [4], yang mencakup pengkodean dan penguraian bit (Non-Return-to-Zero, NRZ) serta waktu bit dan sinkronisasi. Menggunakan mekanisme jaringan bus serial, aplikasi CAN yang

ada mengirim pesan melalui jaringan. Dalam sistem CAN, tidak diperlukan pengontrol pusat karena setiap node terhubung ke setiap node lain dalam jaringan. Protokol komunikasi CAN, ISO 11898: 2003, menjelaskan bagaimana informasi dilewatkan antar perangkat dan sesuai dengan model Open Systems Interconnection (OSI) yang didefinisikan dalam istilah lapisan. Komunikasi aktual antar perangkat oleh media fisik ditentukan oleh lapisan fisik model. Spesifikasi CAN, khususnya, hanya mencakup lapisan fisik dan data link.



Gambar 3.1 CAN protokol stack

3.2 Ikhtisar Protokol CAN

3.2.1 Lapisan Fisik

Fitur lapisan fisik CAN yang valid untuk sistem apa pun, seperti yang terkait dengan pensinyalan fisik, dijelaskan dalam ISO 11898-1. Unit akses menengah (yaitu, transceiver) didefinisikan dalam dua dokumen terpisah: ISO 11898-2 dan ISO 11898-3 untuk komunikasi kecepatan tinggi dan kecepatan rendah, masing-masing. Definisi antarmuka media (yaitu, konektor) biasanya tercakup dalam dokumen lain.

3.2.1.1 Topologi Jaringan

Jaringan CAN didasarkan pada topologi bus bersama. Bus harus diakhiri di setiap ujungnya dengan resistor (impedansi nominal yang disarankan adalah 120 W), untuk menekan pantulan sinyal. Untuk alasan yang sama, dokumen standar menyatakan bahwa topologi jaringan CAN harus sedekat mungkin dengan satu baris. Rintisan diizinkan untuk menghubungkan perangkat ke bus, tetapi panjangnya harus sesingkat mungkin. Misalnya, pada 1 Mbit/s panjang rintisan harus lebih pendek dari 30 cm.

Beberapa bit rate tersedia untuk jaringan, yang paling diadopsi berada di kisaran 50 Kbit/s sampai 1 Mbit/s (nilai terakhir mewakili bit rate maksimum yang diijinkan menurut spesifikasi CAN). Perpanjangan maksimum jaringan CAN tergantung langsung pada bit rate. Hubungan yang tepat antara dua kuantitas ini melibatkan parameter seperti penundaan yang diperkenalkan oleh transceiver dan optocoupler. Secara umum, produk matematis antara panjang bus dan laju bit harus

mendekati konstan. Misalnya, ekstensi maksimum yang diizinkan untuk jaringan 500 Kbit/dtk adalah sekitar 100 m, dan meningkat hingga sekitar 500 m bila kecepatan bit 125 Kbit/dtk dipertimbangkan.

Pengulang sinyal dapat digunakan untuk meningkatkan perluasan jaringan, terutama ketika pembangkit besar harus dicakup dan kecepatan bit rendah atau sedang. Namun, mereka memperkenalkan penundaan tambahan pada jalur komunikasi; maka jarak maksimum antara dua node secara efektif dipersingkat pada bit rate yang tinggi. Menggunakan repeater juga mencapai topologi yang berbeda dari bus (pohon atau sisir, misalnya). Dalam hal ini, desain yang baik dapat meningkatkan luas efektif yang dicakup oleh jaringan.

3.2.1.2 Pengkodean Bit

Di CAN, antarmuka listrik dari sebuah node ke bus didasarkan pada skema seperti kolektor terbuka. Akibatnya, level pada bus dapat mengasumsikan dua nilai yang saling melengkapi, yang dilambangkan secara simbolis sebagai dominan dan resesif. Biasanya, level dominan sesuai dengan nilai logis 0 sedangkan level resesif bertepatan dengan nilai logis 1.

CAN bergantung pada pengkodean bit *non-return-to-zero* (NRZ), yang menampilkan efisiensi sangat tinggi karena informasi sinkronisasi tidak dikodekan secara terpisah dari data. Sinkronisasi bit di setiap node dicapai melalui digital phase-locked loop (DPLL), yang mengekstrak informasi waktu secara langsung dari aliran bit yang diterima dari bus. Secara khusus, tepi sinyal digunakan untuk menyinkronkan jam lokal, untuk mengkompensasi toleransi dan penyimpangan osilator.

3.2.2 Format Bingkai Pesan

Protokol CAN mendukung dua format bingkai pesan, perbedaan utama adalah panjang bidang pengenal dan beberapa bit lainnya di bidang arbitrase. Secara khusus, format bingkai standar (juga dikenal sebagai format CAN 2.0A) mendefinisikan bidang pengenal 11-bit, yang berarti bahwa hingga 2048 pengenal berbeda tersedia untuk aplikasi yang dijalankan di jaringan yang sama (banyak pengontrol CAN lama hanya mendukung pengenal dalam kisaran 0-2031). Format bingkai yang diperluas (diidentifikasi sebagai CAN 2.0B) sebagai gantinya memberikan 29 bit ke pengidentifikasi, sehingga hingga setengah miliar objek berbeda dapat ada (secara teori) di jaringan yang sama. Ini adalah nilai yang cukup tinggi, yang sebenarnya cukup untuk segala jenis aplikasi.

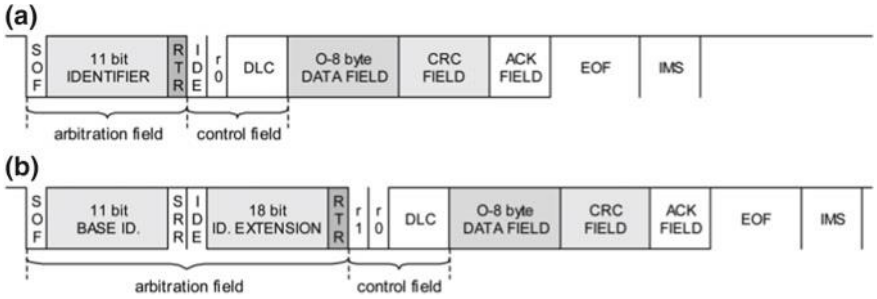
3.2.2.1 Bingkai Data

Setiap frame data di CAN dimulai dengan bit *start-of-frame* (SOF) pada level dominan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Segera setelah bit SOF ada bidang arbitrase, yang mencakup pengidentifikasi dan bit permintaan transmisi jarak jauh (RTR). Seperti namanya, bidang pengenal mengidentifikasi konten bingkai yang dipertukarkan secara unik di seluruh jaringan. Pengidentifikasi juga digunakan oleh sub-lapisan MAC untuk mendeteksi dan mengelola prioritas bingkai, yang digunakan setiap kali terjadi tabrakan (semakin rendah nilai numerik pengidentifikasi, semakin tinggi prioritas bingkai).

Pengidentifikasi dikirim mulai dari bit yang paling signifikan hingga yang paling tidak signifikan. Ukuran pengenal berbeda untuk bingkai standar dan bingkai diperpanjang. Dalam kasus terakhir, pengidentifikasi telah dipecah menjadi pengidentifikasi dasar 11-bit dan pengidentifikasi tambahan 18-bit, untuk menyediakan kompatibilitas dengan format bingkai standar.

Bit RTR digunakan untuk membedakan antara data dan frame jarak jauh. Karena nilai dominan RTR menunjukkan bingkai data sementara nilai resesif mewakili bingkai jarak jauh, bingkai data memiliki prioritas lebih tinggi daripada bingkai jarak jauh yang memiliki pengenal yang sama.

Di sebelah bidang arbitrase muncul bidang kontrol. Dalam kasus bingkai standar, ini termasuk bit pengenal ekstensi (IDE), yang membedakan antara bingkai standar dan diperpanjang, diikuti oleh bit cadangan r0. Dalam bingkai yang diperluas, bit IDE secara efektif termasuk dalam bidang arbitrase, serta bit permintaan jarak jauh pengganti (SRR)—tempat penampung yang dikirim pada nilai resesif untuk mempertahankan struktur bingkai. Dalam hal ini, bit IDE diikuti oleh ekstensi pengenal dan kemudian oleh bidang kontrol, yang dimulai dengan dua bit cadangan r1 dan r0. Setelah bit yang dicadangkan ada kode panjang data (DLC), yang menentukan — dikodekan pada 4 bit — panjang (dalam byte) bidang data. Karena bit IDE dominan dalam bingkai standar, sementara itu resesif dalam bingkai yang diperluas, ketika pengenal dasar yang sama dipertimbangkan, bingkai standar lebih diutamakan daripada bingkai yang diperluas.



Gambar 3.2 Format bingkai data

Setelah field data ada field CRC dan acknowledgment. Bidang sebelumnya terdiri dari urutan pemeriksaan redundansi siklik yang dikodekan pada 15 bit, yang diikuti oleh pembatas CRC pada nilai resesif. Jenis CRC yang diadopsi dalam CAN sangat cocok untuk mencakup frame pendek (yaitu, menghitung kurang dari 127 bit). Bidang pengakuan terdiri dari dua bit: slot ACK diikuti oleh pembatas ACK. Keduanya dikirim pada tingkat resesif oleh pemancar. Slot ACK, bagaimanapun, ditimpa dengan nilai dominan oleh setiap node yang telah menerima frame dengan benar (yaitu, tidak ada kesalahan yang terdeteksi hingga bidang ACK). Perlu dicatat bahwa slot ACK sebenarnya dikelilingi oleh dua bit pada tingkat resesif: pembatas CRC dan ACK. Melalui bit ACK, node transmisi diaktifkan untuk menemukan apakah setidaknya satu node dalam jaringan telah menerima frame dengan benar.

Di akhir frame, ada bidang *end-of-frame* (EOF), terdiri dari tujuh bit resesif, yang memberi tahu semua node akhir dari transmisi bebas kesalahan. Secara khusus, node pengirim mengasumsikan bahwa frame telah dipertukarkan dengan benar jika tidak ada kesalahan yang terdeteksi hingga bit terakhir dari bidang EOF, sedangkan dalam kasus penerima, frame valid jika tidak ada kesalahan hingga bit keenam EOF.

3.2.2.2 Bingkai Jarak Jauh

Tugas utama frame jarak jauh adalah meminta transmisi data dari node lain. Di satu sisi, jenis pesan ini secara eksplisit ditandai sebagai bingkai jarak jauh oleh bit RTR resesif di bidang arbitrase. Bingkai jarak jauh digunakan untuk meminta agar pesan yang diberikan dikirim di jaringan oleh simpul jarak jauh. Perlu dicatat bahwa node yang meminta tidak mengetahui siapa pembuat informasi terkait.

Itu tergantung pada penerima untuk menemukan yang harus membalas. Bidang DLC dalam bingkai jarak jauh tidak digunakan secara efektif oleh protokol CAN. Namun, itu harus diatur ke nilai yang sama dengan bingkai data yang sesuai, untuk mengatasi situasi di mana beberapa node mengirim permintaan jarak jauh dengan pengidentifikasi yang sama pada saat yang bersamaan. Dalam hal ini, permintaan yang berbeda harus benar-benar identik, sehingga mereka akan tumpang tindih jika terjadi tabrakan.

3.2.2.3 Bingkai Kesalahan

Bingkai kesalahan adalah pesan khusus yang melanggar aturan pemformatan pesan CAN. Ini ditransmisikan ketika sebuah node mendeteksi kesalahan dalam pesan, dan menyebabkan semua node lain dalam jaringan untuk mengirim bingkai kesalahan juga. Pemancar asli kemudian secara otomatis mentransmisi ulang pesan tersebut. Bingkai kesalahan terdiri dari dua bidang: tanda kesalahan dan pembatas kesalahan. Ada dua jenis flag error: flag error aktif terdiri dari enam bit dominan, sedangkan flag error pasif terdiri dari enam bit resesif. Bendera kesalahan aktif melanggar aturan isian bit atau bagian format tetap dari bingkai yang saat ini sedang dipertukarkan; karenanya, ini memberlakukan kondisi kesalahan yang terdeteksi oleh semua stasiun lain yang terhubung ke jaringan. Setiap node yang mendeteksi kondisi kesalahan mengirimkan tanda kesalahan sendiri. Dengan cara ini, sebagai konsekuensi dari transmisi tanda kesalahan, dapat ada 6 hingga 12 bit dominan di bus.

3.2.2.4 Bingkai Kelebihan Beban

Bingkai kelebihan beban disebutkan untuk kelengkapan. Ini mirip dengan bingkai kesalahan dalam hal format, dan ditransmisikan oleh simpul yang menjadi terlalu sibuk. Ini digunakan untuk membuat penundaan ekstra antara dua pesan oleh penerima yang lambat untuk memperlambat operasi di jaringan. Pengontrol CAN saat ini sangat cepat, sehingga membuat bingkai kelebihan beban hampir tidak berguna.

3.2.3 Teknik Akses Sedang

Mekanisme kontrol akses media untuk jaringan CAN pada dasarnya adalah *carrier-sense multiple access* (CSMA). Ketika tidak ada frame yang dipertukarkan, jaringan

menganggur dan level pada bus bersifat resesif. Sebelum mentransmisikan frame, node harus mengamati keadaan jaringan. Jika jaringan dalam keadaan idle, transmisi frame segera dimulai; jika tidak, node harus menunggu transmisi frame saat ini berakhir. Setiap frame dimulai dengan bit SOF pada level dominan, yang menginformasikan semua node lain bahwa jaringan telah beralih ke status sibuk.

Meskipun sangat tidak mungkin, mungkin saja dua atau lebih node mulai mengirim frame mereka secara tepat pada waktu yang sama. Hal ini sebenarnya dimungkinkan karena delay propagasi pada bus, walaupun sangat kecil. Jadi, satu node mungkin memulai transmisinya sementara bit SOF dari frame lain sudah berjalan di bus. Dalam hal ini, tabrakan akan terjadi. Dalam jaringan CSMA yang didasarkan pada deteksi tabrakan, seperti, misalnya, Ethernet non-switched, ini tidak dapat dihindari mengarah pada kerusakan semua frame yang terlibat, yang berarti bahwa mereka harus ditransmisikan ulang. Konsekuensinya adalah pemborosan waktu dan penurunan bersih dari bandwidth yang tersedia. Dalam kondisi beban tinggi, ini dapat menyebabkan kemacetan ketika jumlah tabrakan sangat tinggi dan kemudian throughput pada jaringan Ethernet turun di bawah tingkat kedatangan, jaringan menjadi macet.

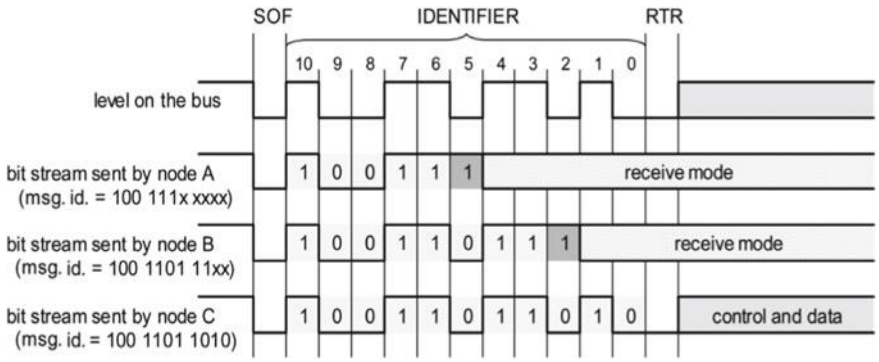
3.2.3.1 Arbitrase Bus

Skema arbitrase CAN memungkinkan tabrakan diselesaikan dengan menghentikan transmisi semua frame yang terlibat kecuali yang dicirikan oleh prioritas tertinggi (yaitu, pengidentifikasi terendah). Teknik arbitrase memanfaatkan kekhasan lapisan fisik CAN, yang secara konseptual menyediakan skema koneksi kabel di antara semua node. Secara khusus, level pada bus adalah dominan jika setidaknya satu node mengirimkan bit dominan; demikian juga, level pada bus bersifat resesif jika semua node mentransmisikan bit resesif.

Saat mentransmisikan, setiap node memeriksa level yang diamati pada bus terhadap nilai bit yang sedang ditulis. Jika node mentransmisikan nilai resesif dan level pada bus dominan, node memahami bahwa ia telah kehilangan pertentangan dan segera menarik diri. Teknik hitung mundur biner memastikan bahwa dalam kasus tabrakan, semua node yang mengirim frame dengan prioritas lebih rendah akan membatalkan transmisi mereka pada akhir bidang arbitrase, kecuali yang mengirim frame yang dicirikan oleh prioritas tertinggi (simpul pemenang bahkan tidak menyadari bahwa tabrakan telah terjadi). Ini menyiratkan bahwa tidak ada dua node dalam jaringan CAN yang dapat mengirimkan pesan yang terkait dengan objek yang sama pada waktu yang sama. Jika hal ini tidak terjadi, pada kenyataannya, tabrakan yang tidak dapat diatur dapat terjadi, yang pada gilirannya menyebabkan kesalahan transmisi. Karena fitur transmisi ulang otomatis dari pengontrol CAN, ini hampir pasti akan menyebabkan ledakan kesalahan pada bus sampai stasiun yang terlibat terputus oleh mekanisme pengurungan kesalahan.

Semua node yang kalah dalam pertarungan harus mencoba lagi transmisi segera setelah pertukaran frame saat ini (menang) berakhir. Mereka semua akan mencoba mengirim bingkai mereka lagi segera setelah jeda dibacakan di bus. Di sini, tabrakan baru bisa terjadi yang juga melibatkan frame yang dikirim oleh node yang

permintaan transmisinya dikeluarkan saat bus sedang sibuk. Contoh yang menunjukkan perilaku rinci dari fase arbitrase di CAN diuraikan pada Gambar. 3.3. Di sini, tiga node (yang telah ditunjukkan secara simbolis sebagai A, B, dan C) mulai mentransmisikan sebuah frame pada saat yang sama (mungkin pada akhir jeda setelah pertukaran frame sebelumnya melalui bus). Segera setelah sebuah node memahami bahwa ia telah kehilangan pertentangan, ia mengalihkan tingkat outputnya ke nilai resesif, sehingga tidak lagi mengganggu node transmisi lainnya. Peristiwa ini terjadi ketika bit ID 5 sedang dikirim untuk node A, sedangkan untuk node B hal ini terjadi pada bit ID 2. Node C berhasil mengirim seluruh bidang pengenal, dan kemudian dapat terus mentransmisikan bagian frame yang tersisa.



Gambar 3.3 Fase Arbitrase di CAN

3.2.4 Manajemen Kesalahan

Salah satu persyaratan utama dalam definisi protokol CAN adalah kebutuhan untuk memiliki sistem komunikasi yang ditandai dengan ketahanan tinggi, yaitu sistem yang mampu mendeteksi sebagian besar kesalahan transmisi. Oleh karena itu, perhatian khusus telah diambil dalam mendefinisikan manajemen kesalahan. Spesifikasi CAN memperkirakan lima mekanisme berbeda untuk mendeteksi kesalahan transmisi:

- Pemeriksaan redundansi siklik: saat mentransmisikan bingkai, node asal menambahkan CRC selebar 15-bit ke ujung bingkai itu sendiri. Node penerima mengevaluasi kembali CRC untuk memeriksa apakah cocok dengan yang ditransmisikan. Secara umum, CRC yang digunakan dalam CAN mampu menemukan hingga 5 bit yang salah didistribusikan secara sewenang-wenang dalam bingkai atau ledakan kesalahan termasuk hingga 15 bit.
- Pemeriksaan bingkai: bidang format tetap dalam bingkai yang diterima dapat dengan mudah diuji terhadap nilai yang diharapkan. Misalnya, pembatas CRC dan ACK serta bidang EOF harus berada pada level resesif. Jika satu atau lebih bit ilegal terdeteksi, kesalahan formulir dihasilkan.
- Pemeriksaan pengakuan: node transmisi memeriksa apakah bit ACK telah diatur ke nilai dominan dalam bingkai yang diterima. Sebaliknya, kesalahan pengakuan dikeluarkan.
- Pemantauan bit: setiap node transmisi membandingkan level pada bus dengan nilai bit yang sedang ditulis. Ketika ketidakcocokan terjadi, kesalahan dihasilkan. Ini tidak

berlaku untuk bidang arbitrase atau slot pengakuan. Pemeriksaan kesalahan seperti itu sangat efektif untuk mendeteksi kesalahan lokal yang mungkin terjadi pada node transmisi.

- Bit stuffing: setiap node memverifikasi apakah aturan bit stuffing telah dilanggar di bagian frame dari bit SOF hingga urutan CRC. Dalam kasus ketika enam bit nilai identik dibaca dari bus, kesalahan dihasilkan.

3.2.5 Implementasi

Menurut arsitektur internal, pengontrol CAN dapat diklasifikasikan dalam dua kategori berbeda: BasicCAN dan FullCAN. Secara konseptual, pengontrol BasicCAN dilengkapi dengan satu buffer pengirim dan satu penerima, seperti pada UART konvensional. Fungsi pemfilteran bingkai, dalam hal ini, umumnya diserahkan kepada program aplikasi (yaitu, di bawah kendali pengontrol host), meskipun beberapa jenis pemfilteran dapat dilakukan oleh pengontrol. Untuk menghindari kondisi overrun, skema buffer ganda berdasarkan buffer penerima bayangan biasanya tersedia, yang memungkinkan frame baru diterima dari bus sementara yang sebelumnya sedang dibaca oleh pengontrol host. Contoh pengontrol berdasarkan skema BasicCAN diberikan oleh PCA82C200 Philips.

Pengontrol CAN Intel 82526 dan 82527 didasarkan pada arsitektur FullCAN. Implementasi FullCAN memperkirakan sejumlah buffer internal yang dapat dikonfigurasi untuk menerima atau mengirimkan beberapa pesan tertentu. Dalam hal ini, fungsi penyaringan diimplementasikan langsung di pengontrol CAN. Ketika frame baru yang menarik untuk node diterima dari jaringan, itu disimpan di buffer terkait, di mana kemudian dapat dibaca oleh pengontrol host. Secara umum, nilai-nilai baru hanya menimpa nilai-nilai sebelumnya, dan ini tidak mengarah pada kondisi overrun.

3.3 Fitur Utama

3.3.1 Keuntungan

CAN jauh lebih sederhana dan kuat daripada skema akses berbasis token, misalnya, PROFIBUS ketika digunakan dalam konfigurasi multi-master. Faktanya, tidak perlu membangun atau memelihara cincin logis, atau mengelola sirkulasi token di sekitar stasiun induk. Dengan cara yang sama, ini terasa lebih fleksibel daripada solusi berdasarkan pendekatan time-division multiple access (TDMA) atau pesan gabungan—dua teknik yang diadopsi oleh SERCOS dan INTERBUS, masing-masing. Hal ini karena bertukar pesan tidak harus diketahui terlebih dahulu. Jika dibandingkan dengan skema berdasarkan polling terpusat, seperti FIP, tidak perlu memiliki node dalam jaringan yang bertindak sebagai arbiter bus, yang dapat menjadi titik kegagalan seluruh sistem. Karena semua node adalah master dalam CAN (setidaknya dari sudut pandang mekanisme MAC), sangat mudah bagi mereka untuk memberi tahu peristiwa asinkron, seperti, misalnya, alarm atau kondisi kesalahan kritis. Dalam semua kasus di mana aspek ini penting, CAN jelas lebih baik daripada solusi yang disebutkan di atas.

Dengan skema arbitrase, dipastikan tidak ada pesan yang tertunda oleh pertukaran prioritas yang lebih rendah. Karena protokol CAN tidak bersifat preemptive (seperti yang

terjadi pada hampir semua protokol yang ada), sebuah pesan masih dapat ditunda oleh pesan berprioritas lebih rendah yang transmisinya telah dimulai. Ini tidak dapat dihindari dalam sistem non-preemptive apa pun. Namun, karena ukuran bingkai di CAN sangat kecil (bingkai standar paling panjang 135 bit, termasuk bit barang), waktu pemblokiran yang dialami oleh pesan yang sangat mendesak pada umumnya cukup rendah. Hal ini membuat CAN menjadi jaringan yang sangat responsif, yang menjelaskan mengapa CAN digunakan di banyak aplikasi kontrol waktu nyata meskipun bandwidthnya relatif rendah.

3.3.2 Pertunjukan

Karena titik pengambilan sampel terletak kira-kira setelah tengah setiap bit (posisi yang tepat dapat diprogram melalui register yang sesuai), penundaan propagasi ujung ke ujung termasuk penundaan perangkat keras transceiver harus lebih pendek dari sekitar seperempat. waktu bit (nilai yang tepat tergantung pada konfigurasi waktu bit di pengontrol CAN).

Karena kecepatan propagasi sinyal tetap (sekitar 200 m/µs pada kabel tembaga), ini menyiratkan bahwa panjang maksimum yang diizinkan untuk bus tentu terbatas dan tergantung langsung pada bit rate yang dipilih untuk jaringan. Misalnya, jaringan CAN 250 Kbit/s dapat menjangkau paling banyak 200 m. Demikian pula, panjang bus maksimum yang diizinkan ketika bit rate dipilih sama dengan 1 Mbit/s hanya 40 m. Ini, sampai taraf tertentu, menjelaskan mengapa laju bit maksimum yang diizinkan oleh spesifikasi CAN ISO1 telah dibatasi hingga 1 Mbit/dtk. Perlu dicatat bahwa batasan ini tergantung pada faktor fisik, dan karenanya tidak dapat diatasi dengan cara apa pun dengan kemajuan teknologi transceiver.

3.3.3 Determinisme

CAN mampu menyelesaikan secara deterministik setiap tabrakan yang mungkin terjadi pada bus karena skema arbitrase bitwise nondestruktifnya. Namun, jika node diizinkan untuk menghasilkan pesan asinkron sendiri, ini adalah cara sistem yang digerakkan oleh peristiwa biasanya beroperasi, tidak ada cara untuk mengetahui waktu yang tepat dari pengiriman pesan yang diberikan. Ini karena tidak mungkin untuk memperkirakan jumlah sebenarnya dari tabrakan yang akan dialami sebuah node dengan pesan dengan prioritas lebih tinggi. Perilaku ini menyebabkan kegugupan yang berpotensi berbahaya, yang dalam beberapa aplikasi, misalnya yang terlibat dalam bidang otomotif, dapat memengaruhi algoritme kontrol secara negatif dan memperburuk presisinya. Secara khusus, mungkin saja beberapa pesan melewatkan tenggat waktu yang diinginkan.

3.3.4 Keandalan

Setiap kali aplikasi keselamatan kritis dipertimbangkan, di mana kesalahan komunikasi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan atau bahkan cedera pada manusia, misalnya, dalam sistem x-by-wire otomotif, jaringan yang sangat dapat diandalkan harus diadopsi. Deteksi kesalahan yang andal harus dicapai baik dalam nilai maupun dalam domain waktu. Dalam kasus sebelumnya, teknik konvensional seperti, misalnya, penggunaan CRC yang sesuai sudah memadai. Dalam kasus terakhir, pendekatan yang dipicu waktu tentu saja lebih tepat daripada skema komunikasi berbasis peristiwa yang disediakan oleh CAN. Dalam sistem yang dipicu waktu, semua tindakan termasuk pertukaran pesan, pengambilan sampel sensor, aktuasi nilai yang diperintahkan, dan aktivasi tugas diketahui dan harus dilakukan pada titik

waktu yang tepat. Dalam konteks ini, bahkan kehadiran (atau tidak adanya) pesan pada saat tertentu dapat memberikan informasi yang signifikan (yaitu, memungkinkan penemuan kesalahan).

3.4 Kesimpulan

CAN adalah bus serial multi-master yang memungkinkan transmisi data yang efisien antara node yang berbeda. CAN adalah protokol yang fleksibel, andal, kuat, dan terstandarisasi dengan kemampuan waktu nyata. Karena CAN berbasis pesan dan bukan berbasis alamat, CAN sangat cocok ketika data dibutuhkan oleh lebih dari satu lokasi. CAN sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan pesan singkat dalam jumlah besar dengan keandalan tinggi di lingkungan pengoperasian yang kasar.

BAB 4
SISTEM KONTROL TERDISTRIBUSI MENGGUNAKAN DUAL FIELDBUS

4.1 Pendahuluan

Beberapa kondisi lingkungan dapat menyebabkan perubahan beban yang cepat dalam sistem mesin kapal, yang menyebabkan emisi dan pemborosan sumber daya. Dalam industri kapal, penghematan bahan bakar dan pengurangan emisi merupakan isu populer karena kekurangan energi saat ini dan standar lingkungan yang lebih ketat. Untuk mengatasi masalah tersebut, desain sistem kendali mesin kapal harus memenuhi persyaratan perangkat keras dan perangkat lunak dari *International Association of Classification Societies* (IACS).

Untuk merancang sistem kendali mesin kapal berdasarkan spesifikasi IACS, penting untuk memahami bagaimana teknologi komunikasi dalam industri telah berkembang. Ini terutama berkembang dalam empat tahap selama empat dekade terakhir. Evolusi dimulai dengan kontrol digital langsung dan dialihkan ke kontrol proses hierarkis. Kemudian berkembang menjadi kontrol terdistribusi melalui perangkat medan dekat, dan akhirnya berkembang menjadi sistem kontrol terdistribusi (DCS) berdasarkan jaringan area lokal (LAN) dan fieldbus. Pengenalan DCS dengan LAN dan/atau sistem kontrol fieldbus telah mengurangi kompleksitas pengkabelan yang cukup besar dan telah membuat diagnostik sistem lebih mudah dan lebih cepat.

DCS terdiri dari lima komponen utama: pengontrol, modul input/output (I/O), perangkat lunak aplikasi, jaringan komunikasi, dan workstation. Komponen-komponen ini digabungkan untuk memberikan solusi otomatisasi proses yang luar biasa yang tidak hanya mengoptimalkan kinerja dan efisiensi pabrik, tetapi juga berfungsi sebagai perluasan alat pengambilan keputusan harian manajemen.

Karena jaringan komunikasi, penundaan komunikasi atau kehilangan komunikasi dapat terjadi, yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja atau bahkan ketidakstabilan. Akibatnya, para peneliti telah berfokus pada analisis sistem komunikasi jaringan yang terkait dengan penundaan komunikasi DCS. Pendekatan yang diusulkan dalam telah menyajikan metode untuk pengiriman data real-time dalam sistem kontrol jaringan untuk mengurangi penundaan komunikasi. Selain penundaan komunikasi, di DCS, juga penting bahwa data sampel ditransmisikan dalam periode pengambilan sampel, dan stabilitas sistem kontrol dijamin. Tetapi, sistem kontrol terdistribusi mesin kapal menyiratkan frekuensi pengambilan sampel yang tinggi dari sensor, kemungkinan besar bahwa entitas sistem akan gagal. Cara terbaik untuk mencapai toleransi kegagalan sistem adalah dengan menyediakan redundansi. Redundansi adalah pendekatan umum untuk meningkatkan keandalan dan ketersediaan sistem. Menambahkan redundansi meningkatkan biaya dan kompleksitas desain sistem. Namun, dengan keandalan yang tinggi dari komponen listrik dan mekanik modern, banyak

aplikasi yang tidak memerlukan redundansi untuk berhasil. Namun demikian, jika biaya kegagalan cukup tinggi, redundansi mungkin menjadi pilihan yang menarik.

Minat terbaru dalam redundansi sistem kontrol terdistribusi telah meningkat karena penggunaan CAN dan Modbus untuk sistem kontrol terdistribusi. CAN memperkenalkan protokol berbasis pesan yang dirancang untuk aplikasi otomotif. Selain itu, ia memberikan kecepatan tertinggi dengan keandalan dan dapat digunakan sebagai fieldbus karena biaya beberapa pengontrol dan prosesor yang rendah. Ini juga merupakan salah satu fieldbus yang memiliki kemampuan lebih baik dalam menangani gangguan elektromagnetisme, dan dapat memeriksa kesalahan yang dihasilkan pada bus komunikasi. Walaupun jarak komunikasi sinyal mencapai 10 km, BISA tetap memberikan kecepatan komunikasi digital dengan kecepatan 50 Kbit/s. CAN juga lebih unggul dari protokol lain dalam banyak aspek seperti kemampuan pengiriman real-time, adaptasi, dan keamanan.

Modbus adalah protokol industri populer yang digunakan saat ini untuk alasan yang baik. Ini sederhana, murah, universal, dan mudah digunakan. Meskipun Modbus telah ada sejak abad terakhir hampir 30 tahun, hampir semua vendor peralatan instrumentasi dan otomasi industri besar terus mendukungnya dalam produk-produk baru. Meskipun penganalisis baru, pengukur aliran, dan PLC mungkin memiliki antarmuka nirkabel, Ethernet, atau fieldbus, Modbus masih merupakan protokol yang dipilih sebagian besar vendor untuk diterapkan pada perangkat baru dan lama. Keuntungan lain dari Modbus adalah dapat menjalankan hampir semua media komunikasi, termasuk kabel twisted pair, nirkabel, serat optik, Ethernet, modem telepon, telepon seluler, dan microwave. Ini berarti bahwa koneksi Modbus dapat dibuat di pabrik baru atau yang sudah ada dengan cukup mudah. Faktanya, salah satu aplikasi yang berkembang untuk Modbus adalah menyediakan komunikasi digital di pabrik yang lebih tua, menggunakan kabel twisted pair yang ada.

Sebagian besar penelitian sebelumnya telah mempelajari kontrol dan pemantauan hanya menggunakan CAN. Sebuah metode yang diusulkan dalam meningkatkan seluruh tingkat desain sistem tenaga kapal dan mengurangi biaya yang tidak perlu. Dalam sistem kontrol cerdas disajikan untuk status lambung kapal. Karya ini mempromosikan pemantauan status lambung kapal ke arah digitalisasi, jaringan, dan kecerdasan. Selain itu, algoritma untuk menangani pesan *real-time* pada CAN telah diterapkan pada sistem kontrol jaringan mesin kapal skala besar.

Selanjutnya, disajikan sistem simulasi kendali jarak jauh untuk mesin kapal. Ini menyediakan platform yang menguntungkan untuk penelitian sistem kontrol propulsi diesel utama kelautan. Selain itu, sistem kendali jarak jauh mesin kelautan berdasarkan pemrosesan terdistribusi dan teknologi komunikasi jaringan CAN dual-redundan diusulkan untuk mesin diesel laut kecepatan menengah dan empat langkah. Sistem komunikasinya dirancang berdasarkan protokol komunikasi terbuka CAN, yang memiliki kemampuan untuk menguji sendiri dan memecahkan masalah. Unit sistem komunikasi memiliki fungsi pemeriksaan sendiri dan pemecahan masalah.

Subsistem pengontrol CAN yang toleran terhadap kesalahan diusulkan pada. Itu terdiri dari tiga pengontrol CAN standar dan sirkuit yang dirancang khusus yang mengelola redundansi. Redundansi disediakan oleh manajer redundansi (RM). RM adalah komponen

kunci dari pendekatan ini. Sirkuit ini melakukan semua fungsi yang berkaitan dengan redundansi, termasuk fungsi toleransi kesalahan yang khas, seperti deteksi kesalahan, serta fungsi lainnya, seperti mengoordinasikan pengoperasian pengontrol redundan, bahkan tanpa adanya kesalahan. Namun, semua pendekatan ini tidak mempertimbangkan redundansi tautan komunikasi terhadap kegagalan yang tidak terduga, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem kapal atau bahkan bencana. Sebuah platform jaringan untuk pertukaran informasi terintegrasi di kapal diusulkan pada.

Dalam proposal tersebut, standar yang ditetapkan oleh International Electrotechnical Commission (IEC61162-4) diadopsi sebagai platform jaringan dasar untuk pertukaran informasi terintegrasi. Mengeksplorasi metode dimana pengontrol proporsional terintegrasi turunan (PID) mendapat manfaat dari aktuator pintar dan teknologi fieldbus. Skema aktuator pintar yang cocok untuk pengaturan ulang pengontrol PID diidentifikasi dan diimplementasikan. Antarmuka bus CAN digunakan untuk pertukaran data antara aktuator pintar dan pengontrol proses.

Sistem kontrol diesel kapal terdistribusi yang dioptimalkan berdasarkan konfigurasi master-slave diperkenalkan. Selain banyak perangkat keras yang terpasang pada mesin diesel, sistem kontrol terdistribusi memiliki satu komputer master dan stasiun budak. Komputer master mengontrol stasiun slave dengan mencari informasi kerja. Namun, pendekatan ini tidak mempertimbangkan redundansi tautan komunikasi.

Skema teknik DCS yang ada tidak mempertimbangkan redundansi hubungan komunikasi terhadap kegagalan yang tidak terduga. Untuk mengatasi keterbatasan skema yang ada, diusulkan sistem kendali terdistribusi redundan (RDCS) untuk pemantauan mesin kapal. Dalam pendekatan yang diusulkan, RDCS menggunakan Modbus sebagai tautan komunikasi utama dan fieldbus CAN yang berlebihan. Redundant CAN menyediakan deteksi kesalahan dan transmisi ulang. Ketika terjadi kesalahan dengan Modbus, proses pemulihan dilakukan dengan CAN.

Salah satu tujuan dari pemulihan ini adalah, untuk mengembalikan operasi terkoordinasi yang telah hilang dengan ketidaksesuaian. Modbus digunakan sebagai penghubung komunikasi utama, karena antarmuka mesin kapal dikembangkan berdasarkan MAN232 yang tidak dapat dihubungkan oleh protokol fieldbus lain kecuali Modbus RS232. Dalam sistem kendali mesin kapal, pemantauan seluruh mesin didasarkan pada data yang diterima dari sensor. Karena pentingnya data yang tepat tentang keadaan mesin, kecepatan pengambilan sampel data sensor ditetapkan terlalu tinggi yang tidak dapat didukung oleh protokol bus lapangan lain kecuali Modbus.

CAN bus digunakan sebagai redundant link, karena CAN bus memberikan kecepatan yang lebih tinggi dan pemulihan kesalahan yang lebih cepat daripada protokol fieldbus lainnya di kasus kegagalan. Kontribusi utama dari skema RDCS yang diusulkan adalah, mempertimbangkan redundansi link komunikasi terhadap kegagalan tak terduga untuk menyediakan deteksi kesalahan dan transmisi ulang, dan untuk memenuhi batasan waktu pemulihan yang direkomendasikan oleh IACS. Bab ini merupakan versi lanjutan dari penelitian sebelumnya.

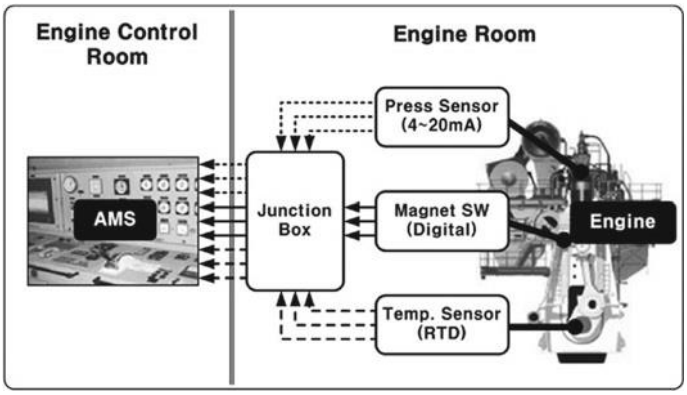
Sisa dari bab ini disusun sebagai berikut. Bagian 4.2 menjelaskan skema desain RDCS. Implementasi singkat dari RDCS yang diusulkan dalam testbed nyata dan hasil perbandingan disajikan di bagian 4.3. Akhirnya, bagian 4.4 menyajikan ringkasan bab dan rencana untuk pekerjaan masa depan.

4.2 Sistem Kontrol Terdistribusi Redundan

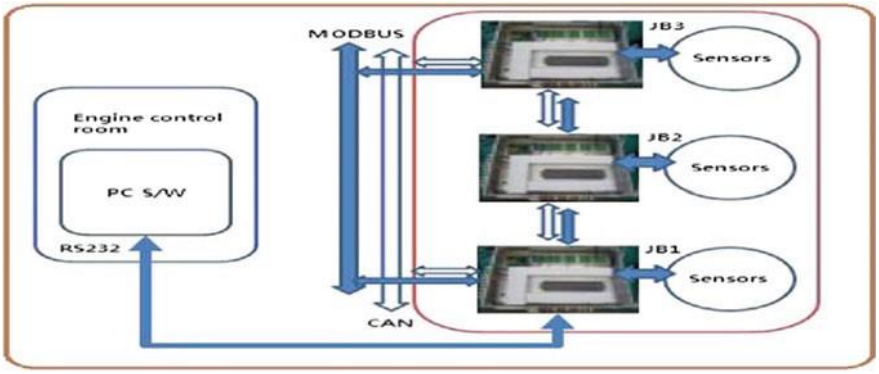
Pada bagian ini, skema desain RDCS yang diusulkan disajikan. Gambar 4.1 menunjukkan arsitektur RDCS keseluruhan untuk mesin kapal. RDCS terdiri dari software (SW) pada personal computer (PC), junction box (JB), dan sensor yang terletak pada mesin kapal. SW memainkan peran utama dalam pengendalian dan pemantauan. Sensor ditempatkan pada silinder mesin kapal dan terhubung ke JB. Setiap JB memiliki micro-control unit (MCU), yang mengontrol fungsi pengolahan data, input dan output dari/ke sensor, dan transmisi data menggunakan fieldbus.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2, sistem kontrol yang diusulkan terdiri dari kotak persimpangan yang terhubung satu sama lain melalui fieldbus ganda. Data dari sensor dikirim ke PC kontrol mesin untuk menganalisis dan memantau bagian-bagian mesin. Komputer pusat ini terletak di ruang kendali mesin. Ini menangkap semua status sensor/sinyal dari mesin dan menampilkan seluruh kondisi ruang mesin.

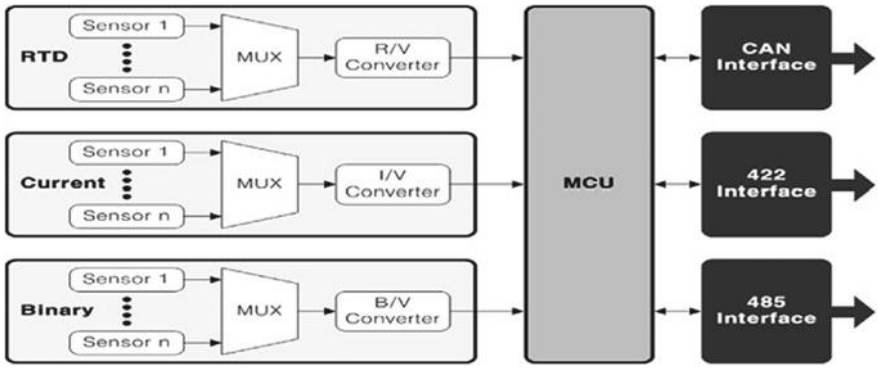
Kotak persimpangan mengubah data dari sensor menjadi data bit yang dapat dibaca secara bersamaan oleh CAN dan Modbus. Setiap kotak persimpangan MCU digunakan bersama oleh antarmuka CAN dan Modbus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Keseluruhan arsitektur RDCS



Gambar 4.2 Ikhtisar RDCS dengan fieldbus ganda

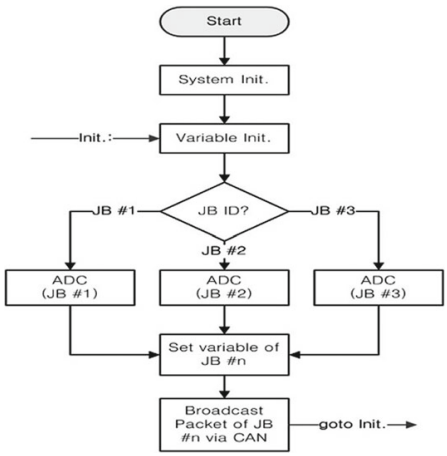


Gambar 4.3 Ikhtisar kotak persimpangan

Gambar 4.4 menunjukkan inisialisasi JB. Proses di kotak persimpangan didasarkan pada rutinitas interupsi dari fieldbus ganda dan jam (pengatur waktu). Rutin interupsi Modbus digunakan untuk berbagi data IO waktu nyata. JB mengirimkan response frame (REP) setelah menerima request frame (REQ), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. JB menempatkan 0xFF (heksadesimal) ke dalam data sensor untuk mencegah kesalahan, yang berarti bahwa tanggapan dari JB lain tidak terjadi dalam interval penundaan. JB mengirimkan data saat menerima permintaan dari DCS. Akhirnya, RDCS mengenali apakah JB beroperasi atau tidak.

Gambar 4.5 menunjukkan prosedur rutin interupsi timer. Batas waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah empat waktu karakter. Rutin interupsi memeriksa pembaruan data saat ini. Jika tidak ada data yang diperbarui, maka data sebelumnya dari JB digunakan untuk koreksi kesalahan lebih lanjut.

Rutin interupsi timer direset setelah menerima REQ. REQ diterima dari JB melalui CAN, yang memproses pesan ke REQ dan akhirnya mengirimkan REP ke JB. Fungsi rutin interupsi CAN ditunjukkan pada Gambar 4.5.

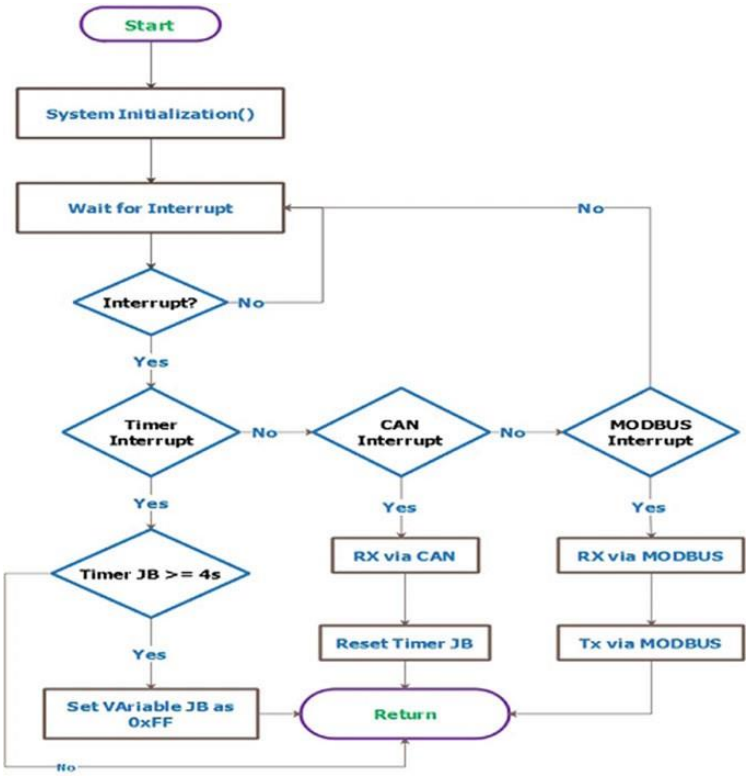


Gambar 4.4 Proses inisialisasi Junction box

Seperti disebutkan di atas, pendekatan ini berfokus pada redundansi dalam sistem kontrol mesin kapal untuk mencegah hubungan komunikasi terhadap kegagalan yang tidak

terduga. Aspek kunci dari sistem kontrol adalah komunikasi antara perangkat elektronik (field-bus node). Dalam bab ini, dua fieldbus: Modbus dan bus CAN digunakan sebagai alat komunikasi untuk sistem kendali mesin kapal. Fitur luar biasa dari skema RDCS yang diusulkan adalah fieldbus ganda, yang menyediakan redundansi jika terjadi kegagalan sistem.

Untuk meningkatkan keandalan dalam sistem pemantauan alarm, dua fieldbus utama Modbus dan bus CAN alternatif digunakan. Tujuan utama dari bab ini adalah untuk memenuhi batasan waktu pemulihan yang direkomendasikan oleh IACS. Ketika terjadi kesalahan selama transmisi data, status Modbus primer secara otomatis diubah menjadi status tidak aktif, dan status bus CAN diubah menjadi aktif.



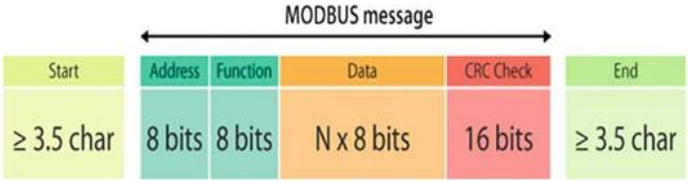
Gambar 4.5 Diagram blok untuk rutinitas interupsi

4.2.1 Protokol Modbus

Protokol Modbus pertama kali diterbitkan pada 1970-an oleh American Modicon Company dan digunakan dalam komunikasi PLC. Ini adalah protokol komunikasi real-time standar terbuka yang banyak digunakan dalam pengontrol dan instrumen pengukuran. Baru-baru ini, itu menjadi standar internasional di bidang otomasi industri. Protokol Modbus mendukung antarmuka komunikasi RS232, RS422, RS485 tradisional, serta antarmuka Ethernet.

Protokol Modbus memiliki dua mode transmisi: ASCII dan unit terminal jarak jauh (RTU). Dalam mode ASCII, pesan diekspresikan dengan kode ASCII dan menggunakan pemeriksaan kesalahan redundansi longitudinal. Dalam mode RTU, pesan dinyatakan dalam format desimal codec biner dan menggunakan pemeriksaan kesalahan cyclic redundant

checksum (CRC). Modbus RTU banyak digunakan dalam sistem manajemen gedung dan sistem otomasi industri. Penerimaan yang luas ini sebagian besar disebabkan oleh kemudahan penggunaan Modbus RTU dan efisiensi komunikasi yang tinggi. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan manfaat di atas, mode transmisi RTU dipilih untuk pendekatan yang diusulkan.



Gambar 4.6 Format bingkai Modbus RTU

Tabel 4.1 Deskripsi format bingkai RTU

Nama	Panjang (Bit)	Keterangan
Start	28	Setidaknya 3 1/2 karakter kali hening (kondisi tanda)
Address	8	Alamat stasiun
Function	8	Kode fungsi
Data	*n* *8	n, jumlah byte data
CRC	16	Pemeriksaan kesalahan
End	8	Setidaknya 3 1/2 karakter kali hening antar frame

Dalam skema yang diusulkan, Modbus digunakan sebagai fieldbus utama. Ini sering digunakan untuk menghubungkan komputer pengawas dengan RTU. Protokol Modbus cocok untuk sistem dengan frekuensi sampling berkecepatan tinggi. Sistem kontrol mesin kapal memonitor seluruh mesin berdasarkan data yang diterima dari sensor. Karena pentingnya data presisi pada kondisi mesin, kecepatan pengambilan sampel data sensor ditetapkan pada tingkat yang terlalu tinggi; dengan demikian, tidak dapat didukung oleh beberapa protokol fieldbus kecuali Modbus. Modbus RTU adalah protokol serial terbuka (RS-232 atau RS-485) yang diturunkan dari arsitektur master/slave.

Pesan Modbus RTU adalah CRC 16-bit sederhana. Kesederhanaan pesan-pesan ini membantu memastikan keandalan. Karena kesederhanaan ini, struktur register Modbus RTU 16-bit dasar dapat digunakan untuk mengemas dalam floating point, tabel, teks ASCII, antrian, dan data lain yang tidak terkait.

Gambar 4.6 menunjukkan format bingkai Modbus. Perintah Modbus berisi alamat perangkat yang dimaksudkan. Hanya perangkat yang dimaksud yang bertindak berdasarkan perintah, meskipun perangkat lain mungkin menerimanya. Perintah dasar dapat menginstruksikan RTU untuk mengubah nilai di salah satu registernya. Perintah digunakan untuk kontrol; ketika node menerima perintah, ia mengembalikan satu atau lebih. Tabel 4.1 mencantumkan detail format bingkai Modbus RTU.

Parameter komunikasi Modbus tercantum pada Tabel 4.2. Perhitungan waktu bit total frame Modbus RTU tergantung pada Fungsi Modbus yang digunakan.

Tabel 4.2 Parameter komunikasi Modbus

Serial interface	**RS485**
Protocol	Modbus RTU standard
Baud rates	9600 bps
Data hits	8
Parity	Even
Stop bits	1
Function code	03 (read holding registers)
Master address	01 (AMS)
Slave address	02 (JB1)

Dalam hal ini total waktu bit dihitung dengan

$$T_{\mathrm{MD}} = T_{\mathrm{Mbit}} * D_{\mathrm{L}}\ (\mathrm{ms}), \qquad (4.1)$$

di mana T Mbit adalah waktu transmisi per setiap byte yang dihitung dengan menambahkan semua bit karakter dibagi dengan kecepatan transmisi dan DL adalah panjang bingkai Modbus yang dihitung dengan menjumlahkan byte permintaan dan respons.

4.2.2 Protokol CAN

CAN adalah bus asinkron serial yang digunakan dalam aplikasi instrumentasi untuk industri seperti mobil. Pesan digital mereka, yang dikenal sebagai frame CAN, disiarkan oleh node pada bus bersama ini melalui transceiver elektronik. Versi paling populer dari bus CAN memiliki tiga kabel, satu kabel ground, dan dua sinyal CAN diferensial. Node pada bus menyiarkan frame CAN saat bus dalam keadaan idle. Node penerima mengakui penerimaan frame yang benar dengan memasukkan bit dominan pada posisi bit pengakuan. Dimungkinkan untuk dua node secara bersamaan mulai mentransmisikan frame CAN. Node dengan prioritas lebih rendah CAN frame menarik diri dalam kasus pertikaian bus.

Selain itu, spesifikasi CAN tidak membatasi baud rate ke nilai tertentu. Ada banyak baud rate yang populer. Namun, semua node pada bus harus beroperasi pada baud rate tetap yang telah ditentukan sebelumnya. Baud rate maksimum yang diizinkan pada bus CAN adalah 1 Mbps. Tidak ada sinyal clock terpisah pada bus CAN untuk menyinkronkan node; frame CAN sendiri digunakan untuk sinkronisasi jam pada semua node. Untuk mencapai tujuan ini secara efektif, frame CAN memiliki pengkodean NRZ-5. Jika ada 5 bit pada level yang sama dalam frame CAN, bit keenam dari level yang berlawanan diisi oleh pemancar. Bit tambahan yang dipelajari ini dihapus oleh node penerima sebelum memproses frame CAN.

Jam CAN yang digunakan untuk mengambil sampel nilai bit dari bingkai CAN berasal dari jam yang berjalan pada frekuensi yang jauh lebih tinggi. Periode waktu jam ini dikenal sebagai kuanta satu kali dan dilambangkan dengan T q. Waktu satu bit dari jam CAN terdiri dari banyak kuanta waktu (T q).

Total durasi clock CAN adalah jumlah dari segmen sinkronisasi, segmen propagasi, segmen fase 1, dan segmen fase 2, seperti yang diberikan pada Gambar 4.7. Segmen

sinkronisasi 1 T q dalam periode clock disebabkan oleh penundaan sinkronisasi yang dapat terjadi karena segmen sinkronisasi dapat terjadi setiap saat dalam satu periode T q.

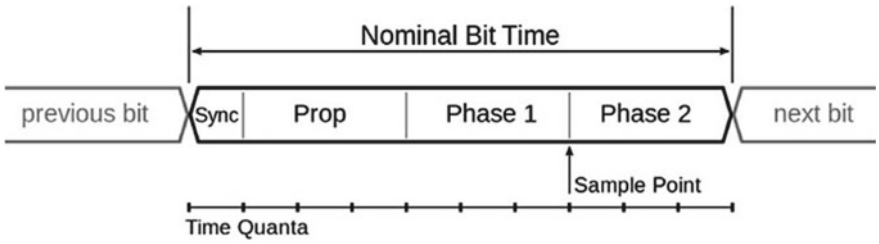
Segmen fase 1 dan 2 digunakan untuk menangani kesalahan fase. Segmen sinkronisasi digunakan untuk menyinkronkan berbagai node bus. Pada transmisi, level bit saat ini dikeluarkan pada awal segmen ini. Jika ada perubahan status bit antara bit sebelumnya dan bit saat ini, perubahan status bus diharapkan terjadi dalam segmen ini oleh node penerima.

Segmen waktu propagasi digunakan untuk mengkompensasi keterlambatan propagasi sinyal pada jalur bus dan melalui transceiver dari node bus di seluruh jaringan. Segmen fase 1 digunakan untuk mengkompensasi kesalahan fase tepi. Segmen ini dapat diperpanjang selama sinkronisasi ulang. Titik sampel adalah waktu di mana level bus dibaca dan diinterpretasikan sebagai nilai bit masing-masing, dan lokasinya berada di akhir segmen fase 1 (antara dua segmen fase).

Segmen fase 2 juga digunakan untuk mengkompensasi kesalahan fase tepi. Segmen ini dapat dipersingkat selama sinkronisasi ulang; namun, panjangnya harus setidaknya selama waktu pemrosesan informasi, dan tidak boleh lebih besar dari panjang segmen fase 1 [24]. Sesuai dengan spesifikasi CAN 2.0A, kecepatan baud dalam pekerjaan ini diatur ke 250 kbps, dan panjang data diatur ke 8 byte. Total durasi CAN T Cbit terdiri dari penjumlahan segmen *non-overlapping* dari waktu bit nominal pada Gambar 4.7 dan lebar lompatan sinkronisasi yang menyesuaikan jam bit [25]. Oleh karena itu T Cbit diberikan oleh

$$T_{\text{Cbit}} = T_{\text{syns}} + T_{\text{prs}} + T_{\text{phs1}} + T_{\text{phs2}} + T_{\text{sjw}} * 8, \qquad (4.2)$$

di mana k Total waktu bit. Untuk spesifikasi CAN menggunakan Persamaan. (4.1) dapat digambarkan sebagai:



Gbr. 4.7 CAN bit timing dengan 10-time quanta per bit

Tabel 4.3 Parameter dan nilai awal

Segmen sinkronisasi T sinkron	500
Segmen waktu propagasi T prs	2
Segmen fase T ph1 1	1
Segmen fase T ph2 2	2
Lebar lompatan sinkronisasi T sjw	1

$$T_{CD} = \frac{131}{T_{Cbit}} \text{ (ms)}, \qquad (4.3)$$

dimana total panjang data adalah 131 byte sesuai dengan spesifikasi CAN 2.0A. Tabel 4.3 mencantumkan parameter dan nilai awal yang digunakan dalam Persamaan. (4.2).

4.2.3 Redundansi

Sistem kendali mesin kapal merupakan sistem yang kritis terhadap waktu. Oleh karena itu, desain sistem yang diusulkan harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh standar. Persyaratan ditentukan oleh IACS untuk desain DCS. Tabel 4.4 mencantumkan persyaratan untuk desain DCS dalam hal perangkat keras dan perangkat lunak.

Untuk memenuhi persyaratan desain IACS, sistem kontrol yang diusulkan menggunakan bus lapangan ganda heterogen. Fieldbus ganda heterogen terdiri dari Modbus RTU dan CAN. Modbus RTU adalah media komunikasi utama di antara perangkat elektronik sistem kontrol. Modbus dipilih sebagai jalur komunikasi utama, karena kompatibel dengan antarmuka mesin kapal (MAN) yang ada. Ketika terjadi kegagalan dengan Modbus RTU, proses pemulihan dilakukan oleh CAN yang berlebihan. Karena kecepatan data rate yang rendah, Modbus tidak dapat digunakan sebagai link komunikasi redundan. Tapi, CAN memiliki kecepatan data yang tinggi, dan pemulihan kesalahan yang lebih cepat daripada Modbus. Gambar 4.8 dan 4.9 mengilustrasikan pengaturan waktu pada saluran Modbus RTU dan proses pendeteksian kesalahan.

Tabel 4.4 Persyaratan desain IACS

Persyaratan perangkat keras (HW)	Persyaratan perangkat lunak (SW)
Redundansi CPU	Protokol penggunaan Standar Internasional
Redundansi daya	Isolasi data dan tautan daya
Waktu pemulihan HW	waktu respons SW
Memori non-volatil	Pemeriksaan redundansi siklik
Penggunaan	Jaminan transmisi ulang

Bingkai pesan Modbus RTU dipisahkan oleh interval diam dari waktu 3,5 karakter (2,96 ms). Interval senyap karakter dalam di setiap bingkai diatur ke waktu 1,5 karakter (1,25 mdtk). Fitur Modbus ini digunakan untuk mendeteksi kesalahan. Dalam penelitian ini, diasumsikan bahwa, kesalahan terjadi ketika interval diam lebih besar dari waktu 1,5 karakter. Ketika terjadi kesalahan, bingkai pesan dinyatakan tidak lengkap dan kemudian dibuang oleh penerima, baik DCS atau JB. Interval waktu total di mana kesalahan pada setiap frame terdeteksi disebut t(4.5) dan dihitung oleh setiap perangkat elektronik (dalam hal ini, kotak persimpangan), yang mengirim data satu sama lain dan PC pemantau

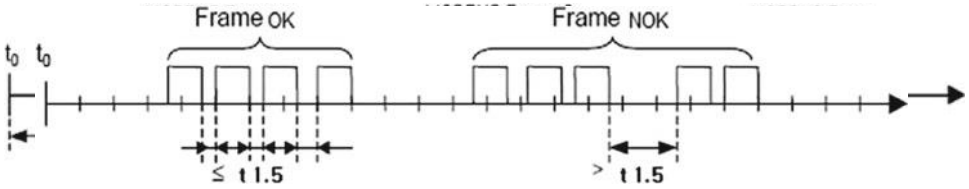
$$t(4.5) = t(1.5) + t(3.5), \qquad (4.4)$$

di mana t(3.5) adalah waktu karakter interval senyap, dan t(1.5) adalah waktu karakter interval senyap bagian dalam di setiap frame.

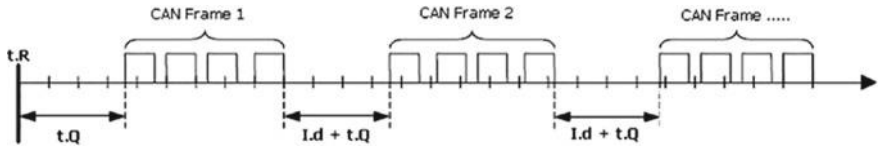
Ketika kotak persimpangan tidak dapat menerima bingkai Modbus setelah waktu 3,5 karakter, maka ia akan mengirimkan pesan REQ Modbus untuk memeriksa ketersediaannya dan menunggu pesan REP. Jika junction box tidak dapat menerima pesan REP tepat waktu, bus CAN di-switch untuk menjaga proses komunikasi. Gambar 4.10 menunjukkan deteksi penundaan antar-bingkai dalam bus CAN.Gambar 4.11 menjelaskan proses redundansi dalam DCS yang diusulkan. Waktu yang dibutuhkan proses redundansi T sw dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$T_{\mathrm{sw}} = E[T_{\mathrm{r}} + t(3.5) + T_{\mathrm{R}}] + E\left[t(4.5) + I_{\mathrm{d}} + T_{\mathrm{q}}\right], \qquad (4.5)$$

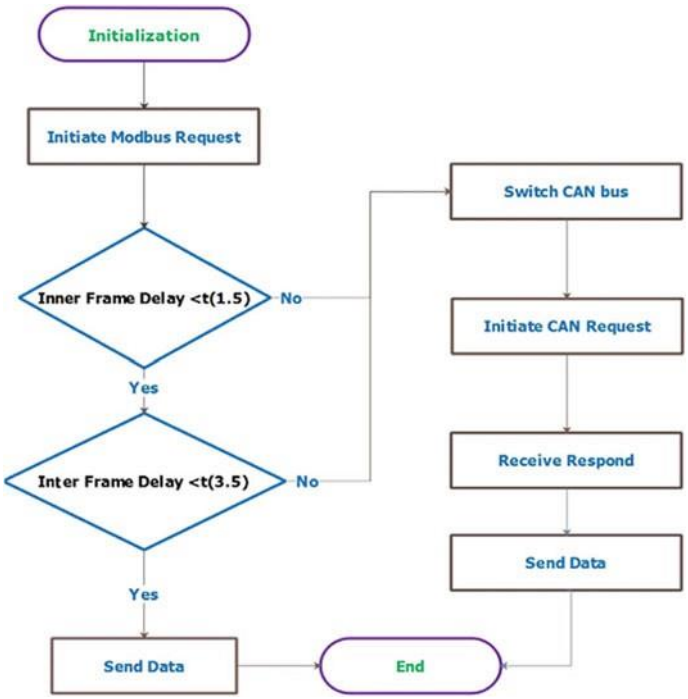
Gambar 4.8 Deteksi penundaan antar-bingkai di Modbus



Gambar 4.9 Deteksi penundaan antar karakter di Modbus



Gambar 4.10 Deteksi penundaan antar-bingkai dalam bus CAN



Gambar 4.11 Blok diagram proses redundansi

Tabel 4.5 Parameter dan nilai untuk menghitung peralihan waktu

T r	Kirim permintaan jarak jauh ke Modbus
T R	Terima respons bulu bingkai dari Modbus
T q	0,5 ms, pada 250 kbps dalam CAN
*I*d	Penundaan internal untuk mendeteksi kesalahan

dimana E [Tr + t(3.5) + TR] adalah perkiraan waktu total yang dibutuhkan untuk mengirim dan menerima permintaan bingkai, dan E t(4.5) + Id + Tq adalah waktu yang diharapkan untuk mengidentifikasi kesalahan dan penundaan. Notasi untuk Persamaan. (4.5) diberikan pada Tabel 4.5.

Menurut IACS, waktu switching (pemulihan) harus kurang dari 2 detik. Untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol yang diusulkan, sebuah testbed dibuat. Ditentukan apakah sistem yang diusulkan memenuhi persyaratan IACS. Serangga. 4.3, implementasi sistem kendali mesin kapal yang diusulkan dijelaskan secara singkat.

4.3 Implementasi dan Uji Eksperimental

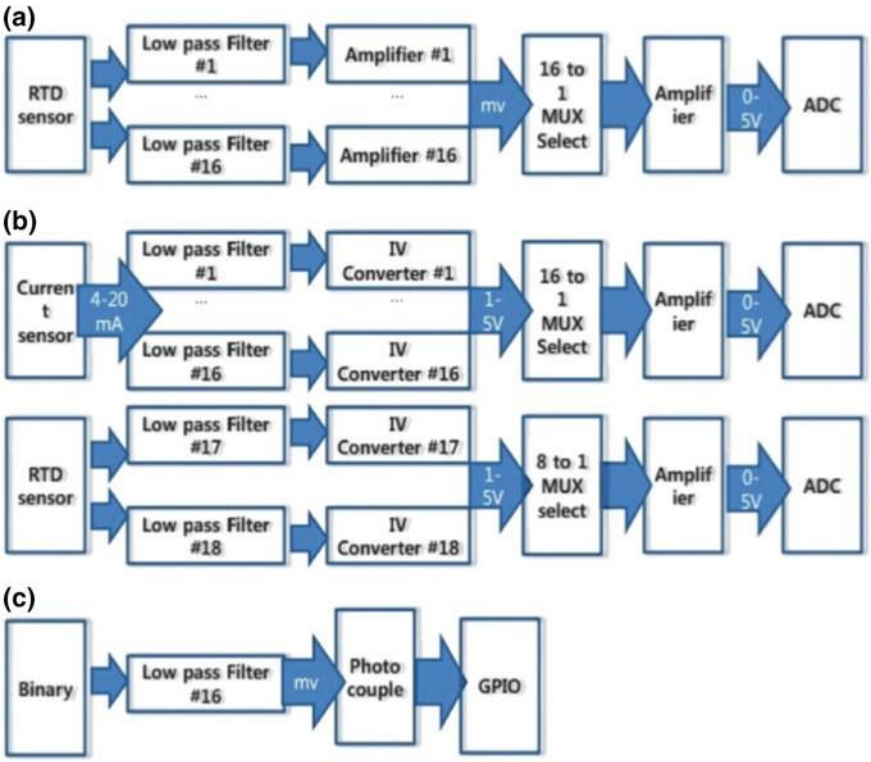
Pada bagian ini, implementasi dan evaluasi kinerja DCS yang diusulkan disajikan. Dalam implementasinya, tiga JB dibuat menggunakan kontroler CAN dalam AT90CAN128. JB memiliki satu MCU, ATMEGA AT90CAN128, yang merupakan MCU delapan bit yang menyertakan pengontrol CAN. Kontroler CAN pada MCU sepenuhnya kompatibel dengan spesifikasi CAN 2.0A, dan 2.0B. Ini memberikan fitur yang diperlukan untuk mengimplementasikan kernel dari protokol bus CAN sesuai dengan model referensi OSI. Kontroler CAN dapat menangani semua jenis frame, termasuk data, remote, error, dan overload, sementara juga mencapai bit rate 1 Mbps [27]. Spesifikasi dari berbagai sensor tercantum pada Tabel 4.6.

Konverter analog ke digital (ADC) mengubah sinyal analog dari berbagai detektor suhu resistansi (RTD) menjadi nilai digital. Gambar 4.12 menyajikan diagram blok proses konversi di JB. ADC terhubung ke multiplexer analog delapan saluran yang mengakomodasi delapan input tegangan ujung tunggal yang dibangun dari pin Port F. Input tegangan ujung tunggal mengacu pada 0 V (GND). Perangkat ini juga mendukung 16 kombinasi input tegangan diferensial. Pasangan input diferensial ADC1 dan ADC0, serta ADC3 dan ADC2, dilengkapi dengan tahap penguatan yang dapat diprogram, memberikan amplifikasi 0 (1), 20 (10), atau 46 (200) dB dari tegangan input diferensial sebelum ADC.

Tabel 4.6 Spesifikasi sensor

	Kondisi	Jenis	jumlah	Jangkauan
JB #1	RTD	suhu	10	0–200 °C
		suhu	10	−50 to 600 °C
	4–20 mA	suhu	10	−50 to 600 °C
		Tekan.	7	0–40 kg/cm^2

	SW	Rendah	5	Logic
		Tinggi	1	Logic
JB #2	RTD	suhu	15	0–200 °C
	4–20 mA	Tekan.	1	0–200 kg/cm^2
	S/W	Rendah	2	Logic
JB #3	RTD	suhu	8	0–200 °C
		suhu	1	0–100 °C
		suhu	18	−50 to 120 °C
	SW	Rendah	3	Logic
		Tinggi	8	Logic



Gambar 4.12 Blok diagram sistem konversi sinyal

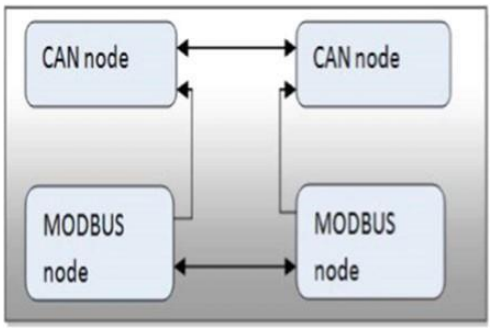


Gambar 4.13 Ikhtisar simpul CAN

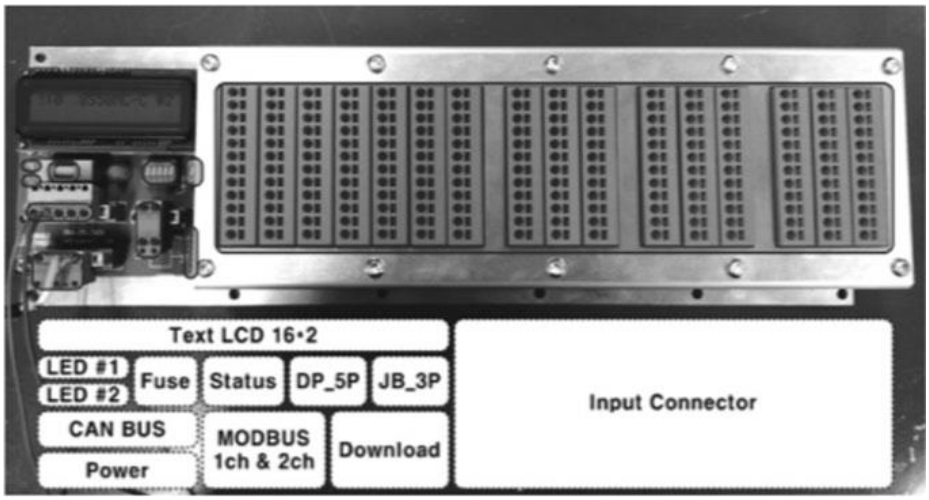
.

Tujuh saluran input analog diferensial berbagi terminal negatif yang sama (ADC1), sementara input ADC lainnya dapat dipilih sebagai terminal input positif. Jika gain satu atau sepuluh digunakan, resolusi 8-bit dapat diharapkan. ADC berisi rangkaian sampel dan penahan yang memastikan bahwa tegangan input ke ADC dipertahankan pada tingkat yang konstan selama konversi.

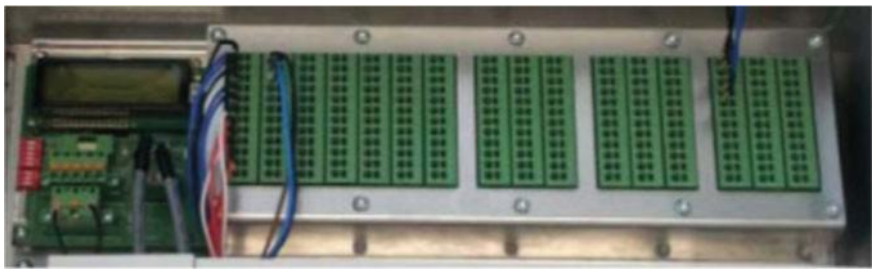
Konverter RV digunakan untuk mengukur suhu untuk mengubah nilai register dari sensor suhu menjadi tegangan dari 0 hingga 5 dalam amplitudo setelah penyaringan. Hasil dari ADC untuk tegangan merupakan nilai digital dari data sensor. Setiap JB terdiri dari dua konverter RV yang mendukung maksimal 32 input. Selain itu, konverter RV digunakan untuk mengukur suhu termokopel, gas buang dari silinder, dan air murni pendingin dengan sensor tekanan. Nilai keluaran sensor adalah dari 2 hingga 40 mA.



Gambar 4.14 Komunikasi antara Modbus dan CAN bus



Gambar 4.15 Ikhtisar JB



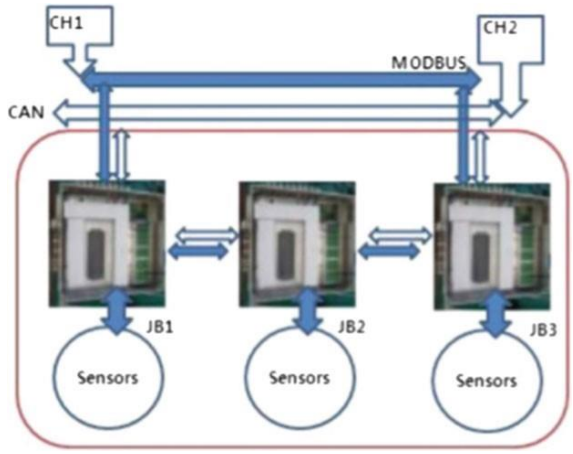
Gambar 4.16 Ikhtisar PCB



Gambar 4.17 Uji Eksperimental DCS

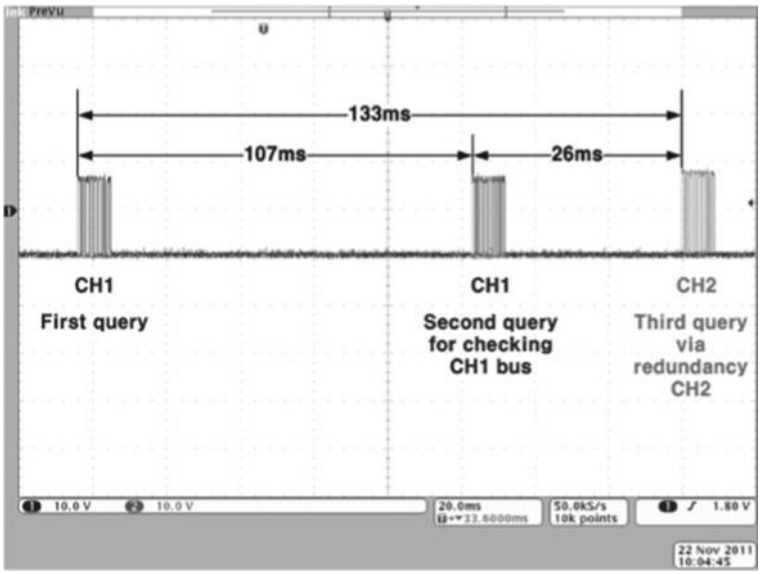


Gambar. 4.18 Hasil eksperimen pada layar perangkat pemantauan dan kontrol jarak jauh Konverter BV menunjukkan status sakelar kontrol, yang dapat dihidupkan dan dimatikan, dan sensor untuk mendeteksi aliran oli pendingin.



Gambar 4.19 Pengaturan Testbed

Sensor untuk mendeteksi aliran oli pendingin mengukur suhu bantalan utama, kadar air pelumas dalam sistem mesin kapal, dan level oli pendingin, yang menyebabkan sinyal output menyala dan mati. Konverter BV menghilangkan kebisingan di seluruh mesin melalui coupler foto setelah penyaringan. Data yang diatur digunakan untuk input MCU dengan output input tujuan umum.



Gambar 4.20 Tangkapan layar osiloskop selama proses pemulihan

Tabel 4.7 Notasi dan deskripsi

Notasi	Keterangan
T MD	Total waktu bit Modbus
T Mbit	Waktu transmisi Modbus
*D*L	Panjang bingkai modbus
T Cbit	Total durasi CAN
T syns	Segmen pertama dalam CAN bit timing
T prs	CAN segmen waktu propagasi
T phs1	BISA segmen fase 1
T phs2	CAN fase segmen 2
T sjw	Lebar lompatan sinkronisasi
T CD	Total waktu bit untuk spesifikasi CAN
T r	Permintaan bingkai ke Modbus
T R	Respon bingkai dari Modbus
T sw	Total waktu redundansi
*I*d	Penundaan internal untuk mendeteksi kesalahan
IEC 61162-4	Antarmuka digital kapal dengan banyak pembicara dan banyak pendengar
RS 232	Standar AN5I/EIA-232 untuk komunikasi serial titik ke titik
RS 422	Standar EIA RS-422-A untuk komunikasi serial
RS 485	Standar EIA-485 untuk komunikasi serial dan peningkatan melalui RS422

AT90CAN128	Mikrokontroler CMOS 8-bit berdaya rendah
ATMEGA	Mikrokontroler chip tunggal dalam keluarga megaAVR
PCA482C250	Chip transceiver CAN digunakan dalam aplikasi otomotif dan industri

Chip transceiver CAN terhubung ke JB untuk transmisi data I/O. Philips PCA82C250 digunakan sebagai chip transceiver CAN, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13. Sebuah register terminal 120 digunakan untuk memungkinkan CAN untuk mencocokkan ujung impedansi fieldbus. PCA82C250 adalah produk transceiver canggih yang digunakan dalam aplikasi industri otomotif dan umum dengan kecepatan transfer hingga 1 Mbps. Mereka mendukung representasi sinyal bus diferensial yang dijelaskan dalam standar internasional untuk aplikasi kecepatan tinggi CAN di dalam kendaraan (ISO11898). Dalam pekerjaan ini, chip transceiver PCA82C250 digunakan sebagai jembatan komunikasi antara Modbus dan CAN, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.

Tampilan atas dari JB yang diimplementasikan ditunjukkan pada Gambar 4.15. Status pemrosesan ditampilkan pada layar kristal cair dengan teks. PCB sepenuhnya diverifikasi untuk produk selama pengujian, termasuk suhu, kelembaban, benturan, dan gangguan eksternal. Gambaran umum PCB ditunjukkan pada Gambar 4.16. Testbed didirikan untuk evaluasi kinerja ditunjukkan pada Gambar. 4.17.

Hasil pemrosesan ditampilkan pada remote PC, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.18. Pertukaran data dijalankan dari JB ke PC. Selain itu, data respons tiba dalam 1 detik, bahkan jika nilai input sensor berubah secara acak. Skenario untuk evaluasi redundansi ditunjukkan pada Gambar 4.19. Dalam skenario, tiga JB dan tiga sensor digunakan. Pertama, sistem diinisialisasi. Kemudian, sinyal input di JB 1 dan JB 3 masing-masing diperiksa dengan Modbus dan CAN. Untuk memeriksa redundansi sistem, langkah-langkah berikut dilakukan. Pertama, bingkai permintaan dikirim melalui Modbus oleh JB 1, dan Modbus terputus untuk menyebabkan kesalahan sistem. Bingkai respons berhasil dikembalikan melalui CAN setelah pemrosesan redundansi.

Bingkai permintaan dikirim melalui Modbus. Kemudian, terjadi kesalahan dengan memutuskan sambungan Modbus. Bingkai respons berhasil dikembalikan melalui JB3 setelah pemrosesan redundansi. Gambar 4.20 menunjukkan siklus redundansi pada osiloskop. Fieldbus secara otomatis berubah dari Modbus ke CAN ketika terjadi kesalahan. Waktu redundansi diperlukan dalam waktu 2 detik menurut IACS. Deskripsi notasi yang digunakan dalam bab ini dijelaskan pada Tabel 4.7.

4.4 Kesimpulan

Dalam bab ini, DCS untuk sistem mesin kapal diusulkan. Pekerjaan sebelumnya dalam lingkup ini dianggap hanya protokol fieldbus tunggal. Pendekatan yang ada sehingga memiliki masalah mengenai redundansi link komunikasi terhadap kegagalan tak terduga. Untuk mengatasi keterbatasan skema yang ada, DCS yang diusulkan menggunakan Modbus sebagai link komunikasi utama dan bus CAN redundan. Ketika kesalahan terjadi dengan

Modbus, bus CAN yang berlebihan menyediakan deteksi kesalahan dan skema pemulihan melalui transmisi ulang.

DCS yang diusulkan hemat biaya dan fleksibel untuk membangun sistem kontrol. Melalui evaluasi eksperimental, skema desain yang diusulkan memecahkan masalah komunikasi dengan mengganti bus lapangan dengan cara yang andal. Menurut hasil, waktu pemulihan berada dalam kerangka waktu yang disyaratkan oleh IACS. Oleh karena itu, komunikasi redundan diverifikasi antara DCS dan tiga JB menggunakan fieldbus ganda. Dalam pekerjaan di masa mendatang, kami akan memverifikasi keandalan skema DCS yang diusulkan untuk lebih dari tiga JB.

BAB 5
MENERAPKAN MODBUS DAN ANTARMUKA KONVERSI PROTOKOL CAN BUS

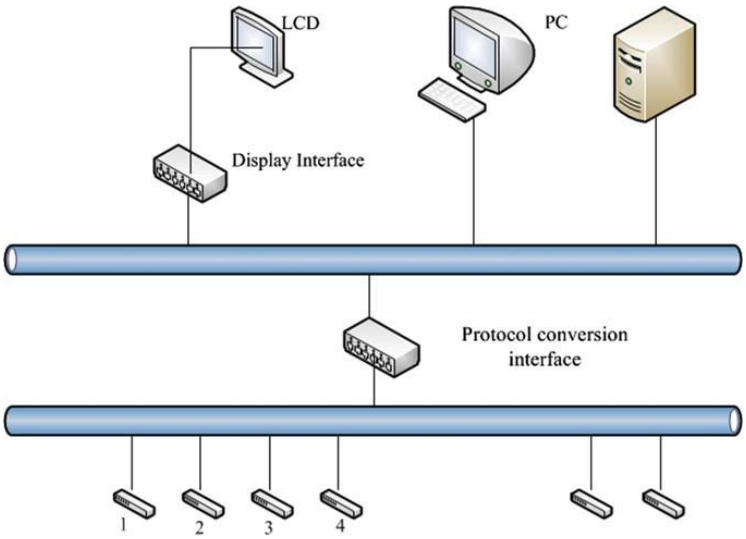
5.1 Pendahuluan

Setiap sistem tertanam umumnya terdiri dari satu atau lebih mikroprosesor atau mikrokontroler dan sejumlah periferal IC seperti EEPROM, real-time clock (RTC), watchdog timer dan sensor, dll. Dalam desain sistem komunikasi, tantangan utama adalah Kemampuan untuk membuat komponen yang berbeda dari pabrik yang berbeda berkomunikasi satu sama lain Sejumlah bus lapangan tersedia untuk bertukar data serial antara satu atau lebih pengontrol dan sejumlah perangkat lapangan yang berkomunikasi satu sama lain.

Namun, standar fieldbus saat ini tidak seragam, yang membawa banyak kesulitan dalam desain sistem, karena peralatan yang berbeda dari produsen yang berbeda mengikuti standar yang berbeda. Untuk desain sistem yang andal, ada kebutuhan antarmuka komunikasi yang efisien untuk memungkinkan komunikasi. Banyak protokol komunikasi serial seperti RS -232 / RS-485, I2C, SPI, Modbus dan CAN bus, dll., digunakan dalam sistem tertanam. Semua protokol ini memiliki kelebihan dan keterbatasannya sendiri.

Umumnya, manufaktur yang berbeda mengikuti protokol dan standar yang berbeda. Hal ini membuat tugas integrasi sistem menjadi sangat sulit. Oleh karena itu, harus ada beberapa cara untuk mempermudah tugas ini. Antarmuka konversi protokol adalah salah satu solusi yang mungkin untuk masalah ini. CAN bus dan Modbus adalah dua protokol fieldbus yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol industri Bab ini mengimplementasikan bus CAN ke antarmuka konversi protokol Modbus

Kedua sisi koneksi serial diisolasi untuk memberikan perlindungan sempurna terhadap petir, lonjakan arus, transien tegangan tinggi Setelah pengenalan singkat Gambar 5.1 menggambarkan gambaran dasar sistem dan bagaimana perangkat yang berbeda terhubung dalam sistem.



Gambar 5.1 Struktur sistem

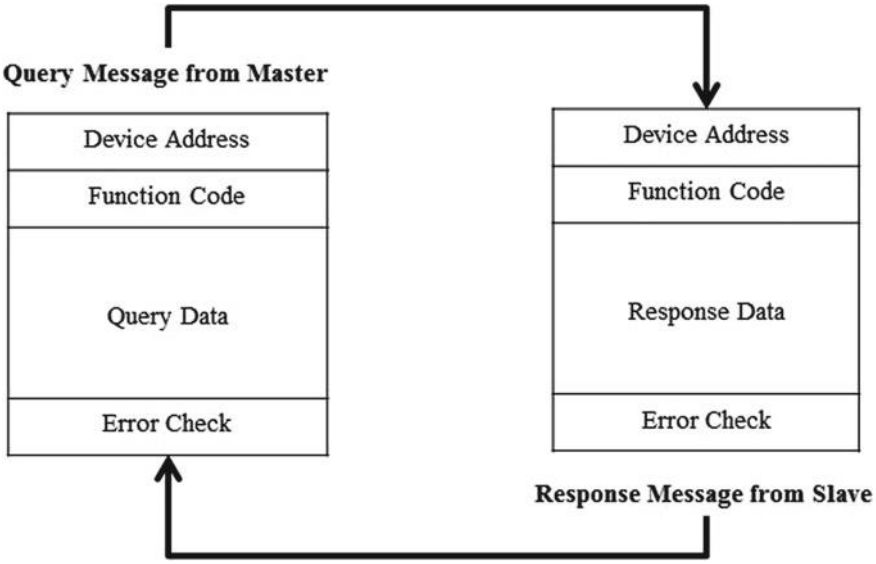
5.2 Modbus dan CAN Bus

5.2.1 Modbus

5.2.1.1 Ikhtisar

Modbus adalah protokol komunikasi yang banyak digunakan dalam aplikasi kontrol terdistribusi. Modbus awalnya diperkenalkan pada tahun 1979 oleh Modicon (perusahaan yang sekarang dimiliki oleh Schneider Electric) sebagai protokol jalur serial untuk komunikasi antara perangkat kontrol "cerdas". Modbus telah menjadi de facto standar yang diterapkan oleh banyak pabrikan dan digunakan di berbagai industri Modbus adalah protokol komunikasi master-slave yang menjelaskan proses yang digunakan master untuk meminta akses ke slave, dan bagaimana slave akan menanggapi permintaan ini, dan bagaimana kesalahan akan dideteksi dan dilaporkan.

Master dapat memulai transaksi (disebut "queries") dan slave merespons dengan memberikan data yang diminta ke master, atau dengan mengambil tindakan yang diminta dalam kueri. Master dapat menangani slave individu, atau dapat memulai siaran .pesan ke semua budak.Budak mengembalikan pesan (disebut "respons") ke pertanyaan yang ditujukan kepada mereka secara individual.Respons tidak dikembalikan ke permintaan siaran dari master Gambar 5.2 menjelaskan siklus permintaan-respons *master-slave*.



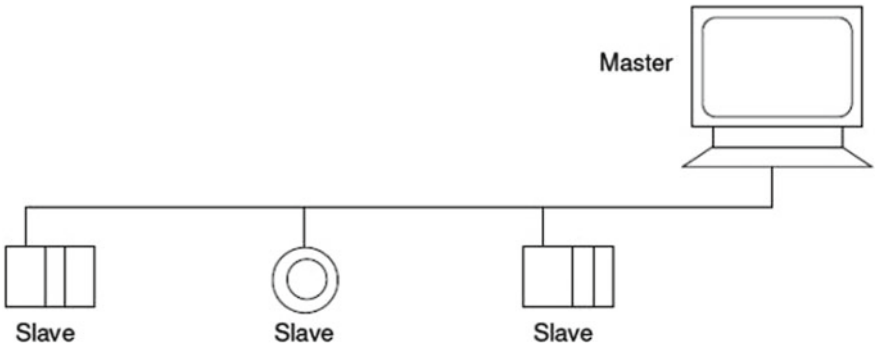
Gambar 5.2 Siklus permintaan-respons master-slave Modbus

5.2.1.2 Format Bingkai Pesan

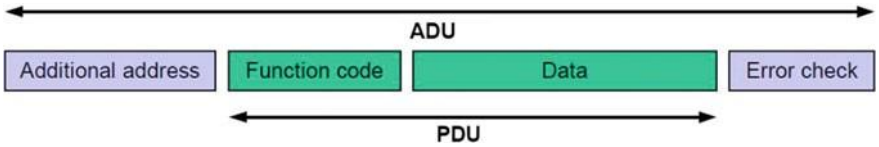
Spesifikasi jalur serial Modbus menjelaskan protokol fisik dan lapisan tautan untuk bertukar data. Dua varian utama dari protokol lapisan tautan ditentukan dan dua jenis saluran serial yang berbeda didukung. Selain itu, spesifikasi menentukan lapisan aplikasi protokol, yang dikenal sebagai Protokol Aplikasi Modbus, untuk mengontrol dan meminta perangkat. Protokol aplikasi awalnya ditujukan untuk perangkat yang terhubung melalui protokol jalur serial Modbus dan diringkas sebagai berikut:

- Protokol aplikasi mengikuti desain master-slave yang sama seperti protokol serial-line pada Gambar 5.3. Setiap transaksi pada lapisan aplikasi adalah pertukaran query-respons sederhana yang diprakarsai oleh node master dan dialamatkan ke satu perangkat. Baik permintaan maupun tanggapan muat dalam satu frame serial-line.
- Setiap perangkat pada saluran serial yang sama memiliki alamat 8 bit. Alamat 0 dan 248 hingga 255 dicadangkan. Paling banyak 247 perangkat dapat digunakan dalam satu saluran.
- Panjang maksimal bingkai Modbus adalah 256 byte. Satu byte adalah alamat perangkat dan dua byte digunakan untuk CRC. Panjang maksimal kueri atau respons adalah 253 byte.

Protokol Aplikasi Modbus mengasumsikan lapisan komunikasi abstrak yang memungkinkan perangkat untuk bertukar paket kecil. Modbus jalur serial tetap menjadi pilihan untuk mengimplementasikan lapisan komunikasi ini, tetapi jaringan dan protokol lain dapat digunakan. Semakin banyak, TCP / IP digunakan sebagai komunikasi layer untuk Modbus Spesifikasi Modbus over TCP / IP menjelaskan bagaimana mengimplementasikan layer komunikasi Modbus menggunakan TCP.



Gambar 5.3 Modbus melalui saluran serial: arsitektur master / slave



Gambar 5.4 Format tanggal Modbus

Permintaan master terdiri dari alamat perangkat budak (atau siaran), kode fungsi yang mendefinisikan tindakan yang diminta, data apa pun yang akan dikirim, dan bidang pemeriksaan kesalahan. Tanggapan budak berisi bidang yang mengonfirmasi tindakan yang diambil, data apa pun yang akan dikembalikan, dan Bidang pengecekan kesalahan Gambar 5.4 menunjukkan PDU dan ADU dari protokol Modbus Dua mode transmisi serial yang berbeda didefinisikan: Mode RTU dan mode ASCII Ini mendefinisikan isi bit dari bidang pesan yang ditransmisikan secara serial pada saluran Ini menentukan bagaimana Kecepatan transmisi data mode ASCII sedikit lebih rendah dari mode RTU. Jadi, ketika perlu mengirim data besar, pengguna selalu menggunakan mode RTU. Protokol Modbus standar adalah menggunakan antarmuka serial yang kompatibel dengan RS-232C, yang menentukan pin port , kabel, transmisi sinyal digital baud rate, paritas.

5.2.2 CAN Bus

CAN adalah protokol komunikasi serial yang awalnya dikembangkan pada Februari 1986, oleh Robert Bosch GmbH terutama untuk aplikasi di industri otomotif tetapi juga mampu menawarkan kinerja yang baik dalam aplikasi industri kritis waktu lainnya.Protokol CAN dioptimalkan untuk pesan singkat dan menggunakan metode akses media CSMA/Arbitration on Message Priority (CSMA/AMP).

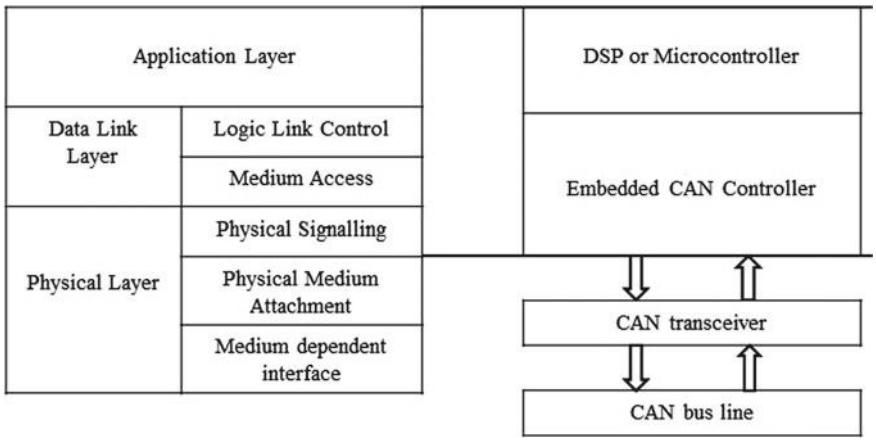
Dengan demikian protokol berorientasi pesan, dan setiap pesan memiliki prioritas khusus yang digunakan untuk menengahi akses ke bus dalam kasus transmisi simultan Aliran bit transmisi disinkronkan pada bit awal, dan arbitrase dilakukan pada pengidentifikasi pesan berikut, di mana logika nol dominan atas logika satu.

Sebuah node yang ingin mengirimkan pesan menunggu sampai bus bebas dan kemudian mulai mengirim pengidentifikasi pesannya sedikit demi sedikit Konflik untuk akses

ke bus diselesaikan selama transmisi oleh proses arbitrase pada tingkat bit bidang arbitrase , yang merupakan bagian awal dari setiap frame. Tergantung, jika dua perangkat ingin mengirim pesan pada saat yang sama, pertama-tama mereka terus mengirim frame pesan dan kemudian mendengarkan jaringan. Ini mengirim, kehilangan hak untuk melanjutkan mengirim pesannya, dan yang lain memenangkan arbitrase. Dengan metode ini, transmisi yang sedang berlangsung tidak pernah rusak.

Dalam jaringan berbasis CAN, data ditransmisikan dan diterima menggunakan Bingkai Pesan yang membawa data dari node pengirim ke satu atau lebih node penerima. Data yang ditransmisikan tidak harus berisi alamat sumber atau tujuan pesan. Sebaliknya, masing-masing Semua node lain di jaringan menerima pesan dan menerima atau menolaknya, tergantung pada konfigurasi filter mask untuk pengidentifikasi.Mode operasi ini dikenal sebagai multicast.

Protokol komunikasi CAN, ISO-11898, menjelaskan bagaimana informasi dilewatkan antara perangkat di jaringan dan sesuai dengan model interkoneksi sistem terbuka (OSI) yang didefinisikan dalam hal lapisan.Komunikasi aktual antara perangkat yang terhubung oleh media fisik adalah didefinisikan oleh lapisan fisik model. Organisasi Standar Internasional (ISO) mendefinisikan standar ISO 11898 yang menggabungkan spesifikasi CAN untuk memenuhi beberapa persyaratan dalam pensinyalan fisik, yang mencakup pengkodean dan penguraian bit (Non-Return-to-Zero, NRZ) serta bit timing dan sinkronisasi. Menggunakan mekanisme jaringan bus serial, aplikasi CAN yang ada mengirim pesan melalui jaringan. Dalam sistem CAN, tidak diperlukan pengontrol pusat karena setiap node terhubung ke protokol komunikasi CAN, ISO 11898: 2003, menjelaskan bagaimana informasi dilewatkan antar perangkat dan sesuai dengan model OSI yang didefinisikan dalam hal lapisan Arsitektur ISO 11898 mendefinisikan dua lapisan terendah dari tujuh lapisan model OSI / ISO sebagai lapisan data link dan lapisan fisik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.5.



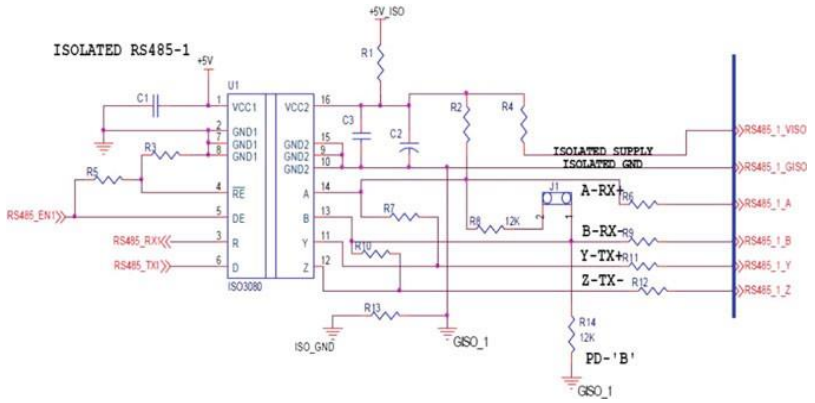
Gambar 5.5 Arsitektur standar ISO berlapis 11898

5.3 Desain Antarmuka Konversi

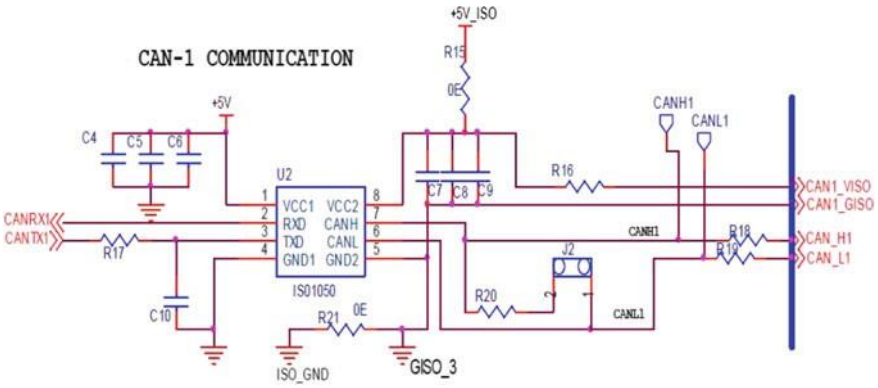
5.3.1 Desain Perangkat Keras

Perancangan antarmuka konversi protokol CAN bus ke Modbus ini dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler seri PIC32MX-XXX. Mikrokontroler seri ini memiliki 6 modul UART dan 2 modul CAN. Modul on chip ini sesuai dengan desain antarmuka konversi protokol. ISO-1050 adalah mikrokontroler CAN terisolasi yang memenuhi atau melampaui spesifikasi standar ISO-11898 dan ISO-3080 adalah driver dan penerima saluran diferensial full-duplex terisolasi.

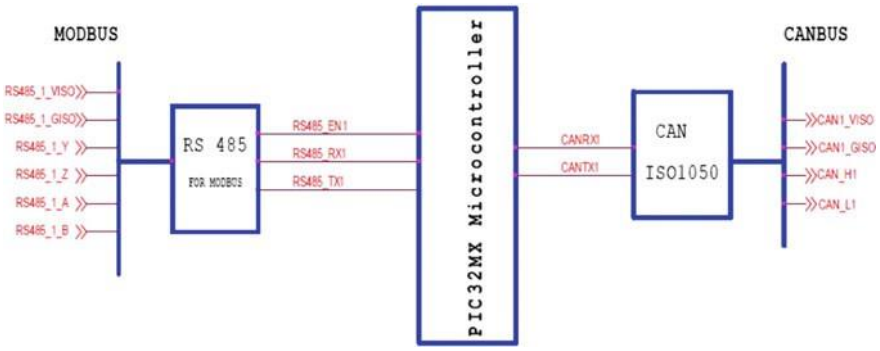
Transceiver CAN ini memberikan kemampuan transmisi diferensial ke bus dan kemampuan menerima diferensial ke pengontrol CAN pada kecepatan pensinyalan hingga 1 megabit per detik (Mbps) pada frekuensi tinggi 32 MHz. Diagram blok antarmuka konversi protokol ditunjukkan pada Gambar 5.8 Gambar 5.6 menunjukkan diagram skematik untuk komunikasi Modbus menggunakan RS-485 dan Gambar 5.7 menunjukkan diagram skematik untuk komunikasi bus CAN.



Gambar 5.6 Diagram skematik untuk komunikasi Modbus



Gambar 5.7 Diagram skematik untuk komunikasi bus CAN



Gambar 5.8 Antarmuka konversi

5.3.2 Desain Perangkat Lunak

Antarmuka konversi protokol ini bekerja pada teknik master-slave dan hanya master yang dapat memulai komunikasi. Di sini, bus CAN dipilih sebagai master dan Modbus sebagai budak. Hanya bus CAN yang dapat memulai komunikasi dan perangkat Modbus dapat merespons sesuai permintaan yang dibuat oleh Master. Seluruh komunikasi dikendalikan oleh interupsi yang digerakkan oleh peristiwa. Kapan pun master CAN ingin berkomunikasi dengan perangkat yang terhubung melalui Modbus, ia kemudian akan menginterupsi komunikasi. Saat menerima interupsi ini, CPU memasuki rutinitas layanan interupsi (ISR).

Dalam rutin ini, CPU menerima data dari CAN master dan memeriksa integritas data menggunakan CRC check. Jika data ditemukan valid maka program masuk ke rutinitas yang mengubah data ini menjadi format Modbus. Format ini berisi Jadi, antarmuka konversi ini merangkum data dalam format protokol Modbus untuk dikirim ke situs Modbus. Sekarang, perangkat slave menerima Setelah menerima data analisis antarmuka konversi pesan, dan kemudian mengonversi ke format protokol CAN, kirim ke master. Perhatikan bahwa, karena panjang transmisi data bus CAN hingga 8 byte, jika protokol Modbus mentransmisikan data lebih dari 8 byte, ia akan mengirim datanya berkali-kali.

5.4 Kesimpulan

Bab ini menyajikan survei tentang Modbus dan CAN bus dan perancangan antarmuka konversi protokol CAN bus dan Modbus. Dengan menggunakan logika perangkat keras dan perangkat lunak seperti yang dijelaskan di atas diimplementasikan antarmuka konversi protokol CAN bus ke Modbus. Ada beberapa keuntungan menggunakan komunikasi fieldbus saat menambahkan atau mengganti remote control untuk penyearah Anda. Ini akan menghemat biaya pemasangan, lebih mudah untuk memecahkan masalah, dan memungkinkan Anda untuk memprogram proses Anda dari jarak jauh. Ini memberikan kemampuan untuk mengonfigurasi, memantau, dan memecahkan masalah penyearah jarak jauh Kontrol jarak jauh canggih generasi baru ini memberi pengguna kemampuan untuk memilih pengontrol tertentu untuk proses tertentu, dengan banyak opsi standar yang sudah terintegrasi.

BAB 6
PROTOKOL MIL-STD-1553
DALAM APLIKASI KECEPATAN DATA TINGGI

6.1 Pendahuluan

MIL-STD-1553 adalah antarmuka bus digital klasik yang awalnya dikembangkan oleh angkatan udara AS khusus untuk aplikasi militer dan avionik, tetapi kemudian dibuka untuk aplikasi komersial.Saat ini, standar tersebut telah banyak digunakan oleh industri otomasi dan avionik, karena ketangguhannya, transfer data yang sangat andal, dan pemimpin pasar yang kuat dalam aplikasi komando dan kontrol selama lebih dari 30 tahun. Airbus adalah produsen pesawat terbesar di dunia yang mengadopsi teknologi baru aplikasi di masa depan mulai dari militer hingga luar angkasa, avionik, komando, dan sistem kontrol, menyediakan interoperabilitas tingkat tinggi, dan keandalan protokol yang konsisten.

Telah mengadopsi standar yang sama untuk sistem kontrol penerbangan modernnya di A350 Pesawat XWB, karena keandalannya, kekokohannya, dan memiliki pengalaman pengendalian penerbangan selama 30+ tahun. industri ion adalah untuk mengurangi jumlah kabel dan konfigurasi ulang dengan biaya rendah Membawa LAN nirkabel 802.11 ke dalam industri otomasi mengarah ke konsep "fieldbus nirkabel", tetapi standar warisan tidak menjamin keandalan, ketepatan waktu, dan fleksibilitas. TCP / IP adalah standar komunikasi terbuka, sering lebih disukai dalam perutean data yang fleksibel dan transmisi data yang andal yang tidak menjamin keandalan perutean komunikasi di MIL-STD-1553. Alasan utamanya adalah bahwa Arsitektur jaringan MIL-STD-1553 menggunakan pengontrol bus untuk perutean dan kontrol data.

Karakteristik MIL-STD-1553 seperti keandalan yang tinggi, ketersediaan, toleransi kesalahan, dan interoperabilitas telah menjadikannya pilihan yang unggul dan solusi yang sesuai dalam industri avionic. Sistem Avionics Terpadu (IAS) MIL-STD-1553 menyediakan sarana multiplexing komputer yang efisien, biaya rendah, dan ringan dalam sistem avionik militer modern. adalah sistem kontrol penerbangan yang kompleks dalam pesawat tempur modern yang mampu mengumpulkan, mengkode, mendistribusikan, dan menyimpan informasi tugas udara selama misi kritis. Perangkat ini akan berkomunikasi dengan subsistem internal pesawat secara efisien dan andal. Penerimaan luas 1553 telah diakui sebagai bus tujuan umum yang diadopsi oleh berbagai industri otomasi, selain avionik untuk komputer multiplexing. Standar ini dikendalikan oleh *Automotive Society dari Engineer* (SAE), terus meningkatkan kinerja standar untuk sistem avionik militer masa depan.

6.2 Pekerjaan Terkait

MIL-STD-1553 adalah bus data multi divisi waktu digital yang terutama dikembangkan oleh angkatan udara AS sejak didirikan pada tahun 1973, dan secara sadar sedang direvisi untuk sistem avionik generasi berikutnya serta tersedia secara komersial untuk aplikasi seperti stasiun ruang angkasa internasional, rudal, tank, kapal, dan satelit.

Ukuran dan berat adalah faktor paling penting dalam industri avionik, dan MIL -STD-1553 telah memecahkan masalah yang menantang ini dengan meminimalkan interkoneksi internal pesawat point-to-point selama 45 tahun terakhir, memperkenalkan fleksibilitas waktu nyata.

Keberhasilan fieldbus digital dalam industri otomasi dan avionik terutama karena pengurangan kabel (ukuran, berat, daya, dan biaya) dan standar terus ditingkatkan untuk sepenuhnya menghilangkan kabel internal, dengan memperkenalkan konektivitas nirkabel antar komponen. Media nirkabel (WLAN + teknologi nirkabel lainnya) sangat membatasi keandalan sistem, efisiensi, dan komunikasi data berkecepatan tinggi yang sensitif dalam aplikasi militer, luar angkasa, dan avionik yang penting. IP core adalah chip tunggal yang cerdas dan serbaguna yang mampu mengimplementasikan dan mengontrol ketiga fungsi bus seperti memulai perintah/respons oleh Bus Controller (BC), penerimaan yang dilakukan oleh Remote Terminal (RT), dan pelaporan status oleh Bus Monitor (BM) Lalu lintas data IAS tergantung pada bus MIL-STD-1553B. Hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan HDL (ALDEC) menunjukkan bahwa inti IP memiliki banyak keunggulan termasuk kemampuan deteksi kesalahan sehingga sangat handal bersama dengan MIL-STD-1553.

Paket datagram IP dienkapsulasi dalam pesan data MIL-STD-1553B menggunakan IP melalui Sistem MIL-STD-1553 (Sistem IPo1553), memiliki kompatibilitas ke belakang ke jaringan lama 1553. Menurut IPo1553, beberapa perangkat yang diaktifkan oleh IPo1553 mengirim dan menerima datagram IP sementara yang lain terus mengirimkan data menggunakan standar warisan 1 Mbps. IPo1553 menyediakan opsi komunikasi tambahan untuk terus mengirimkan data menggunakan protokol IP bersama dengan standar lama 1553.

Massa, volume, dan konsumsi daya adalah tiga faktor desain terpenting untuk MIL-STD-1553 dalam aplikasi luar angkasa. Penulis memperkenalkan desain teknologi low power bus 1553B, yang bertujuan untuk meminimalkan konsumsi daya untuk meningkatkan efisiensi komunikasi data dan transfer data yang andal. analisis ormance untuk tiga teknologi daya rendah yaitu, protokol 1553B berbasis chip SOC, transceiver RS485, dan inframerah dibandingkan dan dianalisis untuk massa, volume, dan konsumsi daya sehingga masing-masing teknologi daya rendah sangat cocok untuk aplikasi tertentu. Teknologi 1553B berdaya rendah akan digunakan di salah satu misi luar angkasa China dan satelit masa depan.

Tingkat persyaratan pengujian dan simulasi bus serial 1553 untuk efisiensi dan keandalan komunikasi data dianalisis dalam. Pendekatan yang tepat dengan *trade-off* yang optimal antara fleksibilitas total dan biaya harus dievaluasi untuk memilih teknik pengujian bus yang tepat. Penelitian ini mengusulkan evaluasi kinerja kecepatan data kecepatan tinggi melalui bus MIL-STD-1553 menggunakan *Discrete Multitone Technology* (DMT) pada standar 1553 yang ada.

Arsitektur sistem menggunakan pemancar dan penerima FPGA untuk verifikasi dan penilaian eksperimental. File data yang dikirim dan diterima 250 MB (3500 burst) dan 1,4 GB (20.000 burst) menggunakan kecepatan data 100 Mbps melalui bus MIL-STD-1553. Evaluasi kinerja sistem yang dirancang meningkatkan transmisi data volume besar secara terus menerus menggunakan kecepatan data kecepatan tinggi. Teknik transmisi kecepatan tinggi

yang ditingkatkan dengan bit error rate 10-9 menandakan keandalan transfer data dalam jumlah besar menggunakan 100 Mbps dibandingkan dengan 1 tradisional. sistem Mbps.

Studi kelayakan MIL-STD-1553 pada analisis kapasitas jaringan telah dilakukan oleh Data Device Corporation (DDC), menerapkan sistem warisan untuk komunikasi data berkecepatan tinggi yang menghasilkan Bit Error Rate (BER) yang lebih rendah. Kinerja komunikasi data kecepatan tinggi aktual dan keandalan bus bergantung pada banyak faktor seperti panjang bus, panjang rintisan, jumlah perangkat yang terhubung ke bus, pensinyalan bentuk gelombang, dan skema penyandian data.

6.3 Infrastruktur Protokol Jaringan MIL-STD-1553

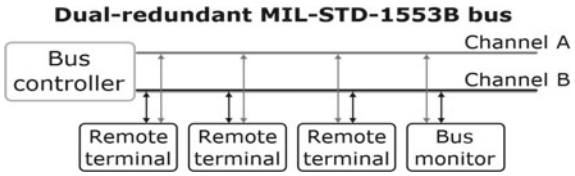
Arsitektur jaringan MIL-STD-1553 adalah bus data multipleks perintah / respons divisi waktu internal pesawat, standar yang diterima secara luas oleh militer dan avionik yang saat ini menjalankan versi B.

6.3.1 Elemen Perangkat Keras MIL-STD-1553

Arsitektur jaringan MIL-STD-1553 dapat dibagi menjadi empat komponen utama seperti :

- Pengendali Bus (BC)
- Terminal Jarak Jauh (RT)
- Pemantau Bus (BM)
- Media transmisi / 1553 kabel bus.

Arsitektur jaringan MIL-STD-1553 digambarkan pada Gambar 6.1 termasuk BC, RT, BM, bus primer, dan bus sekunder opsional yang bertindak sebagai bus cadangan.



Gambar 6.1 Arsitektur jaringan MIL-STD-1553

6.3.1.1 Pengontrol Bus

Bus Controller (BC) bertanggung jawab untuk memulai komunikasi perintah / respon melalui bus data digital. BC kebetulan lebih dari 1 jumlahnya, tetapi hanya satu BC aktif yang beroperasi pada waktu tertentu. Terminal jarak jauh dan komponen sistem lain yang terhubung ke bus data diarahkan untuk menerima perintah yang diprakarsai oleh BC dan merespons kembali seperti yang ditentukan dalam pesan. Perintah tersebut terkait dengan manajemen data / kontrol lalu lintas pada bus data atau diarahkan ke subsistem untuk merespon kembali seperti yang ditentukan dalam pesan. BC menggunakan metodologi perintah / respons untuk berkomunikasi melalui bus yang bertindak sebagai pengontrol bus di antarmuka komunikasi MIL-STD-1553.

6.3.1.2 Terminal Jarak Jauh

Fungsi utama Remote Terminal (RT) adalah untuk mengirim / menerima pesan komunikasi dari BC, antara RT dan komponen subsistem melalui bus dan hingga 31 RT dapat berkomunikasi melalui bus digital MIL-STD-1553 seperti pada Gambar 6.1. RT mampu mendeteksi kesalahan transmisi, melakukan tes validasi data setelah data diterima dan melaporkan status transmisi data (gagal / diakui / tertunda). RT mampu memulai respons. ketat dalam 12 s, setelah diarahkan dari BC meskipun tidak didefinisikan. Menurut MIL-STD-1553, RT dapat berupa komputer / komponen / sistem kontrol apa pun yang terhubung ke bus seperti unit navigasi pesawat, komputer kontrol lalu lintas udara, unit kontrol senjata, atau bahkan sederhana PC yang terhubung ke bus dapat dianggap sebagai RT.

6.3.1.3 Pemantau Bus

Bus Monitor (BM) adalah salah satu elemen terpenting dari arsitektur jaringan MIL-STD-1553 dengan fungsi utama untuk mengumpulkan dan memantau transmisi data melalui bus data. BM dapat digunakan untuk "aplikasi off-line" seperti perekaman uji terbang, pencatatan pemeliharaan, dan analisis misi. BM juga dianggap sebagai perekam lalu lintas bus dan pendeteksi kesalahan.



Gambar 6.2 infrastruktur jaringan MIL-STD-1553 waktu nyata

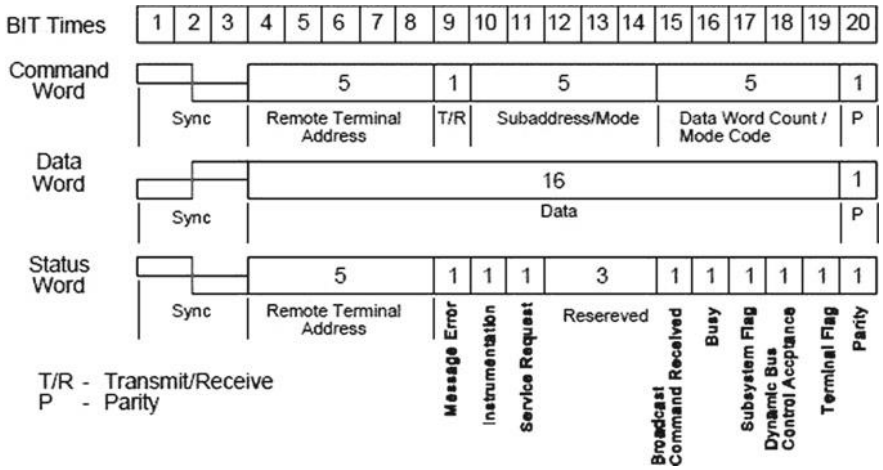
Tabel 6.1 Ringkasan persyaratan bus data

Aplikasi	avionik DOD
Kecepatan data	1 MHz
Panjang kata	20 bit
Jumlah bit data / kata	16
Teknik transmisi	Setengah dupleks
Operasi	Tidak sinkron
Pengkodean	Manchester II dua fase
Kopling bus	Transformator
Kontrol bus	Tunggal atau ganda
Media transmisi	Twisted pair terlindung

6.3.1.4 Media Transmisi / Kabel Bus 1553

Kabel twisted pair berpelindung bertindak sebagai bus transmisi digital yang menghubungkan BC, RT, dan BM melalui kabel stub bersama dengan terminator sinyal 78 di kedua ujungnya. Kabel kopling dan isolasi transformator diperkenalkan di terminal dan di bus untuk mengurangi kebisingan dan korsleting.

Kabel pasangan terpilin yang bertindak sebagai bus data digital yang mencegah pembatalan kebisingan dan pelindung memberikan perlindungan dari interferensi elektromagnetik eksternal, sehingga memastikan integritas data. Jumlah maksimum RT yang terhubung ke bus data pasangan terpilin tunggal di MIL-STD 1553. Seluruh infrastruktur jaringan fisik MIL-STD-1553 digambarkan pada Gambar 6.2 dan persyaratan bus MIL-STD-1553 dirangkum dalam Tabel 6.1.



Gambar 6.3 Struktur format kata bus MIL-STD-1553

6.3.2 Format Protokol MIL-STD-1553

Pembagian informasi antar perangkat yang terhubung ke bus data MIL-STD-1553B disebut pesan dalam protokol 1553. 1553 pesan ditransmisikan dalam tiga format yaitu, Command Word (CW), Status Word (SW), dan Pure Data Word (DW) Struktur format kata terinci dirangkum untuk ilustrasi lebih lanjut pada Gambar 6.3. CW dan SW adalah kata kontrol yang mengendalikan mekanisme transfer data dan DW adalah kata informasi yang harus dibagikan di antara sistem yang terhubung ke bus data. Skema encoding dan decoding data adalah Manchester bi-phase yang memungkinkan transisi pada setiap level bit, membuat deteksi kesalahan mudah untuk komunikasi protokol yang andal. Karena tingkat kesalahan yang lebih rendah dari kesalahan satu kata per 10 juta kata pembuatan Protokol MIL-STD-1553 yang sangat andal pada kecepatan operasional 1 Mbps. Tabel 6.2 merangkum karakteristik protokol jaringan MIL-STD-1553.

6.3.3 Manchester Encoder / Dekoder

MIL-STD-1553 menggunakan skema pengkodean dua fase Manchester untuk mengkodekan informasi yang dikirimkan melalui bus data Skema ini mahal BW, namun MIL-

STD-1553 enkoder dan dekoder dua fase Manchester adalah bagian tak terelakkan dari militer, avionik , dan aplikasi luar angkasa yang memberikan manfaat utama berikut sebagai:

- Informasi waktu dan jam dapat dengan mudah diekstraksi dan dipulihkan dari data yang disandikan.
- Skema pengkodean kebal terhadap gangguan saluran dan inter-symbol interference (ISI).
- Kemampuan deteksi kesalahan yang mudah dari urutan 10-12, bahkan kesalahan bit tunggal dapat dideteksi.
- Tidak ada komponen DC.

Tabel 6.2 Karakteristik protokol jaringan MIL-STD-1553B

Barang Barang	Keterangan
Kecepatan data	1 Mbps
Bit data / kata	16 bit
Panjang pesan	Maks 32 kata data
Teknik transmisi	Setengah dupleks
Operasi	Tidak sinkron
Protokol	Perintah / tanggapan
Toleransi kesalahan	Khas redundan kedua redundan ganda dalam status cadangan panas
Jenis terminal	Terminal jarak jauh (RT) Pengontrol bus (BC) Monitor bus (BM)
Jenis transfer pesan	BC ke RT transfer RT ke BC transfer RT ke RT transfer BC ke RT (siaran) RT ke RT (siaran) Kontrol sistem
Jumlah terminal jarak jauh	Maks 31 RT
Data kata / pesan	32 kata data
Format kata data	3 bit pola sinkronisasi 16 bit informasi 1 bit paritas
Impedansi karakteristik kabel	70–85 ▲

6.3.4 Proses Kontrol Kualitas

Menurut, pengenalan Quality Control Process (QCP) yang efisien dalam industri avionik dan otomasi merupakan faktor penting dalam desain peralatan dan solusi terbaik untuk mengendalikan keandalan peralatan. evaluasi dan penilaian pengendalian adalah sebagai berikut:

- Deskripsi atribut
- Metodologi pengukuran
- Observasi eksperimental, pengumpulan dan analisis data

- Verifikasi dan validasi berbasis skenario.

Tabel 6.3 Atribut kualitas jaringan MIL-STD-1553

Domain berkualitas	Atribut kualitas	Sub-atribut
Pertunjukan	Integritas data Keandalan informasi Overhead protokol komunikasi Portabilitas sistem Skalabilitas bus data Daya dukung Ketersediaan informasi Waktu tunda sistem	Deteksi kesalahan Kontrol prioritas data Latensi jaringan throughput Sinkronisasi waktu Ketepatan waktu dan akurasi data Biaya
Keamanan	Overhead protokol komunikasi throughput	Latensi jaringan Biaya
Bandwidth	Overhead protokol komunikasi throughput	Latensi jaringan Biaya
Arsitektur	Interoperabilitas perangkat bus data Portabilitas Sistem Kontrol akses bus data Skalabilitas bus data Pemeliharaan bus data Daya dukung	Sinkronisasi waktu Ketepatan waktu dan akurasi data Biaya

Daftar atribut kualitas MIL-STD-1553 dikategorikan dalam bentuk tabel pada Tabel 6.3. Sistem kontrol penerbangan dan avionik generasi berikutnya diharapkan sangat kolaboratif Perangkat Lunak/Perangkat Keras, beroperasi pada kecepatan data 200+ Mbps. Sistem ini harus efisien, hemat biaya, andal, dan fleksibel di lingkungan yang keras. MIL-STD-1553 akan mengusulkan variabel desain yang harus dipertimbangkan selama proses pengembangan sebagai:

1. Panjang bus
2. Jumlah rintisan
3. Panjang rintisan
4. Lokasi rintisan
5. Jumlah terminal jarak jauh
6. Skema pengkodean bus

6.4 Analisis Perbandingan Teknologi Bus Data Berkecepatan Tinggi

6.4.1 Arsitektur Tradisional MIL-STD-1553

MIL-STD-1553 masih merupakan antarmuka digital multipleks pembagian waktu yang sesuai untuk sebagian besar aplikasi avionik dan kontrol penerbangan, tetapi setiap teknologi jaringan diputuskan secara selektif untuk domain avionik tertentu, tidak ada satu

teknologi pun yang dianggap "terbaik" untuk semua aplikasi . 1553 standar beroperasi pada 1 Mbps masih dapat digunakan untuk sebagian besar aplikasi, tetapi aplikasi avionik berkecepatan tinggi yang muncul membutuhkan kecepatan data lebih dari 1 Mbps.

Setelah aplikasi berkecepatan tinggi dalam operasi lapangan, keandalan data, kontrol kesalahan, efisiensi, dan fleksibilitas muncul dalam pertimbangan untuk mendukung standar lama, untuk memberikan solusi optimal yang konsisten. Dua pendekatan revolusioner diselidiki dan dianalisis secara komparatif untuk mendukung standar warisan (MIL-STD-1553) mengenai peningkatan efisiensi BW, komunikasi data berkecepatan tinggi yang andal, fleksibilitas antarmuka, dan kinerja. Dalam beberapa aplikasi, trade-off yang optimal antara beberapa teknologi lebih disukai. Lapisan arsitektur protokol MIL-STD-1553 dirangkum dalam Tabel 6.4.

6.4.2 Teknologi Bus Data HyPer-1553TM

6.4.2.1 Ikhtisar

Teknologi bus data HyPer-1553TM telah diimplementasikan oleh Device Data Corporation (DDC) yang mentransmisikan data pada kecepatan data yang jauh lebih tinggi (>1 Mbps), di atas bus MIL-STD-1553 yang ada dengan menetapkan dua tujuan, yaitu :

- Teknologi HyPer-1553TM memungkinkan komunikasi berkecepatan tinggi melalui kabel MIL-TD-1553 yang ada.
- Teknologi HyPer-1553TM memungkinkan komunikasi berkecepatan tinggi pada 5 Mbps melalui kabel MIL-STD-1553 yang ada dan berdampingan secara damai dengan kabel bus 1 Mbps lama tanpa gangguan.
- Teknologi baru ini membantu meningkatkan BW antara subsistem yang banyak digunakan dalam operasi yang berpusat pada jaringan dan aplikasi fusi sensor.

Data Device Corporation (DDC) telah melakukan serangkaian studi penelitian secara real time untuk mengimplementasikan aplikasi kontrol penerbangan avionik berkecepatan tinggi (BW mahal) yang sedang berkembang, di mana warisan Standar MIL-STD-1553 1 Mpbs dapat berdampingan secara damai hingga kecepatan data 200 Mbps, namun standar tersebut memiliki tingkat keandalan yang tinggi untuk ditingkatkan hingga 200+ Mbps dalam waktu dekat.

Teknologi HyPer-1553TM menggabungkan topologi bus multi-drop yang digunakan untuk jaringan berkecepatan menengah (dari 10 Mbps hingga 100 Mbps). Multi-drop bus hemat biaya, topologi jaringan berkecepatan rendah menggunakan Frequency Division Multiplexing (FDM) untuk memungkinkan komunikasi data berkecepatan rendah dan berkecepatan tinggi secara bersamaan melalui kabel MIL-STD-1553. *Bus multi-drop* menghilangkan hub dan sakelar aktif yang secara signifikan mengurangi ukuran, berat, daya, dan biaya.

Teknologi HyPer-1553TM dapat memberikan solusi untuk komunikasi berkecepatan tinggi yang efisien dan andal pada bus multi-drop menggunakan teknik pensinyalan dan penyaringan canggih. Komunikasi data rate berkecepatan tinggi

sangat bergantung pada panjang bus, jumlah stub, dan panjang stub. Teknologi HyPer-1553TM adalah pendekatan yang terukur dan fleksibel dengan menambahkan aplikasi kecepatan data tinggi, berbagi kabel yang sama tanpa mengganggu antarmuka 1 Mbps lama.

Tabel 6.4 Fitur arsitektur protokol MIL-STD-1553 tradisional

Lapisan arsitektur	Fitur arsitektur
Lapisan fisik	• Kopling transformator Fitur arsitektur MIL-STD-1553 ini melayani dua tujuan: 1. Isolasi galvanik 2. Pencocokan impedansi Kopling transformator menguntungkan sistem kontrol penerbangan pesawat dari interferensi elektromagnetik dan penerangan di lingkungan yang keras. Bus yang digabungkan dengan transformator meminimalkan refleksi bentuk gelombang dan redaman sinyal Topologi bus linier multi-drop Tujuan dari topologi bus linier multi-drop cenderung untuk biaya yang lebih rendah, kompleksitas yang lebih rendah dan bobot yang lebih rendah Penghubung bus Fitur arsitektur ini mengurangi pantulan bentuk gelombang yang menghasilkan lapisan fisik yang kuat Isolasi kesalahan Isolasi kesalahan melalui rangkaian resistor
Lapisan protokol	Antarmuka perintah/respons dan deterministik yang sangat seimbang Fungsi kontrol waktu nyata dan kemampuan deteksi kesalahan 1553 bus transfer data berkala MIL-STD-1553 meningkatkan akurasi transmisi Protokol MIL-STD-1553 mendapatkan penundaan dan jitter yang lebih rendah
Lapisan tautan data yang andal	Fasilitas pengakuan perintah/tanggapan MIL-STD-1553 untuk transmisi ulang digabungkan dengan deteksi kesalahan Ukuran muatan kecil (64 byte) Topologi bus multi-drop redundan ganda telah digunakan untuk sistem yang membutuhkan keandalan tinggi Sinkronisasi waktu di MIL-STD-1553 memungkinkan

	transfer data yang andal

6.4.2.2 Analisis Hasil Uji

DDC telah melakukan demonstrasi penerbangan selama 2 jam, menguji bus digital HyPer-1553TM menggunakan pesawat tempur elang pemogokan USAF F-15 E1 pada bulan Desember 2005. Data citra ditransmisikan antara komputer kasar di teluk avionik depan dan senjata yang dipasang di stasiun tiang sayap. Selama pengujian, tim berhasil mentransmisikan data dengan kecepatan 40 Mbps melalui bus MIL-STD-1553 lama secara paralel dengan MIL-STD-1553 1 Mbps selama 2 jam. Tim juga mentransfer data dengan kecepatan 80 dan 120 Mbps pada bus 1553 kedua yang didedikasikan untuk kecepatan tinggi. Data citra berkecepatan tinggi yang diterima bebas dari kesalahan memvalidasi keandalan, efisiensi, dan fleksibilitas bus Multi-drop HyPer-1553TM melalui kabel MIL-STD-1553 1 Mbps yang lama.

6.4.3 Pendekatan Turbo 1553

6.4.3.1 Ikhtisar

MIL-STD-1553 memiliki seperangkat pedoman desain yang mapan untuk jaringan yang beroperasi pada 1 Mbps. Selain lebih dari 30 tahun sejarah in-service, ada dasar analitis yang kuat untuk pedoman ini yang didokumentasikan dengan baik di MIL-HDBK-1553A. Variabel desain utama dalam jaringan 1553 adalah panjang bus, jumlah stub, lokasi stub, dan panjang stub. Konsep yang didefinisikan dalam standar dan buku pegangan dapat diperluas ke kecepatan data di atas 1 Mbps. Pertanyaannya adalah apa dampak kecepatan data yang lebih tinggi pada variabel desain ini dan kinerja jaringan yang dihasilkan.

Langkah pertama menuju implementasi Turbo 1553 adalah memahami dampak frekuensi yang lebih tinggi pada redaman dan distorsi fasa. Atenuasi berdampak pada amplitudo sinyal yang disajikan ke penerima, dan dengan demikian berdampak pada Rasio Sinyal-ke-*Noise* (SNR) yang dihasilkan. SNR adalah tolok ukur utama dalam menentukan kapasitas throughput dan *Bit Error Rate* (BER) jaringan. Distorsi fase, juga disebut sebagai jitter atau kesalahan penyeberangan nol, berdampak pada waktu relatif pulsa yang pada gilirannya dapat menyebabkan masalah dengan interferensi antar-simbol yang juga berdampak pada tingkat kesalahan bit penerima. Pengaturan jaringan uji MIL-STD-1553 untuk Turbo-1553 (Skenario 1, Skenario 2) dirangkum dalam Tabel 6.5.

6.4.3.2 Analisis Hasil Uji

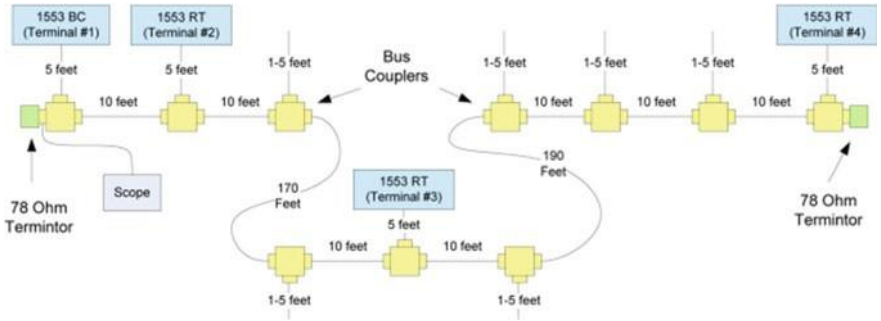
Konfigurasi eksperimental jaringan uji Turbo-1553 diilustrasikan pada Gambar 6.4 untuk mengevaluasi antarmuka bus MIL-STD-1553 yang berjalan pada kecepatan

yang lebih tinggi (>1 Mbps). Panjang bus adalah 460 kaki dengan 10 rintisan interkoneksi mulai dari 1 kaki sampai 5 kaki dengan impedansi terminal 78 diberikan sebagai ilustrasi. Komunikasi diuji antara 1553 pengontrol bus (1553-BC-Terminal 1) dan 1553 Terminal Jarak Jauh (1553-RT-2, 1553 RT-3, dan 1553 RT-4).

Dua skenario jaringan uji, satu menggambarkan Turbo-1553 dengan 10 stub interkoneksi dan kedua tanpa stub diuji dan dibandingkan. Dua skenario jaringan Turbo-1553 diuji dan dibandingkan dalam hal respons frekuensi yang dihasilkan dan distorsi fase terkait yang berjalan pada 5 Mbps. Respon frekuensi kabel 460 kaki dengan 10 stub interkoneksi versus kabel 460 kaki tanpa stub diukur seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6.5. Dari Gambar 6.5, terlihat jelas bahwa pada frekuensi yang lebih tinggi, redaman sinyal akan lebih banyak di kabel dengan 10 stub dibandingkan dengan yang tidak memiliki stub.

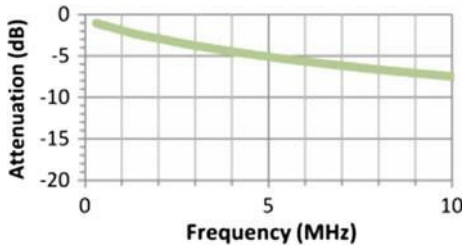
Tabel 6.5 Pengaturan jaringan uji Turbo-1553

Pengaturan tes	Skenario Turbo-1553 1	Skenario Turbo-1553 2	Hyper-1553
Kecepatan data	5 Mbps	5 Mbps	100+ Mbps
Panjang bus	460 kaki	460 kaki	
Panjang rintisan	1-5 kaki	1-5 kaki	
Jumlah rintisan yang saling berhubungan	10 rintisan	0 rintisan	
SM	Terminal 1	Terminal 1	
RT	RT-2, RT-3, RT-4	RT-2, RT-3, RT-4	
Kehilangan sinyal	12,6 dB	12,6 dB	
Tegangan rintisan	1.4v P-P	1.4v P-P	
Tegangan pemancar	minimal 6V	minimal 6V	
redaman	RT-2: paling sedikit RT-3: sedang RT-4: paling		
Distorsi fase	RT-2: terbesar karena refleksi RT-3: sedang karena refleksi RT-4: terbesar karena dispersi		
MIL-STD-1553 terminator	78 ▲		

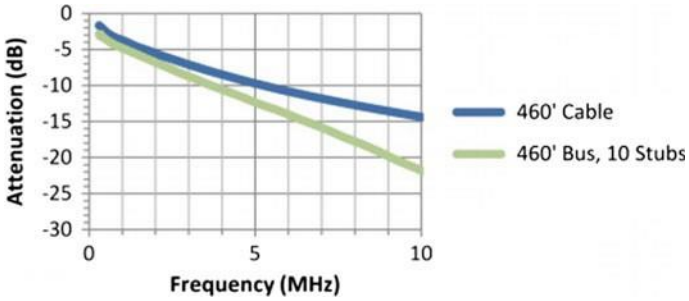


Gambar 6.4 Pengaturan eksperimental jaringan Turbo-1553

Percobaan uji serupa telah dilakukan oleh DDC menggunakan kabel 300 kaki, dan respons frekuensi yang sesuai mulai dari 300 kHz hingga 10 MHz dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.6. Hasil pengujian menunjukkan bahwa redaman sinyal yang diamati sebesar 2 dB pada 1 MHz dan 5 dB pada 5 MHz, keduanya berada dalam kisaran MIL-STD-1553 yang ditentukan yaitu 12,6 dB. Redaman sinyal dan distorsi fase yang diukur dari tiga terminal jarak jauh berada dalam kisaran penerima yang ditentukan. Redaman sinyal dan distorsi fasa juga dipengaruhi oleh jumlah stub yang terhubung ke bus dan panjang stub. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengontrol bus berkomunikasi dengan Terminal Jarak Jauh secara efisien dan andal dalam aplikasi kecepatan tinggi.



Gambar 6.5 Respon frekuensi 300 kaki kabel 1553



Gambar 6.6 Kehilangan Ppenyisipan kabel 460 kaki dan bus 460 kaki dari 300 kHz ke 20,3 MHz

6.4.4 Alat untuk Pengujian dan Simulasi

Pengujian dan simulasi desain adalah fase terpenting dari Siklus Hidup Pengembangan Produk (PDLC) dan hingga 80% dari total biaya pesawat ditetapkan selama

fase awal pengembangan . Tujuan dari pengujian dan simulasi bus MIL-STD-1553 adalah untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko dan cacat arsitektur untuk memastikan keandalan produk dan jaminan kualitas. Proses penghapusan cacat/bug arsitektur sangat mahal setelah produk diluncurkan untuk operasi secara real time. Jadi, pengujian dan simulasi integrasi berkelanjutan selama fase pengembangan sangat disukai untuk mengontrol keandalan peralatan. Tingkat pengujian MIL-STD-1553 diklasifikasikan dalam tingkat pengujian dirangkum dalam Tabel 6.6 dengan deskripsi pengujian dan jenis skenario.

Tabel 6.6 Tingkat pengujian MIL-STD-1553

tingkat pengujian	Keterangan	Skenario
Pengujian tingkat lapangan/operasional (pengujian tingkat tinggi)	Uji papan waktu nyata untuk memverifikasi dan memvalidasi antarmuka digital MIL-STD-1553 terpasang	Pengujian bus HyPer-1553 (pada 4 Mbps) 2 jam penerbangan pesawat tempur USAF F15-E1 strike eagle pada Desember 2005
Pengujian integrasi system	Mengintegrasikan komponen SW/HW sistem MIL-STD-1553 untuk menguji interoperabilitas, skalabilitas, dan fleksibilitas bus untuk memastikan keandalan sistem secara keseluruhan	Pengujian integrasi sistem model sistem KAI ETS termasuk komputer misi kartu kartu EVA MIL-STD-1553B
Pengujian produksi	Fungsi unit pengujian/kompo nen/operasi/jaminan kesalahan tingkat unit	Kit FPGA Xilinx Spartan menggunakan Xilinx ISA
Verifikasi desain	Pengujian persyaratan spesifikasi model pengujian fase praproduksi	ALTARICA perilaku fungsional dan disfungsional untuk keandalan komponen
Tes perkembangan	Pengujian tingkat sirkuit, desain tingkat rendah	ModelSim Verilog HDL VHDL OPNET dan NS-2

6.5 Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan

Dalam bab ini, MIL-STD-1553 digital time division multiplex serial interface bus diselidiki untuk keandalan dan fleksibilitas dalam aplikasi kecepatan data tinggi. Standar ini memiliki 40+ tahun pengalaman penerbangan dengan kontrol kualitas, menjadikan dirinya sebagai teknologi yang telah terbukti banyak digunakan dalam aplikasi kontrol penerbangan dan avionik. MIL-STD-1553 adalah teknologi murah dengan secara dramatis mengurangi ukuran, berat, kekuatan, dan biaya dalam 10 tahun terakhir.

MIL-STD-1553 tradisional telah diselidiki dan dianalisis untuk aplikasi kecepatan data tinggi menggunakan 1553 teknologi turunan seperti Turbo-1553 (50–100+ Mbps) dan HyPer-1553TM (5 Mbps). Analisis jaringan uji yang dihasilkan memverifikasi bahwa pada kecepatan data yang lebih tinggi, standar menyediakan transfer data yang andal (bebas kesalahan) dan kontrol fleksibel atas standar 1553 lawas yang ada. Avionik generasi berikutnya, ruang, otomatisasi, dan sistem kontrol digital perlu menyelidiki solusi optimal untuk bus data berkecepatan tinggi dengan tingkat kompatibilitas yang tinggi untuk mendukung MIL-STD-1553.

Sistem kontrol penerbangan dan avionik generasi berikutnya diprediksi mendukung transfer file data besar, menangani gambar volumetrik, dan transmisi video dalam misi penerbangan kritis dan akhirnya menyediakan kolaborasi Perangkat Lunak/Perangkat Keras tingkat abstrak. Penekanannya adalah pada keandalan bus data digital tingkat tinggi, deteksi kesalahan yang cerdas, kontrol akses bus, fleksibilitas, dan dukungan komponen. Desain encoder dan dekoder dua fase Manchester generasi berikutnya untuk komunikasi data berkecepatan tinggi akan menjadi pendekatan yang lebih disukai untuk meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

BAB 7
PENELITIAN DAN DESAIN
UNIT KONTROL BUS PROTOKOL 1553B

7.1 Pendahuluan

Bus data digital MIL-STD-1553B dirancang pada awal 1970-an untuk menggantikan bundel kawat point-to-point analog antara instrumentasi elektronik. Versi terbaru dari serial Local Area Network (LAN) untuk avionik militer yang dikenal sebagai MIL-STD-1553B dikeluarkan pada tahun 1978. Setelah 30 tahun mengenal dan menghasilkan produk yang andal, bus data terus menjadi jaringan militer yang paling populer.

Dalam sistem avionik, papan antarmuka 1553B merupakan bagian penting dalam keseluruhan sistem dan terutama mengintegrasikan data dalam bus, berbagi sumber daya, tugas koordinasi, dan rekonstruksi yang toleran terhadap kesalahan. Teknologi yang kompatibel dengan komputer mikro tujuan umum berkinerja tinggi dan sirkuit terpadu skala besar diterapkan secara luas untuk menyelesaikan komunikasi antarmuka dari tahun 80-an di negara kita. Pengontrol bus tidak hanya memastikan pengiriman atau penerimaan perintah benar, tetapi juga memantau status bus.

Sekarang, kita harus mengadopsi prosesor protokol 1553B asing yang mahal untuk merancang BCU, bab ini memperkenalkan metode desain baru dari protokol 1553B BCU (*Bus Control Unit*), pengontrol bus merupakan bagian komponen penting dari sistem komunikasi, dan platform perangkat keras utama adalah chip FPGA (*Field Programmable Gate Array*) yang disebut XC2V2000 dari perusahaan Xilinx. Berdasarkan studi mendalam, protokol transportasi bus 1553B dan metode desain chip asing, dan dikombinasikan dengan teknologi EDA populer, bab ini berhasil merancang 1553B MIL-STD-BCU digital di bawah metode desain top-down, dan terbukti benar pada papan eksperimen yang dirancang sendiri juga .

7.2 1553B Protokol

7.2.1 Karakteristik Perangkat Keras

Bus MIL-STD-1553B memiliki empat elemen utama:

- Pengontrol bus yang mengatur aliran informasi.
- Terminal jarak jauh yang menghubungkan satu atau lebih subsistem sederhana ke bus data dan menanggapi perintah dari pengontrol bus.
- Monitor bus yang digunakan untuk pengujian bus data.
- Komponen bus data (skrup bus, kabel, terminator, dan konektor). Data ditransmisikan dan diterima secara berurutan dalam skema multiplexing melalui dua kabel tembaga dari komputer ke komputer dengan kecepatan 1 megabit per detik.

7.2.2 Pengkodean

Encode data harus level dua fase Manchester II. Logika satu harus ditransmisikan sebagai sinyal kode bipolar 1/0 (yaitu, pulsa positif diikuti oleh pulsa negatif). Logika nol harus berupa sinyal kode bipolar 0/1 (yaitu, pulsa negatif diikuti oleh pulsa positif). Transisi

melalui nol terjadi pada titik tengah setiap waktu bit. Kecepatan bit transmisi pada bus harus 1,0 megabit per detik. Bentuk gelombang sinkronisasi perintah akan menjadi bentuk gelombang Manchester yang tidak valid. Lebarnya harus tiga kali bit, dengan bentuk gelombang sinkronisasi menjadi positif untuk satu setengah kali bit pertama, dan kemudian negatif untuk satu setengah kali bit berikutnya. Jika bit berikutnya yang mengikuti bentuk gelombang sinkron adalah logika nol, maka paruh terakhir dari bentuk gelombang sinkron akan memiliki lebar yang tampak dari dua periode jam karena pengkodean Manchester.

7.2.3 Kata dan Pesan

Format kata termasuk kata perintah, data, dan status. Ukuran kata harus 16 bit ditambah bentuk gelombang sinkronisasi dan bit paritas dengan total 20 bit kali. Kata perintah harus terdiri dari bentuk gelombang sinkronisasi, bidang alamat terminal jarak jauh, bit pengirim/penerima (TIR), bidang sub-alamat/mode, bidang jumlah kata/kode mode, dan bit Paritas (P). Kata data harus terdiri dari bentuk gelombang sinkronisasi, bit data, dan bit paritas. Kata status harus terdiri dari bentuk gelombang sinkronisasi, alamat RT, bit kesalahan pesan, bit instrumentasi, bit permintaan layanan, tiga bit yang dicadangkan, bit perintah siaran yang diterima, bit sibuk, bit bendera subsistem, bit penerimaan kontrol bus dinamis, bit bendera terminal , dan sedikit paritas. Untuk operasi siaran opsional, transmisi kata status harus ditekan. Pesan yang ditransmisikan pada bus data meliputi transfer pengontrol bus ke terminal jarak jauh, transfer terminal jarak jauh ke pengontrol bus, transfer terminal jarak jauh ke terminal jarak jauh, perintah mode tanpa kata data, perintah mode dengan kata data (transmit), perintah mode dengan kata data (menerima), dan perintah siaran opsional.

7.2.4 Divisi Hirarki

Sistem komunikasi terdiri dari physical layer (PHY), Data Link Layer (DLL), transport layer, dan application layer.

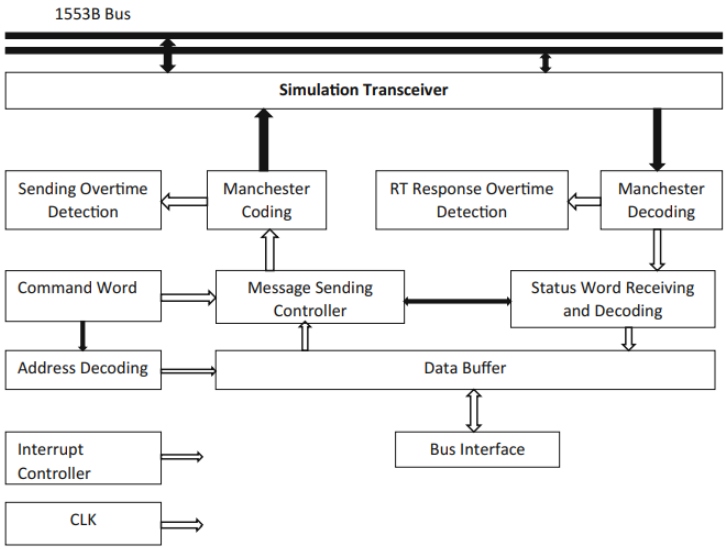
- PHY: Menyediakan media komunikasi, manajemen atas transmisi aliran media fisik, untuk memastikan karakteristik transmisi yang diperlukan dengan bit informasi 1553B yang dikirim ke lapisan data link.
- DLL: Untuk mentransmisikan yang andal, lapisan mendefinisikan urutan data sesuai dengan protokol 1553B, dan mendeteksi kesalahan komunikasi dan melaporkan ke lapisan transportasi tepat waktu.
- Transport Layer: Query dan mengirimkan pesan node, menangani kesalahan, dan beralih saluran.
- Application Layer: Layanan memfasilitasi komunikasi antara aplikasi perangkat lunak dan layanan jaringan lapisan bawah sehingga jaringan dapat menginterpretasikan permintaan aplikasi dan, pada gilirannya, aplikasi dapat menginterpretasikan data yang dikirim dari jaringan.

7.3 Desain BCU

BCU adalah satu-satunya perangkat bus dalam sistem transmisi, bertanggung jawab untuk menjadwalkan data di bus, dan mengirimkan perintah kontrol ke terminal lain. Fungsi BCU adalah sebagai berikut:

- Menerima Kata Data: Fungsi ini mencakup simulasi penerima, deteksi sinkron, membuat konversi antara data paralel dan data serial, deteksi kode Manchester, paritas, jumlah bit/kata, dan sebagainya.
- Mengirim Data Words: Fungsinya termasuk menghasilkan CLK dan bentuk gelombang sinkronisasi, encoding, mengontrol pengiriman, dan sebagainya.
- Menangani Kata/Pesan: Fungsi ini mencakup decoding kata perintah, menerima dan mendekode kata status, menghasilkan interupsi, dan mendeteksi kesalahan.

BC Struktur logis berdasarkan FPGA ditunjukkan pada Gambar. 7.1 dan alur kerja BC ditunjukkan pada Gambar. 7.2.



Gambar 7.1 Struktur logika BC pada FPGA

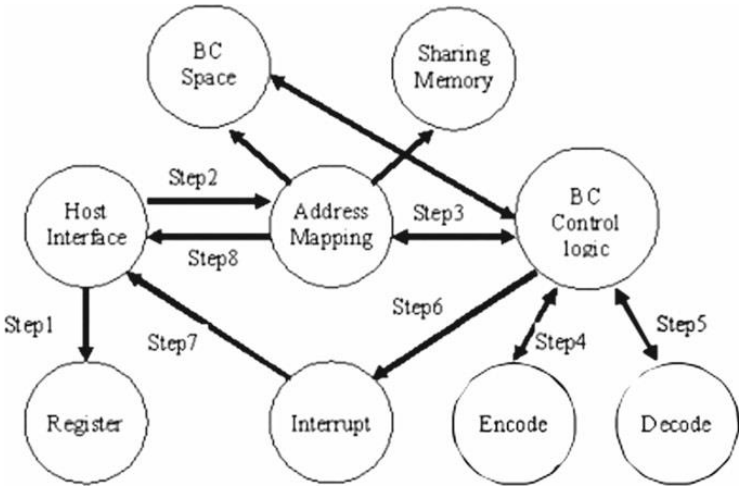
7.3.1 Unit Penguraian Kode

Ketika papan antarmuka bus menerima data serial, FPGA mendapatkan data dengan transceiver simulasi juga, dan mencari bentuk gelombang sinkronisasi pada saat yang sama, jika berhasil, ia mulai mendeteksi encode Manchester II, paritas, dan jumlah bit/kata, dll. , akhirnya, data paralel 16-bit yang ditangani dapat didekodekan oleh modul pasca-pemrosesan.

- Deteksi bentuk gelombang sinkronisasi dari kata perintah dan kata status: Dengan frekuensi input 12 MHz, setelah menyetel ulang mesin status, sistem bersiap untuk mendeteksi bentuk gelombang sinkronisasi, dan ketika status data bus dari tidak aktif berubah menjadi aktif, sistem mulai mendeteksi bentuk gelombang sinkronisasi kata perintah dan kata status. Protokol 1553B ditentukan sebagai bentuk gelombang sinkronisasi yang terdiri dari 1,5 s oleh level tinggi dan 1,5 s level rendah, dan juga mendefinisikan ada kata perintah baru atau kata keadaan ketika sampel terus

menerus 18 level tinggi dan 18 level rendah. Karena semua jenis gangguan di bus, level rendah tidak dapat diubah menjadi level tinggi dalam waktu, seringkali membutuhkan waktu. Kita tidak bisa mendapatkan bentuk gelombang dengan kenaikan curam yang ideal juga, jadi jumlah level tinggi dan level rendah tidak boleh 18, tetapi 14 dan 16 di bab ini.

- Decode: Seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 7.3, frekuensi 12 MHz dibagi enam salinan yang sama terlebih dahulu, dan sampel dengan frekuensi 2 MHz. Kami akan mendapatkan dua data sampel pada posisi seperempat dan tiga perempat setiap siklus, kemudian menilai apakah kode tersebut benar sesuai dengan data, jika dua nilai berbeda, menunjukkan data bus benar.
- Paritas: Bit terakhir dalam kata akan digunakan untuk paritas atas 16 bit sebelumnya. Paritas ganjil harus digunakan. Jika tidak benar, harus disetel PARITY_ERR l, dan mengirim pesan ke modul lain yang relevan.
- Deteksi bentuk gelombang sinkronisasi kata data: Bentuk gelombang sinkronisasi data harus berupa gelombang Manchester yang tidak valid. Lebarnya harus tiga kali bit, dengan bentuk gelombang negatif untuk satu setengah kali bit pertama, dan kemudian positif untuk satu setengah kali bit berikutnya. Perhatikan bahwa jika bit sebelum dan sesudah sinkronisasi adalah bit logika, maka lebar nyata dari bentuk gelombang sinkronisasi akan ditingkatkan menjadi empat kali bit.
-



Gambar 7.2 Alur kerja SM

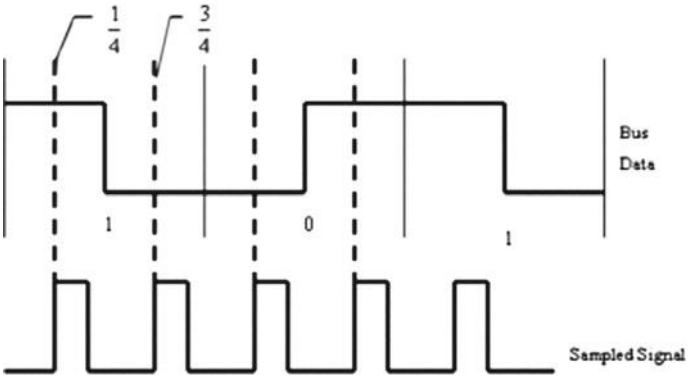
Petunjuk

Langkah l: Mengatur Register Pola Kerja BC.

Langkah 2: Atur Parameter BC dan Tulis pesan Sync/Async. Langkah 3: Tangani pesan sinkronisasi Sync/A di BC.

Langkah 4: Kirim kata perintah dan kata data. Langkah 5: Menerima kata-kata Status dan kata-kata data. Langkah 6: Prosedur Pemrosesan Pesan selesai. Langkah 7: Menyajikan interupsi.

Langkah 8: Dapatkan Hasil yang Ditangani oleh Host.



Gambar 7.3 Pengambilan sampel data dengan sinyal sampel

7.3.2 Unit Enkode Data

Encode data harus level dua fase Manchester II. Logika satu harus ditransmisikan sebagai sinyal kode bipolar 1/0 (yaitu, pulsa positif diikuti oleh pulsa negatif). Logika nol harus berupa sinyal kode bipolar 0/1 (yaitu, pulsa negatif diikuti oleh pulsa positif). Transisi melalui nol terjadi pada titik tengah setiap waktu bit. Fungsi unit mencakup kode non-RZ (NRZ) yang diubah menjadi kode Manchester, penyandian bentuk gelombang sinkronisasi, membuat bit paritas, dan konversi paralel/serial.

Proses encode adalah sebagai berikut: membuat bentuk gelombang sinkronisasi, konversi paralel/serial, membuat bit paritas, dan mengkodekan 16 bit data dan satu bit paritas. Dengan frekuensi input 12 MHz, ketika TX-CSW bernilai true, tempatkan bit bentuk gelombang sinkron di depan bit data yang valid dalam kata perintah, dan dikodekan dengan enkode Manchester.

7.3.3 Unit Dekode Kata Perintah

Sebagai salah satu bagian dari unit decoding, fungsi utamanya adalah untuk men-decode kata-kata perintah yang dikirim dan kata-kata status yang diterima kembali oleh RT dalam mode BC, dan mengirim perintah kontrol ke unit lain. Alur kerja unit mencakup set MODE "00" ("00": mode BC, "01":RT, "10":MT) sebelum mengirim pesan, menghitung alamat RT, sub-alamat, jenis pesan, jumlah kata kirim, alamat di decoder, alamat awal, dan sinyal pemilihan alamat berdasarkan protokol 1553B. Selain itu, langkah selanjutnya perlu juga, yaitu mendapatkan perintah kontrol sesuai dengan membaca data dari RAM atau menulis RAM.

7.3.4 Kirim Unit Kontrol

Fungsi utamanya adalah mendapatkan data untuk pengiriman encoder, menentukan waktu mulai pengiriman data ke RT, dan membuat bentuk gelombang sinkronisasi. Alur kerja unit termasuk memuat kata-kata perintah untuk pengkodean ke encoder, menyinkronkan output tunggal pada saat yang sama, dan menilai apakah ada kata-kata data untuk mengirim di belakang kata-kata perintah, jika demikian, mulai menyandikan dan mengirim data, jika tidak, status pekerjaan berubah menjadi menganggur.

7.3.5 Kata Status Menerima Unit Kontrol dan Dekode

Kata status harus terdiri dari bentuk gelombang sinkronisasi, alamat RT, bit kesalahan pesan, bit instrumentasi, bit permintaan layanan, tiga bit yang dicadangkan, bit perintah

siaran yang diterima, bit sibuk, bit bendera subsistem, bit penerimaan kontrol bus dinamis, bit bendera terminal, dan sedikit paritas. Fungsi utamanya adalah untuk menentukan apakah bus terus menerima data sesuai dengan parameter output yang diatur oleh mode operasional dan sinyal input. Melalui decoding kata status yang dikembalikan RT, kita dapat mengetahui status kerja sistem dalam mode BC.

Alur kerja unit sebagai berikut, pertama, ditentukan apakah data adalah kata-kata status sesuai dengan bendera bentuk gelombang sinkron dari unit dekode. Kedua, perlu untuk menentukan apakah alamat RT benar sesuai dengan lima bit pertama dari kata status, jika tidak, harus ditetapkan RTADDR-ERR 1, jika tidak, dekode kata status. Akhirnya, ia akan menerima kata-kata data di belakang kata-kata status di bawah kendali kata-kata perintah.

7.3.6 Unit Dekode Alamat

Fungsi utamanya adalah untuk mendekode alamat dalam unit decode kata perintah, memuat data, alamat awal, penghitung kata data awal, dan inisial RX-RDY, TX-RDY. Perlu dicatat bahwa alamat RAM awal sebagai input dihitung dengan daftar alamat RT dalam kata-kata perintah, di mana ada alamat RT, ada buffer di RAM, dan nilainya sama dengan posisi awal pengalokasian buffer di RAM.

Di bawah kendali sinyal alamat, inisialisasi alamat terlebih dahulu, kemudian menerima atau mengirim kata-kata data dan ditambah satu ke alamat sesuai dengan umpan balik sinyal yang berasal dari unit encode/decode, sampai semua data diterima atau dikirim. Operasi akan dipicu oleh sinyal siap data dari RX-RDY dan TX-RDY. Karena waktu menghasilkan sinyal alamat lebih lambat dari sinyal siap, sehingga operasi hanya dipicu setelah penundaan tertentu.

7.3.7 Kirim Unit Deteksi Lembur

Kita dapat memahami waktu pengiriman data dengan mudah, sesuai dengan interval antara mengirim dan menerima pesan. Ada penghitung untuk memantau output penyelam, jika nilainya lebih besar dari 800 s saat mengirim data, itu akan berhenti untuk mengirim dan menyandikan, menghasilkan sinyal lembur untuk mengatur ulang akhirnya.

7.3.8 Unit Deteksi Kesalahan

Untuk memastikan sistem komunikasi dapat diandalkan, kami akan mengadopsi protokol Automatic Repeat Request (ARQ). Bab ini memperkenalkan metode deteksi baru untuk menemukan kesalahan, yang disebut sebagai pendekatan desain perangkat lunak. Fungsi utamanya adalah untuk memeriksa data encode/decode yang mengadopsi teknologi, menentukan respon RT lembur, mendeteksi jumlah kata, dan menghasilkan interupsi kesalahan.

- Deteksi Jumlah Kata: Fungsi utamanya adalah untuk memeriksa jumlah kata data yang dikirim, jumlah kata data yang diterima, dan mengontrol jumlah kata dengan nilai positif dan negatif Manchester.
- Respon RT Lembur: Fungsi utamanya adalah untuk menentukan apakah kata-kata status diterima tepat waktu setelah kata-kata perintah atau kata-kata data dikirim. Pada saat yang sama, itu juga menentukan waktu kata status pengembalian RT.

- Hasilkan Interupsi: Atur INT 1 1 sesuai dengan jenis kesalahan seperti kesalahan paritas, kesalahan penghitung, lembur respons RT, kesalahan alamat RT, dll.

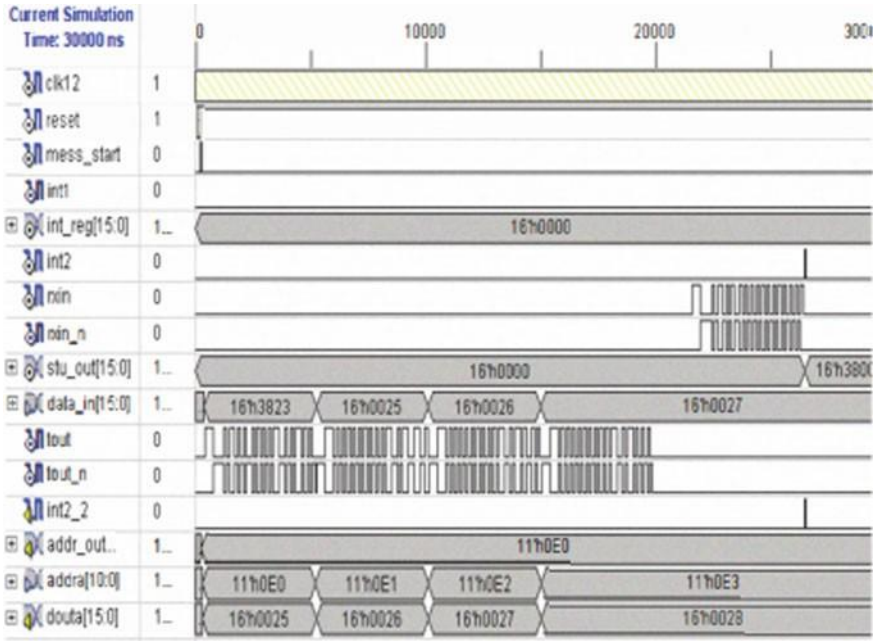
7.3.9 Antarmuka Komunikasi DSP

Bab ini memperkenalkan prosesor utama bernama ADSP-21161. Dengan menggunakan antarmuka komunikasi paralel, kami menyelesaikan pertukaran informasi dan penyimpanan data antara prosesor utama dan chip protokol pada bus alamat, bus data, dan bus kontrol.

- Komunikasi Paralel: Fungsi utamanya adalah untuk mengontrol komunikasi antara modul protokol dan DSP, termasuk sinyal data, sinyal alamat, WRIRD, dan MSO-MS3 dari DSP.
- Antarmuka Penyimpanan: Ini menyediakan antarmuka antara membaca/menulis sinyal dalam chip dan mengunjungi sinyal di DSP, dan menghindari konflik akses membaca atau menulis pada saat yang sama di bawah kendali prioritas.
- Dual Port RAM: Ini menyediakan buffer dalam chip, dan mengadopsi RAM 2K 16 di bab ini.

7.4 Emulasi Logika

Bab ini memperkenalkan proses simulasi dan analisis hasil simulasi tentang membaca atau menulis ke CPU, transisi keadaan pengontrol dan mesin keadaan protokol. Gambar 7.4 menunjukkan pengiriman kata-kata perintah ke RT dan menerima kata-kata status yang dikembalikan dari RT.



Gambar 7.4 Hasil simulasi pengiriman kata perintah

7.5 Kesimpulan

Dalam bab ini, protokol BCU 1553B berhasil dirancang berdasarkan penelitian mendalam untuk protokol 1553B. Metode desain menunjukkan pemahaman yang baik tentang perencanaan desain dan fokus pada detail teknis. Hasil simulasi menunjukkan efektivitas metode ini.

BAGIAN II
JARINGAN SENSOR NIRKABEL INDUSTRI

Bagian II dari buku berjudul Jaringan Sensor Nirkabel Industri memuat 11 proposal penelitian yang menganalisis dan mengevaluasi Industrial Wireless Sensor Networks (IWSN) atau Jaringan Sensor Nirkabel Industri dalam hal teknologi nirkabel. Aspek tersebut disorot oleh poin-poin kunci yang terdiri dari mekanisme Medium Access Control (MAC), standar komunikasi nirkabel untuk bidang industri. Selain itu, aplikasi jaringan tersebut dari penginderaan lingkungan, pemantauan kondisi, dan aplikasi proses otomatisasi yang ditentukan. Merancang jaringan yang sesuai didasarkan pada persyaratan aplikasi yang spesifik. Hal ini menunjukkan tantangan teknologi dalam menyebarkan WSN di lingkungan industri serta solusi yang diusulkan untuk masalah tersebut. Daftar ekstensif solusi komersial IWSN dan penyedia layanan yang disediakan serta tren masa depan di bidang IWSN telah dirangkum pada bagian ini.

BAB 8
GAMBARAN UMUM
JARINGAN SENSOR NIRKABEL

8.1 Pendahuluan

Wireless Sensor Networks (WSN) atau Jaringan sensor nirkabel secara umum digambarkan sebagai jaringan node yang secara kooperatif merasakan dan dapat mengontrol lingkungan yang memungkinkan interaksi antara orang atau komputer dan lingkungan sekitarnya. Di satu sisi, WSN memungkinkan aplikasi baru dan dengan demikian kemungkinan pasar baru; di sisi lain, desain dipengaruhi oleh beberapa kendala yang membutuhkan paradigma baru.

Faktanya, aktivitas penginderaan, pemrosesan, dan komunikasi di bawah jumlah energi yang terbatas, memicu pendekatan desain lintas-lapisan yang biasanya memerlukan pertimbangan bersama dari pemrosesan sinyal/data terdistribusi, kontrol akses media, dan protokol komunikasi. WSNs memiliki beberapa aspek umum dengan jaringan ad hoc nirkabel dan dalam banyak kasus, mereka hanya dianggap sebagai kasus khusus dari mereka. Hal ini dapat menyebabkan kesimpulan yang salah, terutama ketika protokol dan algoritma yang dirancang untuk jaringan ad hoc digunakan di WSN. Untuk alasan ini, dalam Bab 8.2, definisi yang tepat dari WSN dan diskusi disediakan.

Serangga. 8.3, area aplikasi utama untuk WSN dikategorikan menurut jenis informasi yang diukur atau dibawa oleh jaringan. Aplikasi, di atas tumpukan, menetapkan persyaratan yang mendorong pemilihan protokol dan teknik transmisi; di sisi lain, saluran nirkabel menimbulkan kendala pada kemampuan dan kinerja komunikasi. Berdasarkan persyaratan yang ditetapkan oleh aplikasi dan kendala yang ditimbulkan oleh saluran nirkabel, protokol dan teknik komunikasi dipilih. Fitur utama di WSN dijelaskan di bab 8.4. Secara khusus, desain protokol komunikasi hemat energi adalah masalah yang sangat aneh dari WSN, tanpa preseden yang signifikan dalam sejarah jaringan nirkabel.

Umumnya, ketika sebuah node dalam mode transmisi, transceiver mengalirkan lebih banyak arus dari baterai daripada mikroprosesor dalam keadaan aktif atau sensor dan chip memori. Rasio antara energi yang dibutuhkan untuk transmisi dan untuk memproses sedikit informasi biasanya diasumsikan jauh lebih besar dari satu (lebih dari 100 atau 1000 di sebagian besar platform komersial). Untuk alasan ini, protokol komunikasi perlu dirancang sesuai dengan paradigma efisiensi energi, sementara batasan ini tidak terlalu membatasi untuk memproses tugas. Kemudian, desain protokol komunikasi hemat energi adalah masalah yang sangat aneh dari WSN, tanpa preseden yang signifikan dalam sejarah jaringan nirkabel.

Sebagian besar literatur tentang WSN berkaitan dengan desain protokol hemat energi, mengabaikan peran energi yang dikonsumsi saat memproses data di dalam node, dan menyimpulkan bahwa transceiver adalah bagian yang bertanggung jawab atas konsumsi sebagian besar energi. Di sisi lain, pemrosesan data di WSN mungkin memerlukan tugas yang

memakan waktu untuk dilakukan di mikroprosesor, jauh lebih lama daripada waktu sebenarnya yang dihabiskan transceiver dalam mode transmisi. Hal ini dapat menyebabkan konsumsi energi yang signifikan oleh mikroprosesor, bahkan sebanding dengan energi yang dikonsumsi selama transmisi, atau penerimaan, oleh transceiver. Dengan demikian, aturan umum bahwa desain desain protokol komunikasi jauh lebih penting daripada penjadwalan tugas pemrosesan tidak selalu benar.

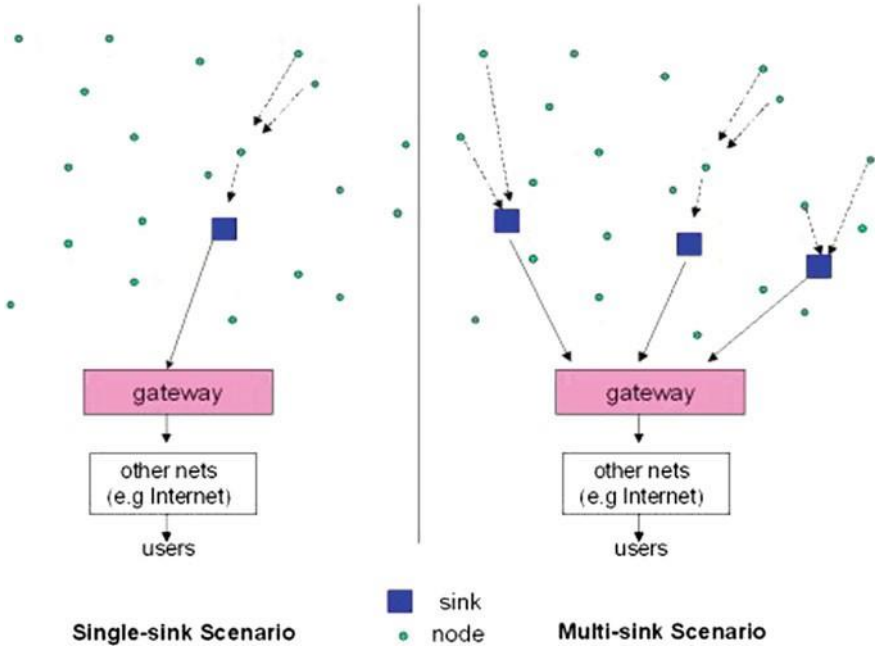
8.2 Jaringan Sensor Nirkabel

WSN dapat didefinisikan sebagai jaringan perangkat, dilambangkan sebagai node, yang dapat merasakan lingkungan dan mengkomunikasikan informasi yang dikumpulkan dari bidang yang dipantau (misalnya, area atau volume) melalui tautan nirkabel. Data diteruskan, mungkin melalui beberapa hop, ke sink (kadang-kadang dilambangkan sebagai pengontrol atau monitor) yang dapat menggunakannya secara lokal atau terhubung ke jaringan lain (mis., Internet) melalui gateway. Node dapat stasioner atau bergerak. Mereka dapat menyadari lokasi mereka atau tidak dan mereka dapat homogen atau tidak.

Ini adalah WSN wastafel tunggal tradisional (lihat Gambar 8.1, bagian kiri). Hampir semua karya ilmiah dalam literatur berurusan dengan definisi seperti itu. Skenario single-sink ini mengalami kekurangan skalabilitas: dengan meningkatkan jumlah node, jumlah data yang dikumpulkan oleh sink meningkat dan begitu kapasitasnya tercapai, ukuran jaringan tidak dapat ditambah. Selain itu, untuk alasan yang terkait dengan aspek MAC dan perutean, kinerja jaringan tidak dapat dianggap terlepas dari ukuran jaringan.

Skenario yang lebih umum mencakup beberapa sink dalam jaringan (lihat Gambar 8.1, bagian kanan) . Mengingat tingkat kepadatan node, jumlah sink yang lebih besar akan mengurangi kemungkinan kluster node yang terisolasi yang tidak dapat mengirimkan datanya karena kondisi propagasi sinyal yang tidak menguntungkan. Pada prinsipnya, WSN multiple-sink dapat diskalakan (yaitu, kinerja yang sama dapat dicapai bahkan dengan meningkatkan jumlah node), sementara ini jelas tidak benar untuk jaringan single-sink.

Namun, WSN multi-sink tidak mewakili perpanjangan sepele dari kasus single-sink untuk insinyur jaringan. Dalam banyak kasus node, mengirim data yang dikumpulkan ke salah satu sink, dipilih di antara banyak, yang meneruskan data ke gateway, menuju pengguna akhir (lihat Gambar 8.1, bagian kanan). Dari sudut pandang protokol, ini berarti bahwa pemilihan dapat dilakukan, berdasarkan kriteria yang sesuai, misalnya penundaan minimum, throughput maksimum, jumlah hop minimum, dll. Oleh karena itu, keberadaan beberapa sink memastikan kinerja jaringan yang lebih baik. sehubungan dengan kasus single-sink (dengan asumsi jumlah node yang sama digunakan di area yang sama), tetapi protokol komunikasi harus lebih kompleks dan harus dirancang sesuai dengan kriteria yang sesuai.

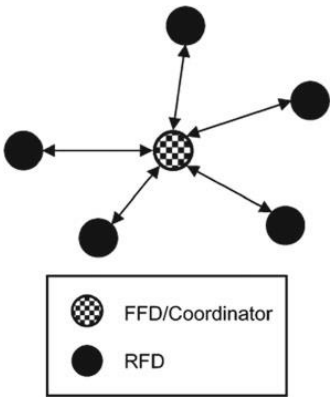


Gambar 8.1 Bagian kiri: WSN wastafel tunggal. Bagian kanan: skenario multi-sink

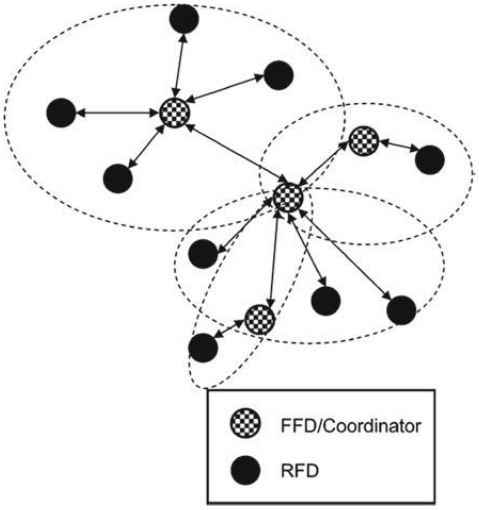
8.3 Topologi Jaringan dari Jaringan Sensor Nirkabel

Untuk membantu diskusi kita tentang Jaringan Sensor Nirkabel, pembaca dapat merujuk ke Gambar 8.2, yang menggambarkan jaringan bintang sederhana yang terdiri dari enam node. Menggunakan terminologi IEEE 802.15.4, kumpulan node ini disebut PAN; dan diasumsikan mencakup wilayah geografis yang kecil (G 10 m). Selain itu, ada dua jenis node yang didefinisikan dalam standar; perangkat fungsi penuh (FFD) dan perangkat fungsi yang dikurangi (RFD). Dari kontrol PAN dan sudut pandang multi-akses, FFD berisi perangkat lunak yang memungkinkan inisiasi PAN, pembentukan jaringan, dan kontrol saluran nirkabel untuk beberapa akses di antara RFD.

FFD biasanya disebut sebagai “koordinator” karena kemampuannya untuk menyediakan fungsi-fungsi di atas. Pada gambar, node FFD digambarkan di tengah PAN sedangkan node RFD ditampilkan di sekitar koordinator. Panah menunjukkan bahwa perangkat RFD secara logis terkait dengan koordinator dan mengandalkannya untuk layanan akses ganda dan transportasi data.



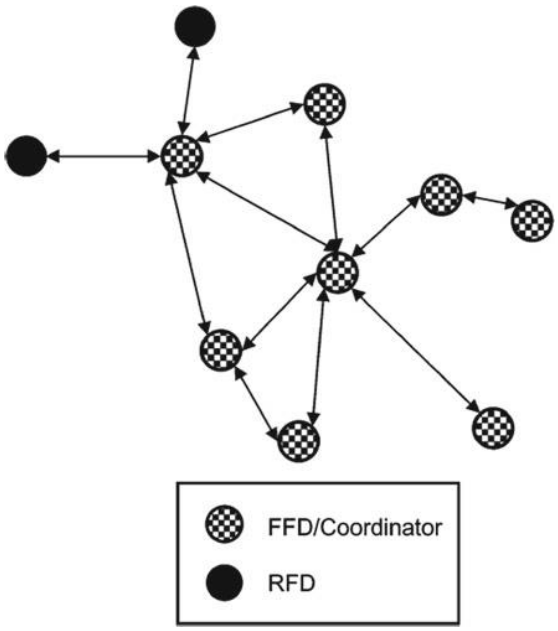
Gambar 8.2 Jaringan sensor sederhana dengan topologi star



Gambar 8.3 Jaringan sensor dengan topologi pohon

Gambar 8.3 menunjukkan contoh lain dari topologi jaringan sensor, biasanya disebut sebagai jaringan pohon. Pada gambar ini, kita kembali mempertimbangkan perangkat FFD dan RFD seperti pada Gambar 8.2.

Jaringan pohon dapat dilihat sebagai penggabungan jaringan bintang (digambarkan oleh lingkaran putus-putus) di mana jaringan bintang dihubungkan bersama dengan menghubungkan FFD di setiap bintang bersama-sama. Perhatikan di sini bahwa data mungkin perlu dirutekan melalui beberapa lompatan jika perangkat ingin berkomunikasi di luar jaringan bintang lokal mereka.



Gambar 8.4 Jaringan sensor dengan topologi mesh

Topologi ketiga yang perlu dipertimbangkan adalah topologi mesh, yang mirip dengan topologi pohon multi-hop tetapi dengan penambahan beberapa tautan di antara perangkat. (Dalam jaringan pohon, hanya ada satu jalur antara dua perangkat.) Topologi mesh pada Gambar 8.4 memberikan keandalan ke jaringan dalam bentuk jalur yang

berlebihan di antara perangkat sehingga, jika terjadi kegagalan perangkat atau tautan, data mungkin dialihkan.

8.4 Aplikasi WSN

Berbagai kemungkinan penerapan WSNs ke dunia nyata praktis tidak terbatas, dari pemantauan lingkungan, perawatan kesehatan, penentuan posisi dan pelacakan, hingga logistik, lokalisasi, dan sebagainya. Klasifikasi yang mungkin untuk aplikasi disediakan di bagian ini. Penting untuk digarisbawahi bahwa aplikasi sangat mempengaruhi pilihan teknologi nirkabel yang akan digunakan. Setelah persyaratan aplikasi ditetapkan, pada kenyataannya, perancang harus memilih teknologi yang memungkinkan untuk memenuhi persyaratan ini. Untuk tujuan ini pengetahuan tentang fitur, keuntungan dan kerugian dari teknologi yang berbeda sangat mendasar.

8.4.1 Klasifikasi Aplikasi

Salah satu klasifikasi yang mungkin membedakan aplikasi menurut jenis data yang harus dikumpulkan dalam jaringan. Hampir semua aplikasi, pada kenyataannya, dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori: deteksi peristiwa (ED) dan Estimasi Proses Spasial (SPE).

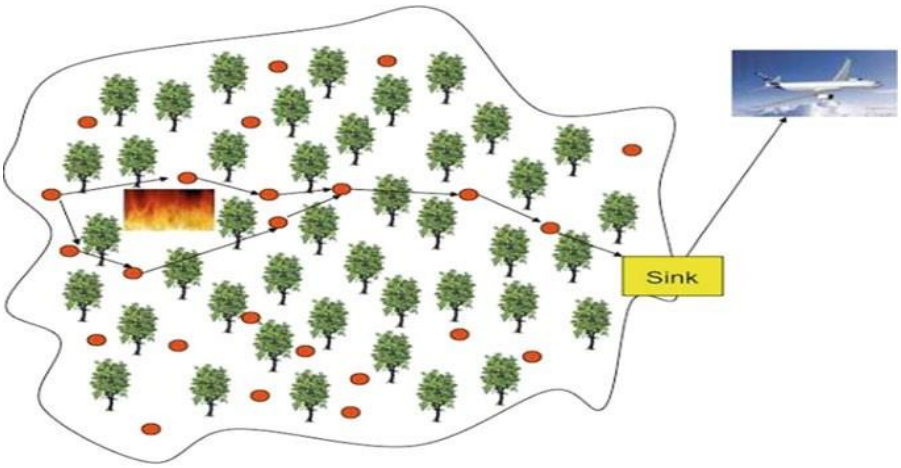
Dalam kasus pertama, sensor dikerahkan untuk mendeteksi suatu peristiwa, misalnya kebakaran di hutan, gempa, dll. Pemrosesan sinyal dalam perangkat sangat sederhana, karena fakta bahwa setiap perangkat harus membandingkan kuantitas yang diukur dengan ambang batas yang diberikan dan untuk mengirim informasi biner ke wastafel. Kepadatan node harus memastikan bahwa peristiwa tersebut terdeteksi dan diteruskan ke sink dengan probabilitas keberhasilan yang sesuai sambil mempertahankan probabilitas alarm palsu yang rendah. Deteksi Fenomena Kepentingan (POI) dapat dilakukan dengan cara terdesentralisasi (atau terdistribusi), yang berarti bahwa sensor, bersama dengan wastafel, secara kooperatif melakukan tugas mengidentifikasi POI.

Namun, tidak seperti dalam masalah deteksi desentralisasi klasik, tantangan yang lebih besar ada dalam pengaturan WSN. Ada kendala daya yang ketat untuk setiap node, saluran komunikasi antara node dan pusat fusi sangat dibatasi bandwidth dan tidak lagi lossless (misalnya, memudar, kebisingan dan, mungkin, sumber gangguan eksternal hadir), dan pengamatan di masing-masing node. node sensor bervariasi secara spasial. Dalam konteks deteksi terdesentralisasi, kerjasama memungkinkan pertukaran informasi di antara node sensor untuk terus memperbarui keputusan lokal mereka sampai konsensus tercapai di seluruh node.

Dalam SPE, WSN bertujuan untuk memperkirakan fenomena fisik tertentu (misalnya, tekanan atmosfer di area yang luas, atau variasi suhu tanah di situs vulkanik kecil), yang dapat dimodelkan sebagai proses acak dua dimensi (umumnya nonstasioner) . Dalam hal ini, masalah utama adalah untuk mendapatkan estimasi seluruh perilaku proses spasial berdasarkan sampel yang diambil oleh sensor yang biasanya ditempatkan pada posisi acak. Pengukuran kemudian akan tunduk pada pemrosesan yang tepat yang dapat dilakukan baik secara terdistribusi oleh node, atau secara terpusat di supervisor. Kesalahan estimasi sangat

terkait dengan kepadatan node serta variabilitas spasial dari proses. Kepadatan node yang lebih tinggi menghasilkan rekonstruksi medan skalar yang lebih akurat dengan mengorbankan throughput dan biaya jaringan yang lebih besar.

Ada juga aplikasi yang termasuk dalam kedua kategori tersebut. Sebagai contoh, aplikasi pemantauan lingkungan dapat berbasis ED atau SPE. Untuk kategori pertama termasuk, misalnya, lokasi kebakaran di hutan, atau deteksi gempa, dll (lihat Gambar 8.5). Atau, estimasi suhu area tertentu termasuk dalam kategori kedua. Secara umum, aplikasi ini bertujuan untuk memantau lingkungan dalam atau luar ruangan, di mana area yang diawasi mungkin beberapa ratus meter persegi atau ribuan kilometer persegi, dan durasi pengawasan dapat berlangsung selama bertahun-tahun. Bencana alam seperti banjir, kebakaran hutan, dan gempa bumi dapat dirasakan lebih awal dengan memasang sistem tertanam berjejaring lebih dekat ke tempat-tempat di mana fenomena ini dapat terjadi. Sistem seperti itu tidak dapat mengandalkan infrastruktur tetap dan harus sangat kuat, karena gangguan yang tak terhindarkan ditemui di lingkungan terbuka.



Gambar 8.5 Aplikasi pendeteksi kejadian

Sistem harus merespons perubahan lingkungan secepat mungkin. Lingkungan yang akan diamati sebagian besar tidak dapat diakses oleh manusia sepanjang waktu. Oleh karena itu, ketangguhan memainkan peran penting. Selain itu, aplikasi keamanan dan pengawasan memiliki beberapa persyaratan yang menuntut dan menantang seperti pemantauan waktu nyata dan keamanan tinggi.

Aplikasi lain yang dapat termasuk dalam kedua kategori yang ditentukan di atas dikhususkan untuk realisasi bangunan hemat energi. Dalam aplikasi ini, sebenarnya, node sensor dapat bertujuan untuk memperkirakan proses (SPE), tetapi juga peristiwa (ED).

Dalam hal ini, WSN didistribusikan di gedung-gedung (perumahan atau bukan) untuk mengelola konsumsi energi semua peralatan listrik secara efisien. Akibatnya, node harus terus memantau energi yang dikonsumsi oleh semua peralatan yang terhubung ke jaringan listrik. Oleh karena itu, sensor harus memperkirakan suatu proses, yaitu konsumsi energi yang bervariasi dengan waktu, tetapi dalam beberapa kasus, mereka dapat digunakan untuk mendeteksi beberapa peristiwa. Sebagai contoh, sensor dapat mendeteksi kedatangan seseorang di suatu ruangan untuk menyalakan beberapa peralatan listrik.

8.4.2 Contoh Persyaratan Aplikasi

Karena berbagai kemungkinan aplikasi WSN, persyaratan sistem dapat berubah secara signifikan. Misalnya, dalam kasus aplikasi pemantauan lingkungan, persyaratan berikut biasanya dominan: efisiensi energi, node bertenaga baterai atau memiliki catu daya terbatas; kecepatan data rendah, biasanya jumlah data yang akan dirasakan terbatas; komunikasi satu arah, node bertindak hanya sebagai sensor dan karenanya aliran data dari node ke sink(s); backbone nirkabel, biasanya dalam pemantauan lingkungan tidak ada koneksi kabel yang tersedia untuk menghubungkan wastafel ke jaringan tetap.

Secara signifikan berbeda adalah persyaratan aplikasi industri yang khas di mana node nirkabel digunakan untuk penggantian kabel: keandalan, komunikasi harus kuat terhadap kegagalan dan gangguan; keamanan, komunikasi harus kuat terhadap serangan yang disengaja; interoperabilitas, standar diperlukan; kecepatan data tinggi, proses yang akan dipantau biasanya membawa sejumlah besar data; komunikasi dua arah, dalam aplikasi industri node biasanya bertindak juga sebagai aktuator dan karenanya komunikasi antara sink dan node harus dijamin; backbone kabel, sink dapat dihubungkan langsung ke jaringan tetap menggunakan koneksi kabel.

Bahkan jika persyaratan sangat bergantung pada aplikasi, salah satu masalah terpenting dalam desain WSN, terutama dalam skenario di mana ketersediaan catu daya terbatas, adalah efisiensi energi. Efisiensi energi yang tinggi berarti masa pakai jaringan yang lama dan penyebaran jaringan serta biaya pemeliharaan yang terbatas. Efisiensi energi dapat dicapai pada tingkat yang berbeda mulai dari tingkat teknologi (misalnya, dengan mengadopsi komponen perangkat keras konsumsi rendah), lapisan fisik, MAC, dan protokol perutean hingga tingkat aplikasi. Misalnya, pada lapisan fisik dan MAC, node dapat beroperasi dengan siklus tugas rendah dengan menghabiskan sebagian besar waktunya dalam mode tidur untuk menghemat energi. Ini menimbulkan masalah baru seperti node mungkin tidak bangun pada saat yang sama, karena penyimpangan jam lokal mereka, sehingga membuat komunikasi menjadi tidak mungkin.

Persyaratan utama untuk transceiver dalam jaringan sensor diberikan di ZigBee.

- Biaya rendah: Karena sejumlah besar node akan digunakan, biaya setiap node harus dijaga agar tetap kecil. Misalnya, biaya sebuah simpul harus kurang dari 1% dari biaya produk yang dilampirkannya.
- Faktor bentuk kecil: Faktor bentuk transceiver (termasuk catu daya dan antena) harus kecil sehingga dapat dengan mudah ditempatkan di lokasi di mana penginderaan sebenarnya terjadi.
- Konsumsi energi rendah: Sebuah sensor biasanya harus beroperasi selama beberapa tahun tanpa perawatan baterai, membutuhkan konsumsi energi yang sangat rendah.

Beberapa persyaratan tambahan diperlukan untuk membuat jaringan sensor nirkabel efektif.

- Robustness: Keandalan komunikasi data meskipun ada gangguan, fading skala kecil, dan shadowing diperlukan agar kualitas layanan yang tinggi (misalnya, sehubungan dengan penundaan dan pemadaman) dapat dijamin.
- Kecepatan data variabel: Meskipun kecepatan data yang diperlukan untuk jaringan sensor tidak setinggi transmisi multimedia, kecepatan data yang rendah mungkin cukup untuk aplikasi sederhana sementara beberapa aplikasi lain memerlukan kecepatan data sedang.
- Jaringan heterogen: Sebagian besar jaringan sensor bersifat heterogen, yaitu, ada node dengan kemampuan dan persyaratan yang berbeda. Biasanya, jaringan memiliki beberapa perangkat fungsi penuh (FFD) yang mengumpulkan data dari berbagai sensor, memprosesnya, dan meneruskannya ke stasiun pemantauan pusat. FFD memiliki batasan yang lebih sedikit sehubungan dengan kompleksitas pemrosesan (karena hanya ada sedikit FFD, biaya bukanlah faktor yang penting) dan konsumsi energi (karena FFD biasanya terhubung ke catu daya permanen). Node sensor itu sendiri, di sisi lain, biasanya adalah perangkat fungsi yang dikurangi (RFD) dengan batasan yang sangat ketat pada kompleksitas dan konsumsi daya.

Selain komunikasi data, geolokasi adalah aspek kunci lain untuk banyak aplikasi jaringan sensor nirkabel. Biasanya, sejumlah node mengkomunikasikan hasil penginderaan (pengukuran) mereka satu sama lain dan/atau pusat kendali. Dalam banyak kasus, pusat kendali atau node penerima perlu mengetahui lokasi yang tepat dari pemancar. Misalnya, ketika sensor api mendeteksi kebakaran, pusat kendali tidak hanya ingin mengetahui ada kebakaran tetapi juga ingin mengetahui di lokasi mana. Dalam sistem otomasi gedung, sejumlah besar sensor akan dipasang dengan peralatan gedung. Setiap kondisi abnormal yang terdeteksi beserta lokasinya akan sangat membantu upaya diagnosis dan pemeliharaan. Meskipun beberapa aplikasi dengan kebutuhan geolokasi mungkin memilih untuk memasukkan lokasi perangkat secara manual, banyak aplikasi tidak mampu membayar waktu atau biaya yang terkait dengan praktik ini. Informasi lokasi juga penting karena sistem pemantauan dan kontrol sering melakukan analisis data berdasarkan korelasi spasial dan temporal dari sensor jarak dekat.

8.5 Fitur Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel

Dalam jaringan ad hoc, node nirkabel mengatur dirinya sendiri menjadi jaringan tanpa infrastruktur dengan topologi dinamis. Jaringan sensor nirkabel memiliki ciri-ciri ini, tetapi juga memiliki beberapa fitur yang membedakan. Jumlah node dalam jaringan sensor tipikal jauh lebih tinggi daripada di jaringan ad hoc tipikal, dan penyebaran yang padat sering kali diinginkan untuk memastikan cakupan dan konektivitas; untuk alasan ini, perangkat keras jaringan sensor harus murah. Node biasanya memiliki batasan energi yang ketat, yang membuatnya lebih rentan terhadap kegagalan. Mereka umumnya dianggap stasioner, tetapi kerusakan yang relatif sering dan sifat saluran nirkabel yang tidak stabil tetap menghasilkan topologi jaringan yang bervariasi. Idealnya, perangkat keras jaringan sensor harus hemat

daya, kecil, murah, dan andal untuk memaksimalkan masa pakai jaringan, menambah fleksibilitas, memfasilitasi pengumpulan data, dan meminimalkan kebutuhan pemeliharaan.

8.5.1 Seumur Hidup

Seumur hidup sangat penting untuk sebagian besar aplikasi, dan faktor pembatas utamanya adalah konsumsi energi dari node, yang perlu *self-powering.* Meskipun sering diasumsikan bahwa daya pancar yang terkait dengan transmisi paket menyumbang bagian terbesar dari konsumsi daya, penginderaan, pemrosesan sinyal, dan bahkan operasi perangkat keras dalam mode siaga juga mengkonsumsi jumlah daya yang konsisten. Banyak peneliti menyarankan bahwa konsumsi energi dapat dikurangi dengan mempertimbangkan saling ketergantungan yang ada antara lapisan individu dalam tumpukan protokol jaringan. Perutean dan protokol akses saluran, misalnya, dapat sangat diuntungkan dari pertukaran informasi dengan lapisan fisik.

Pada lapisan fisik, manfaat dapat diperoleh dengan siklus tugas radio yang lebih rendah dan penskalaan modulasi dinamis (memvariasikan ukuran konstelasi untuk meminimalkan pengeluaran energi). Solusi *Medium Access Control (MAC)* memiliki dampak langsung pada konsumsi energi, karena beberapa penyebab utama pemborosan energi ditemukan di lapisan MAC: tabrakan, overhead paket kontrol, dan mendengarkan saat idle. Perutean hemat energi harus menghindari hilangnya node karena penipisan baterai.

8.5.2 Fleksibilitas

Jaringan sensor harus dapat diskalakan, dan mereka harus dapat beradaptasi secara dinamis dengan perubahan kepadatan node dan topologi, seperti dalam kasus ladang ranjau yang menyembuhkan diri sendiri. Dalam aplikasi pengawasan, sebagian besar node mungkin tetap diam selama tidak ada hal menarik yang terjadi. Namun, mereka harus dapat menanggapi peristiwa khusus yang ingin dipelajari oleh jaringan dengan tingkat perincian tertentu. Di ladang ranjau yang menyembuhkan diri sendiri, sejumlah ranjau penginderaan dapat tidur selama tidak ada ranjau yang meledak, tetapi harus segera beroperasi jika ada serangan musuh. Waktu respons juga sangat penting dalam aplikasi kontrol (jaringan sensor/aktuator) di mana jaringan akan menyediakan layanan jaminan penundaan.

8.5.3 Pemeliharaan

Satu-satunya bentuk pemeliharaan yang diinginkan dalam jaringan sensor adalah pembaruan lengkap atau sebagian dari kode program di node sensor melalui saluran nirkabel. Fungsi jaringan secara keseluruhan tidak boleh terancam oleh kegagalan node tunggal yang tidak dapat dihindari, yang dapat terjadi karena sejumlah alasan, mulai dari penipisan baterai hingga kejadian eksternal yang tidak dapat diprediksi, dan mungkin independen atau berkorelasi spasial. Toleransi kesalahan sangat penting karena pemeliharaan berkelanjutan jarang menjadi pilihan dalam aplikasi jaringan sensor. Node yang dapat dikonfigurasi sendiri diperlukan untuk memungkinkan proses penyebaran berjalan dengan lancar tanpa interaksi manusia, yang pada prinsipnya harus dibatasi untuk menempatkan node ke dalam area geografis tertentu. Kesadaran lokasi penting untuk konfigurasi sendiri dan memiliki keuntungan pasti dalam hal perutean dan keamanan. Sinkronisasi waktu menguntungkan dalam mempromosikan kerjasama antar node seperti fusi data, akses saluran, atau interaksi terkait keamanan.

8.6 Teknologi dan Aplikasi yang Ada

Baru-baru ini, sebagian besar jaringan sensor nirkabel mengandalkan skema transmisi pita sempit seperti urutan langsung atau frekuensi hopping bersama dengan teknik akses ganda seperti *carrier sense multiple access (CSMA).* Misalnya, lapisan PHY spektrum penyebaran urutan langsung pita sempit (DSSS) yang saat ini digunakan bersama dengan standar jaringan ZigBee di pita 2,4 GHz 2 menggunakan modulasi key shift kode 2 Mchip per detik untuk menyediakan 250 kbit /S. ZigBee dapat digunakan untuk solusi kontrol dan pemantauan nirkabel tanpa kabel infrastruktur yang ekstensif.

Jaringan sensor nirkabel menggunakan ZigBee juga dapat digunakan untuk memantau aset logistik dan melacak objek. Namun, estimasi lokasi berdasarkan DSSS pita sempit dapat mencapai akurasi pada urutan beberapa meter, yang hanya sedikit lebih akurat daripada RFID tradisional. Pasar awal utama ZigBee adalah rumah, gedung, dan otomasi industri seperti pemantauan dan kontrol lampu dan HVAC, keamanan di gedung komersial dan rumah, pemantauan dan kontrol industri, pembacaan meter otomatis, pemantauan medis dan kesehatan pasien, peralatan, dan fasilitas.

Teknologi kandidat lain untuk WSN adalah berbagai bentuk IEEE 802.11 atau WiFi. IEEE meratifikasi spesifikasi awal IEEE 802.11 pada tahun 1997 sebagai standar untuk Jaringan Area Lokal (WLAN) nirkabel. Versi awal 802.11 (yaitu 802.11b) mendukung transmisi hingga 11 Mbits/dtk. Standar WLAN utama berikutnya adalah 802.11a dan 802.11g, yang mencapai 54 Mbits/s. Baru-baru ini, standar 802.11n sedang dikembangkan untuk mencapai lebih dari 100 Mbits/s untuk aplikasi kecepatan data tinggi dan IEEE 802.11s dikembangkan untuk mewujudkan jaringan mesh.

WiFi dirancang untuk jaringan PC, printer, dan perangkat lain yang cepat dan mudah di lingkungan lokal. Ini dapat memberikan kecepatan data yang jauh lebih tinggi daripada ZigBee dengan jarak komunikasi yang lebih jauh per tautan. Selain itu, WiFi merupakan teknologi yang lebih matang dan telah diadopsi secara luas di berbagai aplikasi. Namun, kompleksitas dan konsumsi energinya jauh lebih tinggi daripada ZigBee. Untuk alasan ini, teknologi WiFi telah diterapkan hanya untuk melakukan beberapa fungsi tertentu dalam jaringan sensor nirkabel. Dalam banyak kasus, ini digunakan untuk mengumpulkan data sensor untuk transmisi jarak jauh dengan catu daya tetap. Di beberapa sistem jaringan nirkabel industri dan rumah sakit, WiFi juga telah digunakan untuk memantau dan menemukan fasilitas dengan akurasi beberapa meter.

Dibandingkan dengan DSSS dan WiFi pita sempit, UWB menawarkan keuntungan yang signifikan sehubungan dengan ketahanan, konsumsi energi, dan akurasi lokasi. UWB menyebarkan sinyal transmisi melalui bandwidth yang sangat besar (biasanya 500 MHz atau lebih). Dengan menggunakan faktor penyebaran yang besar, ketahanan yang lebih tinggi terhadap interferensi dan fading tercapai. Penggunaan pulsa yang sangat pendek dalam transmisi radio impuls dengan sinyal hati-hati dan desain arsitektur menghasilkan pemancar yang sangat sederhana dan memungkinkan konsumsi energi yang sangat rendah. Konsumsi daya rata-rata untuk transceiver UWB adalah sekitar 30 mW yang mirip dengan ZigBee pita sempit (20–40 mW) dan jauh lebih rendah dari 802.11g (500 mW–1 W).

Tabel 8.1 Perbandingan teknologi nirkabel

	2.4 GHz ZigBee	**WiFi 2,4 GHz**	**UWB**
Kecepatan data	Rendah, 250 kbps	Tinggi, 11 Mbps untuk 802.11b dan	Sedang, 1 Mbit/dtk wajib, dan hingga 27 Mbps untuk 802.15.4a
Jarak transmisi	Pendek, <30 m	100 Mbps untuk 802.11n	Pendek, <30 m
Akurasi lokasi	Rendah, beberapa meter	Panjang, hingga 100 m	Tinggi, <50 cm
Konsumsi daya	Rendah, 20–40 mW	Rendah, beberapa meter	Rendah, 30 mW
Performa multipath	Miskin	Tinggi, 500 mW-1 W	Bagus
Ketahanan gangguan	Rendah	Miskin	Tinggi dengan tinggi penerima kompleksitas, rendah dengan penerima paling sederhana
Gangguan ke sistem lain	Tinggi	Medium	Rendah
Kompleksitas dan biaya	Rendah	Tinggi	Rendah-sedang-tinggi dimungkinkan

Ketepatan pengukuran jarak, yang menjadi dasar geolokasi, sebanding dengan bandwidth yang dapat digunakan. Oleh karena itu, UWB juga menawarkan keuntungan yang cukup besar untuk geolokasi dengan akurasi submeter. Lebih baik dari akurasi rentang 15 cm dan akurasi lokasi kurang dari 50 cm dapat dicapai. Tabel 8.1 memberikan perbandingan antara ketiga teknologi tersebut di atas.

8.7 Kesimpulan

Jaringan sensor menawarkan tantangan yang tak terhitung jumlahnya, tetapi keserbagunaan dan jangkauan aplikasinya yang luas semakin menarik minat komunitas riset dan juga industri. Jaringan sensor berpotensi memicu revolusi teknologi informasi berikutnya. Tujuan dari bab ini adalah untuk mendiskusikan beberapa isu WSN yang paling relevan, dari sudut pandang aplikasi, desain, dan teknologi. Untuk merancang sebuah WSN, sebenarnya, diperlukan teknologi yang paling sesuai untuk menentukan yang akan digunakan dan protokol komunikasi yang akan diterapkan (topologi, strategi pemrosesan sinyal, dll.).

BAB 9
FIELDBUS NIRKABEL UNTUK JARINGAN INDUSTRI

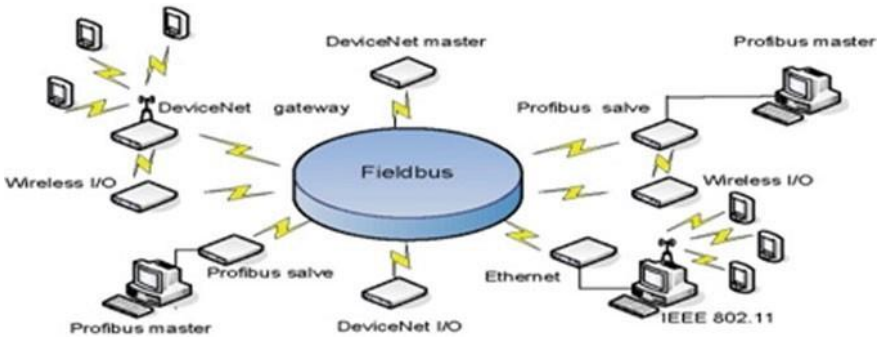
9.1 Pendahuluan

Peningkatan jaringan komunikasi nirkabel baru-baru ini memungkinkan penggunaan jaringan tersebut pada tingkat sistem otomasi pabrik yang paling rendah, yang biasanya memerlukan persyaratan yang berat baik dari segi kinerja waktu nyata dan keandalan. Namun, pabrik industri mewakili lingkungan yang tidak bersahabat karena adanya sumber kebisingan yang berbeda. Kehadiran suara-suara ini dapat dengan mudah menimbulkan kerusakan pada sinyal informasi nirkabel dan menciptakan interupsi yang salah pada data yang dikirimkan. Bab ini menyajikan survei dan analisis fieldbus nirkabel di lingkungan industri. Untuk lingkungan industri, keandalan, dan persyaratan waktu yang ketat sulit dipenuhi oleh sifat khusus dari komunikasi nirkabel.

Saat ini, jaringan komunikasi kabel digunakan di lingkungan pabrik industri. Lingkungan dikenal sebagai tingkat lapangan dan jaringan komunikasi yang bersangkutan disebut Fieldbuses. Dalam jaringan industri, jaringan tingkat rendah yang terhubung dengan sensor dan aktuator memainkan peran penting. Lingkungan industri umum terdiri dari sejumlah sensor dan aktuator. Mereka mengirim data yang dirasakan ke base station dengan peer-to-peer. Fieldbus membuat komunikasi real-time antara pengontrol dan sensor/aktuator. Pada tingkat ini, biasanya ada transmisi data dalam jumlah terbatas (puluhan byte atau bahkan kurang) antara pengontrol dan sensor/aktuator yang berasal dari dua fungsi: pertukaran data siklis dan penanganan data asiklik. Fieldbus harus dapat mengirimkan data periodik secara real-time untuk alarm dan pemeliharaan jaringan. Dengan keterbatasan ini, sebagian besar Fieldbus yang ada berdasarkan teknologi kabel diperkenalkan.

Pada tingkat ini, biasanya ada transmisi data dalam jumlah terbatas (beberapa puluh byte atau bahkan kurang) antara pengontrol dan sensor/aktuator yang berasal dari dua fungsi: pertukaran data siklis dan penanganan data asiklik. Pertukaran data siklik memperhitungkan polling periodik yang dilakukan oleh pengontrol pada perangkat lapangan untuk mengirimkan, misalnya, nilai proses, titik setel, dll. Dalam hal ini, parameter fundamental adalah jitter yang didefinisikan sebagai variasi waktu dengan yang budaknya disurvei. Fungsi penanganan data asiklik memungkinkan pertukaran data penting seperti, misalnya, yang berasal dari situasi alarm. Dalam hal ini, parameter fundamental adalah latency, yang didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk transmisi data asiklik yang sebenarnya ke tujuan. Kedua fungsi harus dilakukan dengan batasan waktu yang sangat ketat (saat ini, Fieldbus mungkin diminta untuk bekerja dengan periode dan latensi dalam urutan milidetik).

Lingkungan industri mewakili serangkaian kondisi tertentu seperti kebisingan elektromagnetik yang tinggi, namun baru-baru ini, seiring dengan pertumbuhan LAN nirkabel yang mengesankan, jaringan seperti ini telah menjadi bagian dari sistem komunikasi yang sesuai. Dengan demikian, sangat mungkin bahwa penggunaan jaringan nirkabel akan ditingkatkan di sistem komunikasi pabrik dalam waktu dekat. Karena kemajuan terbaru dalam teknologi nirkabel, jaringan nirkabel telah diintegrasikan ke sistem Fieldbus yang ada [2]. Wireless Fieldbus memiliki banyak kekuatan pada mobilitas, pemasangan dan perawatan yang mudah. Secara umum, lingkungan industri harus rawan kesalahan dan dapat diandalkan. Oleh karena itu, penting untuk merancang sistem Fieldbus nirkabel yang dapat mendukung banyak node dan menjamin transmisi data real-time seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1 Fieldbus Nirkabel

Pada Tabel 9.1, ditunjukkan Fieldbus berkabel/nirkabel seperti PROFIBUS, DeviceNet, R-Fieldbus, dan protokol khusus vendor dengan teknologi Elpro . Ada banyak pemasok yang mensuplai sistem Wireless Fieldbus tetapi masing-masing menyediakan “jenis” sistem Wireless Fieldbus mereka sendiri, yang berarti mereka memiliki aplikasi modem sendiri, seperti modem 802.11 WiFi Transparan, Transparan Frekuensi Tetap 869 MHz, Smart Radio Modem, dan banyak lagi, dll. Pabrikan menyadari banyak sistem Fieldbus berbeda yang diabaikan daripada menarik pelanggan. Perusahaan kemudian membuat perangkat mereka kompatibel satu sama lain dan mereka juga membuat spesifikasi mereka tersedia untuk umum sehingga vendor yang berbeda dapat menghasilkan perangkat yang kompatibel.
Ada beberapa perbedaan utama antara Sistem Fieldbus Nirkabel:

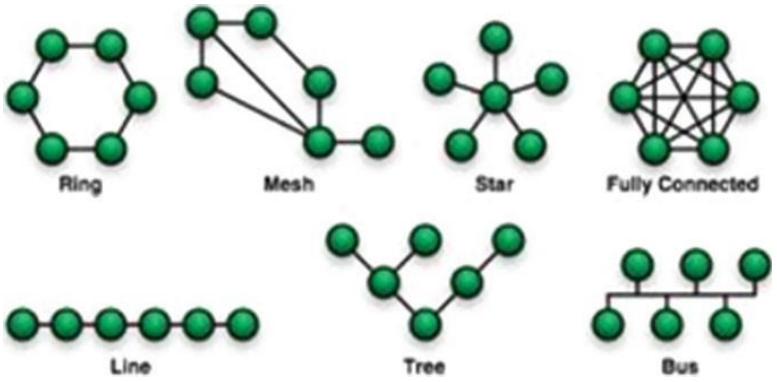
- Frekuensi/bandwidth operasi: Di dunia Wireless Fieldbus, ada dua bandwidth yang berbeda, 900 MHz (902–928) dan 2,4 GHz (2,4–2,4385). Pita 900 MHz sebagian besar digunakan di Amerika Serikat. Sinyal pita 900 MHz dapat dibagi menjadi frekuensi spesifik yang berbeda. Pita 2,4 GHz adalah pita penerimaan (RX) dan transmisi (TX) standar di seluruh dunia yang dirancang dari sistem WiFi dan dapat digunakan untuk komunikasi antara perangkat Ethernet dan non-Ethernet.
- Standar: IEEE 802.11—juga dikenal sebagai WiFi atau Ethernet nirkabel—adalah keluarga standar untuk jaringan area lokal nirkabel. Teknologi 802.11 dapat digunakan untuk menghubungkan PC laptop ke jaringan perusahaan atau rumah. Dalam aplikasi

pabrik, ini menyediakan cara hemat biaya untuk menghubungkan jaringan kecil perangkat nirkabel ke sistem host atau Jaringan Area Lokal (LAN) pabrik. Ini juga dapat digunakan untuk menghubungkan komputer pekerja lapangan atau Personal Digital Assistant (PDA) ke LAN. IEEE

- Standar radio 802.15.4 menyediakan platform sederhana untuk komunikasi berbiaya rendah, berdaya rendah, dan dengan keandalan tinggi. Standar ini dapat memberikan dasar fisik untuk standar industri proses seperti ISA-SP100, WirelessHART, atau lainnya. Ini menggunakan dua lapisan OSI yang lebih rendah termasuk lapisan fisik dan lapisan data link. Lapisan fisiknya adalah radio spektrum tersebar yang beroperasi di pita 2,4 GHz dengan kecepatan 250 kbps. Lapisan medium-access control (MAC) mendukung tiga topologi nirkabel umum: star, mesh, dan cluster-tree.
- Topologi jaringan: Topologi jaringan nirkabel menggambarkan tata letak fisik perangkat dan rute yang diikuti data untuk komunikasi. Ada beberapa jenis topologi nirkabel (ditunjukkan pada Gambar 9.2) dan topologi nirkabel yang paling umum terhubung sepenuhnya. Keuntungan dari topologi mesh dan cluster-tree adalah bahwa pemancar dapat berkomunikasi dengan penerima melalui satu sama lain. Dengan demikian, jika ada penghalang yang memecah sinyal antara pemancar dan penerima, itu dapat dikirim melalui pemancar lain di jaringan.

Tabel 9.1 Perbandingan antara Fieldbus berkabel dan nirkabel

Teknologi	**berkabel**		**Wireless**	
Nama	**PROFIBUS**	**PerangkatNet**	**R-Fieldbus**	**R-Fieldbus**
Panjang segmen (m)	1200 600 200	500 250 100	100	2000
Kecepatan data (kbps)	93.75 182.5 500	125 250 500	2000	4.8
Node	32	64	30	95



Gambar 9.2 Topologi nirkabel yang berbeda

9.2 Teknologi Fieldbus Nirkabel

9.2.1 Ikhtisar

Ide untuk masa depan adalah membuat satu standar untuk semua sistem Wireless Fieldbus. Berbagai perusahaan atau konsorsium termasuk perusahaan, pengguna akhir, dan laboratorium telah mengembangkan Fieldbus selama bertahun-tahun. Tidak mungkin menemukan konsensus nyata di tingkat standardisasi internasional karena beberapa alasan. Yang pertama adalah jumlah dan variasi aplikasi (kontrol proses, sistem manufaktur, dan sistem tertanam otomotif, sistem otomasi gedung, dan sebagainya). Yang kedua terkait dengan prinsip arsitektur yang berbeda untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol. Alasan ketiga, dan mungkin yang paling penting, adalah aspek strategis Fieldbus untuk kualitas layanan dalam sistem terdistribusi. Untuk detail lebih lanjut tentang cerita ini, pembaca yang tertarik dapat melihat.

Sejak perkembangan pesat sistem Wireless Fieldbus, ada banyak standar yang berbeda. Standar terpenting yang digunakan oleh pabrikan Fieldbus terkenal:

- Proposal pertama, diproduksi oleh ABB, Emerson, Endress & Hauser, dan Siemens, didasarkan pada karya yang disebut "Heathrow Group". Solusi mereka menggunakan protokol WirelessHART dan menentukan beberapa fitur standar ISA100.11a dan konvergensi dengan standar WIA-PA China. Ini akan menghasilkan standar nirkabel tunggal, sesuatu yang telah dituntut oleh pengguna akhir selama setengah dekade terakhir sekarang.
- Proposal kedua, diproduksi oleh Honeywell, Invensys, Nivis, Yokogawa, Fuji Electric, Hitachi America, dan Yamatake, adalah untuk mengadopsi ISA100.11a sebagai standar.
- Usulan ketiga adalah menulis ulang ISA100.11a dan membuatnya kompatibel dengan WirelessHART, ISA100.11a, dan WIA-PA.
- Sementara itu, ISA membentuk panitia baru yaitu panitia ISA100.12. Idenya adalah untuk memasukkan ZigBee dan standar Cina yang baru, serta WirelessHART dalam standar ISA100 yang terkonvergensi.

9.2.2 Proposal Sistem Fieldbus Nirkabel

Seperti dijelaskan dalam, pendekatan berbeda dalam cara perangkat saling berhubungan. Dalam kasus yang paling sederhana, semua perangkat milik satu sel nirkabel dan tidak ada koneksi yang dibuat ke segmen kabel. Sementara itu, segmen kabel dan sel nirkabel, dalam pendekatan repeater, dihubungkan bersama oleh repeater yang mengubah sinyal sedikit demi sedikit, atau karakter demi karakter, dari satu media ke media lainnya. Dalam pendekatan jembatan, kontrol akses media yang berbeda digunakan pada segmen kabel meninggalkan sel nirkabel dan dalam pendekatan gateway, perangkat khusus dengan gateway, memungkinkan untuk "melihat" set perangkat nirkabel seolah-olah mereka terhubung ke segmen kabel.

R-Fieldbus

Pada Januari 2000, proyek IST “Fieldbus Nirkabel Kinerja Tinggi di Lingkungan Multimedia terkait Industri (R-FIELDBUS)” telah dimulai. Konsorsium menetapkan target untuk mengembangkan arsitektur Wireless Fieldbus berkinerja tinggi, menyediakan kecepatan data hingga 2 Mbit/s dan waktu respons serupa dengan solusi Fieldbus kabel. Untuk mencapai target ini, teknologi radio kinerja tinggi baru dan protokol komunikasi industri yang ada harus diintegrasikan untuk menyediakan arsitektur Fieldbus nirkabel yang fleksibel. Arsitektur ini harus mampu menangani kebutuhan *real-time* dari data kontrol terdistribusi, untuk mendukung Quality of Service (QoS) yang ditentukan pengguna mengenai layanan multimedia industri, untuk mendukung mobilitas perangkat dan untuk mendukung interoperabilitas dengan infrastruktur komunikasi yang ada. Tindakan utama harus dilakukan untuk desain, pengembangan, implementasi, dan demonstrasi sistem R-FIELDBUS yang diusulkan.

Arsitektur R-Fieldbus adalah salah satu contoh integrasi teknologi nirkabel yang muncul untuk sistem dan jaringan broadband dengan protokol komunikasi industri yang ada seperti yang ditentukan dalam Standar Eropa EN50170. Sistem R-Fieldbus harus menyediakan akses transparan penuh ke setiap informasi yang dibutuhkan di lokasi, seperti data mengenai kontrol waktu nyata dan informasi status, atau transparan terhadap gambar spesifikasi dan informasi multimedia tipe industri lainnya (suara waktu nyata dan suara rendah). R-Fieldbus mendukung perangkat industri bergerak dan interoperabilitasnya dengan perangkat yang ada yang didukung oleh jaringan industri kabel. Subsistem utama dari sistem R-Fieldbus adalah:

1. Lapisan fisik radio berkecepatan tinggi, berkinerja tinggi, dan andal untuk kebutuhan industri penting seperti waktu nyata dan keandalan.
2. Lapisan data link hidup berdampingan dengan ekstensi protokol yang diperlukan untuk layanan tambahan (lalu lintas kontrol terdistribusi real-time, lalu lintas multimedia terkait industri, dll.).
3. Perangkat yang memungkinkan interkoneksi pengaturan R-Fieldbus ke jaringan Wireless Fieldbus di lingkungan industri.

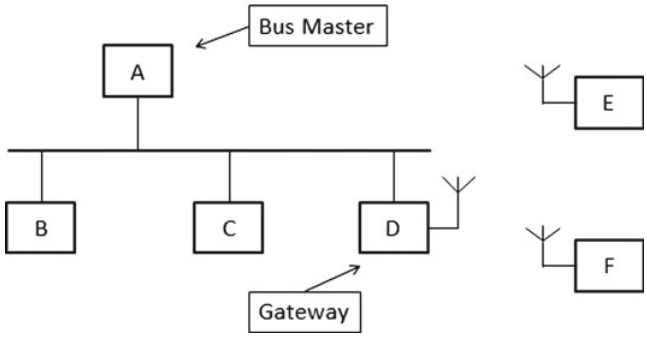
4. Mekanisme QoS untuk menjamin kualitas layanan yang dibutuhkan untuk layanan komunikasi multimedia.
5. Serangkaian layanan pemeliharaan tingkat aplikasi yang mencakup masalah seperti pertukaran data kontrol waktu nyata yang sulit, pertukaran data lalu lintas multimedia industri dan IP seluler, memberikan akses transparan ke sistem informasi manufaktur dan manajemen.
6. Layanan manajemen jaringan tingkat lanjut untuk mendukung persyaratan waktu nyata dan kekokohan yang diperlukan dari Wireless Fieldbus, dengan toleransi kesalahan, keamanan, dan mekanisme keselamatan. Sistem R-Fieldbus dapat diuji dan dievaluasi dalam dua uji coba lapangan yang berbeda berdasarkan aplikasi percontohan. Uji coba ini dapat menunjukkan kelayakan teknis R-Fieldbus di lingkungan industri nyata dan manfaatnya bagi aplikasi pengguna akhir.

WLAN Industri

Dalam studi dan penelitian terbaru, standar IEEE 802.11 untuk jaringan area lokal nirkabel, memiliki kemampuan terbaik untuk aplikasi industri. Standar IEEE 802.11 hanya cocok untuk lapisan bawah dari tumpukan komunikasi; namun, perlu untuk melengkapi tumpukan dengan protokol yang sesuai dalam komunikasi industri. Para peneliti telah mengeksplorasi penggunaan IEEE 802.11 dalam komunikasi industri dengan menganalisis kemungkinan penerapan protokol, berdasarkan arsitektur Master-Slave dari Fieldbus kabel pada IEEE 802.11 Physical dan Data Link Layers.

Penulis menggunakan beberapa set pengukuran tautan nirkabel IEEE 802.11 di lingkungan industri untuk menyimpulkan bahwa perilaku tautan nirkabel dicirikan oleh perilaku saluran nirkabel yang berubah-ubah waktu, kehilangan paket, dan kesalahan bit. Semua arsitektur yang disebutkan di atas telah menggunakan skema polling sederhana untuk pertukaran data siklik dan telah mempertimbangkan tiga teknik berbeda (Terlambat, Saat Ini, dan Segera) untuk menangani permintaan asiklik di saluran AWGN. Namun, node IEEE 802.11 memiliki batasan biaya dan keandalan yang tinggi. Secara umum, banyak node harus dialokasikan di lingkungan industri. Oleh karena itu, Wireless Fieldbus berbasis IEEE 802.11 memiliki masalah karena biaya instalasi dan pemeliharaan yang tinggi.

IEEE 802.15.4 (LR-WPAN)



Gambar 9.3 Jaringan FIP

IEEE 802.15.4 disebut jaringan area pribadi nirkabel tingkat rendah (LR-WPAN). LR-WPAN diusulkan untuk pengumpulan dan kontrol data melalui sensor. Node koordinator LR-WPAN dapat mengatur banyak node dengan jaringan mesh. Setiap node di LR-WPAN memiliki harga yang murah dan sebuah node koordinator dapat mendukung banyak node I/O. Namun, itu tidak dapat menangani lalu lintas waktu nyata campuran secara efisien. Oleh karena itu, transmisi yang efisien dari lalu lintas real-time campuran telah diperlukan.

Protokol Informasi Pabrik (FIP)

Laboratorium Komputasi Industri aktif dalam mempelajari protokol Fieldbus termasuk protokol FIP (*Factory Information Protocol*). Dalam konteks ini, kebutuhan telah diidentifikasi untuk menyediakan akses nirkabel ke sensor dan aktuator jauh melalui FIP Fieldbus, menggunakan modem nirkabel murah yang tersedia secara komersial. Situasi yang ideal adalah sensor dan aktuator yang jauh diintegrasikan ke dalam jaringan FIP dengan cara yang benar-benar transparan, sehingga stasiun dari jaringan FIP diberikan akses ke stasiun yang jauh seperti stasiun lain dalam jaringan, baik terhubung lokal atau nirkabel (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.3).

Sayangnya, bandwidth dan tingkat kesalahan koneksi nirkabel yang tersedia akan menurunkan kinerja Fieldbus secara signifikan. FIP, khususnya, mengharuskan urutan polling dijawab dalam waktu 70-bit dari penerimaannya. Masalah lain adalah bahwa FIP beroperasi dalam mode siaran, di mana setiap stasiun mendengarkan semua yang lain dan menyalin variabel yang dibutuhkan saat ditransmisikan dari produsennya. Dalam lingkungan industri mungkin sangat sulit untuk menyediakan konektivitas *any-to-any* di antara stasiun nirkabel, jauh lebih mudah untuk mengatur konektivitas *one-to-any* di sekitar base station. Gambar 9.3 menunjukkan contoh jaringan FIP yang terhubung dengan bus master A, stasiun tetap dengan sensor/aktuator, B, C, gateway D, dan stasiun nirkabel E dan F. Stasiun nirkabel bertukar variabel secara transparan melalui gateway.

Morel dkk. telah mempelajari beberapa solusi untuk mengintegrasikan node nirkabel ke *FIP Fieldbus*. Solusi pertama adalah *repeater* sederhana yang mengubah dari kabel ke radio dan sebaliknya. Berbagai cara untuk menangani kendala FIP dibahas. Solusi kedua disebut pendekatan "pengulang kata" di mana mereka menggunakan semua frame yang berasal dari segmen kabel yang diulang byte demi byte dengan kode koreksi kesalahan maju tambahan untuk meningkatkan untuk mengurangi tingkat kesalahan bit di sisi nirkabel. Mereka menggunakan kode Golay yang tampaknya menjadi solusi terbaik untuk mengatasi keterbatasan karena waktu *switching transceiver nirkabel.*

Sistem Fieldbus Nirkabel Lainnya

Standar internasional Fieldbus telah menetapkan lapisan fisik radio yang dapat digunakan sebagai pengganti *transceiver* kabel. Selain itu, ada beberapa produk individual yang tersedia yang menggunakan semacam tautan nirkabel. Namun, tidak satu pun dari produk ini adalah standar. Hampir penelitian tentang

Fieldbus, pada awalnya, difokuskan pada definisi layanan dan protokol baru untuk memberikan kualitas layanan yang tepat untuk jenis aplikasi tertentu, dan untuk distribusi sistem kontrol tertentu. Selama beberapa tahun, penelitian ini berorientasi pada kualitas layanan dan desain arsitektur sistem. Dan saat ini, ada dua bidang minat utama. Yang pertama terkait dengan pengembangan aplikasi dan yang kedua didedikasikan untuk definisi layanan baru atau protokol baru. Beberapa topik terkait termasuk pengembangan penggunaan media transmisi baru (sebagai nirkabel) tetapi juga definisi kebijakan manajemen lalu lintas baru.

penelitain yang disajikan oleh Juanole fokus pada pemodelan gabungan dari tumpukan komunikasi dan proses aplikasi untuk mengevaluasi kualitas layanan yang dilihat oleh pengguna akhir, dalam hal aplikasi. Penelitian lain yang dipresentasikan oleh Simonot-Lion dan Elloy didedikasikan untuk Bahasa Deskripsi Arsitektur untuk pengembangan sistem terdistribusi dan tertanam berbasis Fieldbus. Bahasa ini dapat dianggap sebagai proposal yang menarik untuk spesifikasi aplikasi.

9.3 Masalah di Jaringan Fieldbus Nirkabel

Jaringan Area Lokal Nirkabel (WLAN) dan standar PAN Nirkabel (Bluetooth dan ZigBee) menggunakan pita ISM 2,4 GHz tanpa izin. Karena ketergantungan mereka pada pita yang sama, ada potensi interferensi. Percobaan dan pengukuran dievaluasi untuk memenuhi syarat efek interferensi perangkat Bluetooth pada kinerja throughput IEEE 802.11g dan 802.11b. Hasilnya menunjukkan bagaimana 802.11g kebal terhadap interferensi daripada 802.11b ketika kekuatan sinyal WLAN kuat. Packet Error Rate (PER) dari IEEE802.15.4 WPAN tingkat rendah di bawah gangguan IEEE802.11b WLAN dianalisis.

Bit Error Rate (BER) dari IEEE 802.15.4 diperoleh dari modulasi penguncian fase kuadratur offset. Bandwidth IEEE802.11b lebih besar daripada IEEE 802.15.4, daya interferensi in-band IEEE 802.11b dianggap sebagai derau Gaussian putih aditif untuk IEEE 802.15.4. Karena tabrakan, waktu dihitung dengan asumsi bahwa kedua transmisi paket independen. Jika jarak antara IEEE 802.15.4 dan WLAN lebih panjang dari 8 m, interferensi WLAN tidak mempengaruhi kinerja IEEE 802.15.4. Jika offset frekuensi lebih tinggi dari 7 MHz, pengaruh interferensi WLAN dapat diabaikan terhadap kinerja IEEE 802.15.4. Akhirnya, tiga saluran tambahan IEEE 802.15.4 pada 2260, 2350, dan 2470 MHz dapat digunakan untuk saluran koeksistensi di bawah gangguan antara IEEE 802.15.4.

9.3.1 Masalah Konsistensi Teknologi Fieldbus

Ketika pengaturan jaringan kontrol nirkabel menggunakan model komunikasi produsen distributor-konsumen, yang dipastikan oleh Fieldbus nirkabel, komunikasi dipusatkan pada siaran pengenal data yang diakui ke stasiun yang memiliki item data yang diidentifikasi menyiarkan nilai sebenarnya. Jika saluran nirkabel sama untuk setiap pasangan pemancar-penerima paket rusak secara independen dengan kemungkinan yang kuat. Ketika produsen memperoleh pengenal dan menyiarkan nilai data, keandalan spasial kemenangan mengharuskan konsumen memperoleh paket data, yang kemungkinan dengan probabilitas. Untuk mencapai keandalan temporal komparatif, semua sensor harus mengambil sampel proses dalam jendela waktu yang telah ditentukan sebelumnya.

9.3.2 Masalah untuk Protokol Token-Passing

Pengaturan Fieldbus Nirkabel yang mirip dengan PROFIBUS bergantung pada token passing yang didistribusikan untuk mengedarkan hak untuk memulai transmisi di antara sejumlah pengontrol. Area stasiun master berkisar dalam cincin logis di atas media transmisi yang kehilangan berulang dari paket token adalah masalah tanpa hiasan untuk keteguhan cincin logis. Protokol token-passing dengan demikian berfungsi sebagai contoh untuk fakta bahwa seringkali tidak hanya keberadaan kesalahan bit mentah yang penting, tetapi juga karakteristik kesalahannya. Peningkatannya adalah bahwa hak berkomunikasi dapat diberikan kepada setiap stasiun. Kekurangannya adalah ketika beban kecil, token dapat berputar, dalam efektivitas terjadi. Karena ada kehilangan token atau pengulangan token, sistem harus menjadi berbelit-belit.

9.3.3 Masalah dalam Protokol Berbasis CSMA

Sistem fieldbus pada CAN menggunakan protokol berbasis CSMA di mana tabrakan mungkin terjadi. Protokol berbasis CSMA bekerja dengan cara yang tersebar, di mana stasiun yang membutuhkan transmisi terlebih dahulu perlu merasakan media transmisi. Jika media ditentukan untuk menganggur, stasiun mulai mentransmisikan. Banyaknya varian *Carrier Sense Multiple Access (CSMA)* yang ada berbeda dengan apa yang terjadi saat merasakan medium bus. Protokol CAN didasarkan pada mekanisme deterministik untuk menentukan argumen ini. Namun, mekanisme ini sulit digunakan untuk media nirkabel. Ini mempercayai kemampuan stasiun untuk mengirim dan menerima secara bersamaan pada saluran yang sama, yang tidak mungkin dilakukan dengan transceiver nirkabel setengah dupleks.

9.4 Kesimpulan

Dalam bab ini telah disajikan gambaran umum tentang masalah dan isu-isu tentang penerapan teknologi nirkabel pada teknologi Wireless Fieldbus. Pemodelan Fieldbus dengan tujuan pembuktian dan evaluasi kinerja merupakan kepentingan utama untuk kualitas hasil desain aplikasi. Semua makalah sesi ini terkait dengan masalah utama ini. Proposal yang berbeda dalam domain industri dan solusi dijelaskan. Pada titik ini, kami kekurangan solusi yang mencakup semua persyaratan terutama karena solusi kabel yang ada tidak dapat dengan mudah diperluas. Oleh karena itu sulit untuk menawarkan keandalan dan jaminan temporal yang diperlukan kecuali lingkungan dapat dilindungi. Ini membutuhkan solusi menggunakan pita yang dilindungi. Dengan meledaknya proyek di bidang jaringan sensor nirkabel, kita mungkin melihat solusi yang baik dalam waktu dekat.

BAB 10
JARINGAN SENSOR NIRKABEL
UNTUK APLIKASI INDUSTRI

10.1 Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi jaringan sensor nirkabel (WSNs) telah berhasil diterapkan di militer, lingkungan, kesehatan, rumah, dan area komersial lainnya. Dibandingkan dengan sistem pemantauan dan diagnosis kondisi perangkat kabel tradisional, menggunakan nirkabel industri jaringan sensor (IWSNs) memiliki keunggulan yang melekat, seperti biaya yang relatif rendah, dan kemudahan pemasangan dan relokasi.Dengan mengganti pemeriksaan manual berkala dengan pemantauan nirkabel berkelanjutan, diklaim bahwa industri dapat menghemat hingga 18% energi yang dikonsumsi oleh sistem motor Jadi, sistem pemantauan industri berdasarkan IWSNs memiliki banyak keuntungan potensial, meskipun mereka relatif belum dieksplorasi sampai saat ini.

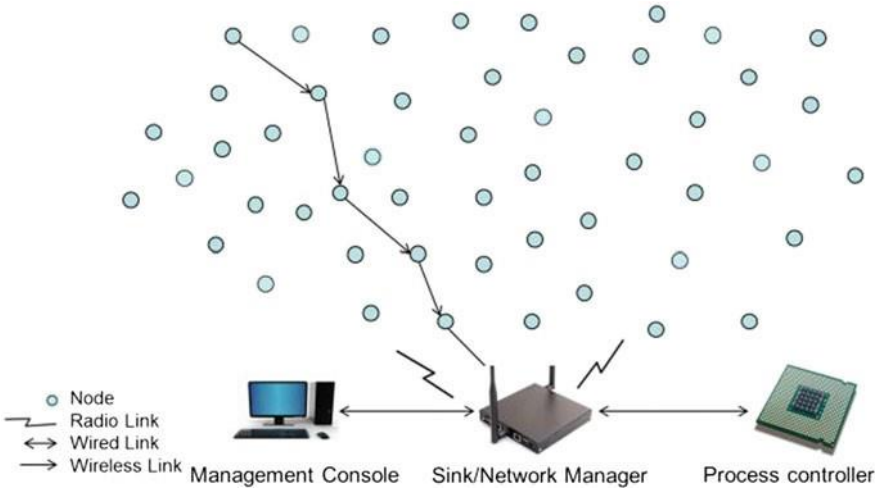
Bab ini berfokus pada penggunaan WSN dalam aplikasi industri yang juga disebut sebagai Industrial Wireless Sensor Networks (IWSN) dan secara khusus mempertimbangkan aplikasi industri untuk sistem kontrol, yang berbeda dari sistem kontrol konvensional. sektor dan sejumlah besar modal diinvestasikan pada kegiatan penelitian untuk mendukung kemajuan teknologi WSN.

Skenario IWSN terpusat umum digambarkan pada Gambar 10.1 dengan node, sink/manajer jaringan, konsol manajemen, dan pengontrol proses Node mengumpulkan data dan mengkomunikasikannya ke sink/manajer jaringan yang pada gilirannya mengomunikasikan data ini ke proses Node dikelola oleh manajer jaringan dan manajer jaringan dapat dikontrol melalui konsol manajemen. Panah hitam menunjukkan jalur di mana node sensor di ujung jauh berkomunikasi ke wastafel melalui node lain. Di segmen otomatisasi kontrol. Dalam jenis jaringan ini, pengontrol proses (aktuator) adalah bagian dari jaringan sensor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.2.

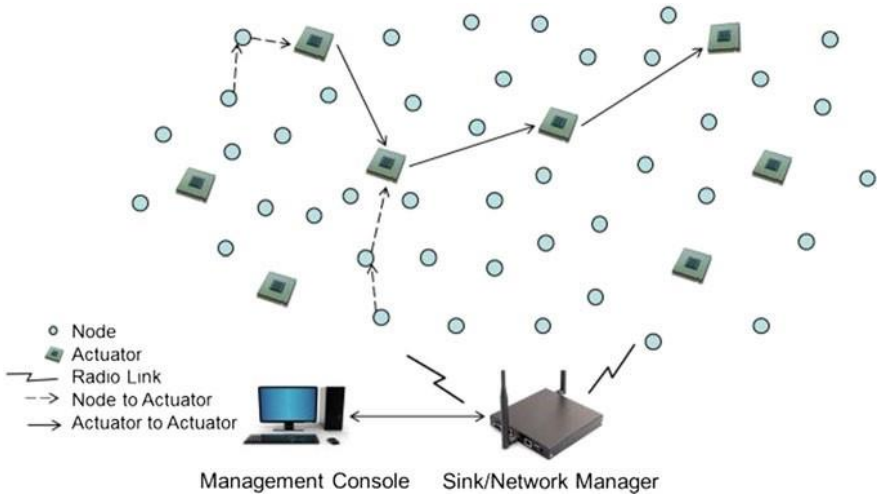
Node mengkomunikasikan data langsung ke aktuator (panah putus-putus) dan aktuator juga mungkin memiliki beberapa komunikasi di antara mereka sendiri (panah padat).

Jaringan ini disebut sebagai jaringan sensor nirkabel dan aktuator (aktor) (WSAN).Aktuator digunakan untuk mengoperasikan unit, misalnya katup dan ini dilakukan berdasarkan data yang dikirim oleh sensor, misalnya, suhu dan tekanan.

Ada berbagai standar nirkabel yang diusulkan untuk digunakan di IWSN, yang paling penting, ZigBee, ISA100.11a , dan WirelessHART Standar ini digunakan dalam berbagai aplikasi IWSN dan dirancang seperti kerangka kerja yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengaturan aplikasi tertentu, karena tidak ditentukan secara ketat pada setiap lapisan tumpukan protokol komunikasi.



Gambar 10.1 Umum IWSN



Gambar 10.2 Jaringan sensor / aktuator nirkabel

10.2 Jaringan Sensor Nirkabel Industri

Menurut International Society of Automation, sistem industri dapat diklasifikasikan ke dalam enam kelas berdasarkan kekritisan data dan persyaratan operasional Kelas-kelas ini berkisar dari sistem kontrol kritis hingga sistem pemantauan, dan persyaratan operasional dan kekritisannya berbeda-beda.

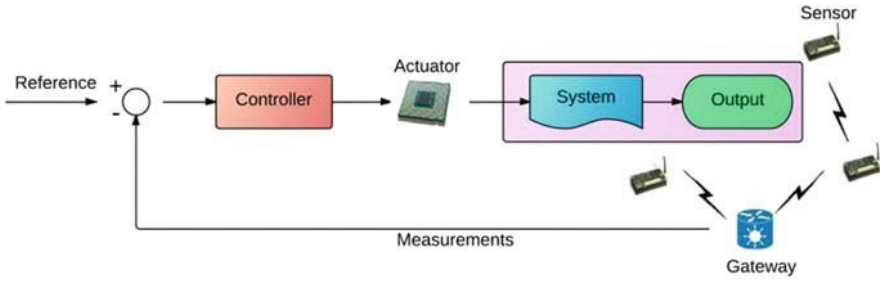
10.2.1 Sistem Keamanan

Sistem di mana tindakan segera (dalam urutan ms atau s) pada peristiwa diperlukan dalam urutan detik, termasuk dalam kelas ini, misalnya, sistem alarm kebakaran. Node WSN disebarkan secara seragam di seluruh area yang menjadi perhatian untuk mencakup seluruh area Node biasanya stasioner.

10.2.2 Sistem Regulasi Loop Tertutup

Node WSN ditempatkan di area yang menjadi perhatian dalam topologi yang diinginkan. Secara berkala dan berdasarkan kejadian, pengukuran dikirim ke pengontrol. Pengukuran berkala sangat penting untuk kelancaran pengoperasian sistem. Sistem ini mungkin memiliki persyaratan waktu yang lebih ketat daripada sistem keamanan. Berdasarkan pengukuran ini, pengontrol membuat keputusan dan mengirimkannya ke

aktuator yang bertindak berdasarkan data ini. Karena persyaratannya yang ketat, rangkaian protokol baru diusulkan untuk kelas sistem ini. Kontrol sederhana loop dengan sensor nirkabel dan aktuator ditunjukkan pada Gambar. 10.3.



Gambar. 10.3 Kontrol loop tertutup nirkabel dengan sensor dan actuator

10.2.3 Sistem Pengawasan Loop Tertutup

Mirip dengan sistem regulasi dengan perbedaan bahwa umpan balik / pengukuran tidak diharapkan secara berkala tetapi dapat didasarkan pada peristiwa tertentu Umpan balik tidak kritis, misalnya, sistem pengawasan yang mengumpulkan data statistik dan bereaksi hanya ketika tren tertentu diamati, yang dapat dikaitkan ke sebuah acara.

10.2.4 Sistem Kontrol Loop Terbuka

Sistem kontrol yang dioperasikan oleh operator manusia, di mana WSN bertanggung jawab untuk pengumpulan data dan menyampaikan data yang dikumpulkan ke database pusat. Operator menganalisis data ini dan melakukan tindakan apa pun jika diperlukan.

10.2.5 Sistem Peringatan

Sistem dengan peringatan reguler/berbasis kejadian.Contohnya adalah WSN untuk pemantauan suhu secara terus-menerus dalam tungku dan peringatan pada tahap yang berbeda untuk menunjukkan bagian dari pekerjaan yang dilakukan.

10.2.6 Sistem Pengumpulan Informasi

Sistem yang digunakan untuk pengumpulan data dan penerusan data ke server. Contohnya adalah node WSN yang ditempatkan di lapangan untuk mengumpulkan data tentang area yang diminati, seperti suhu dan kelembapan, untuk jangka waktu tertentu. Data ini dikumpulkan selama waktu yang lama kemudian dapat digunakan untuk memutuskan rencana jangka panjang untuk mengelola suhu dan kelembapan.

10.3 Standar Industri

IWSN diharuskan memiliki beberapa kualitas dasar: daya rendah, keandalan tinggi, dan penerapan, administrasi, dan pemeliharaan yang mudah. Persyaratan dasar ini mendorong tujuan desain untuk perangkat ini. Berbagai kelompok kerja seperti Wireless Networking Alliance (WINA), ZigBee, Alliance, HART Communication Foundation (HCF), International Society of Automation, dan Chinese Industrial Wireless Alliance telah menetapkan standar untuk IWSN. Standar yang dihasilkan adalah wirelessHART, ZigBee, dan ISA100.11a yang semuanya didasarkan pada IEEE Standar 802.15.4 Dalam bab ini, kita membahas proyek ZigBee ,, wirelessHART, dan ISA100.11a.

ZigBee

ZigBee adalah salah satu teknologi yang mendukung media komunikasi.ZigBee adalah spesifikasi untuk rangkaian protokol komunikasi tingkat tinggi.Teknologi ZigBee adalah kecepatan data yang rendah, konsumsi daya yang rendah, biaya rendah, dan protokol jaringan nirkabel yang ditargetkan untuk otomatisasi dan kendali jarak jauh Aplikasi ini berfokus pada aplikasi Radio Frequency (RF) yang membutuhkan konsumsi daya yang rendah, baterai yang tahan lama, dan jaringan yang aman.

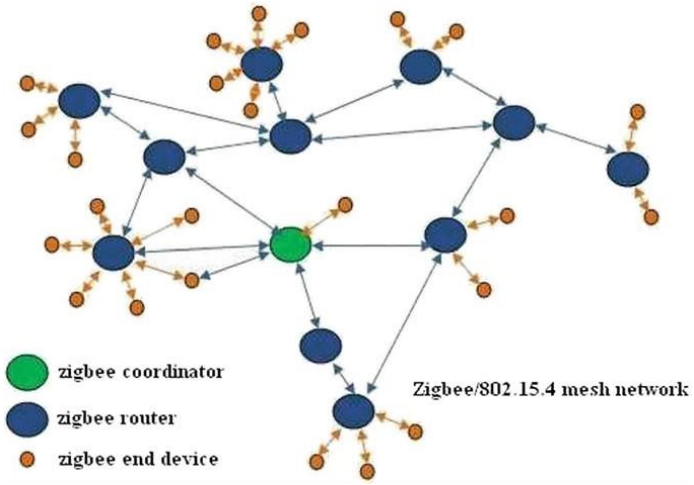
ZigBee mengklasifikasikan keluarga standar IEEE 802.15 dengan Bluetooth (802.15.1) dan UWB (802.15.3) dengan kode standar IEEE 802.4. Kecepatan komunikasi maksimum sekitar 250 kbps, jangkauan komunikasi 10–70 m, dan menggunakan tiga frekuensi pita: 915 MHz (Amerika), 868 MHz (Eropa), 2,4 GHz (Jepang). ZigBee, dan Bluetooth berada dalam keluarga Wireless Personal Area Network (WPAN). Perbedaan antara ZigBee dan Bluetooth terletak pada kecepatan data, jangkauan, dan Kualitas Layanan (QoS) Berdasarkan prinsip kerja, ZigBee memanfaatkan sepenuhnya keunggulan dari radio fisik yang sangat berguna dari standar IEEE 802.15.4, yaitu menambahkan jaringan logika, sistem keamanan, dan perangkat lunak aplikasi.

Perangkat ZigBee terdiri dari tiga jenis:

1. ZigBee Coordinator (ZC): Perangkat yang paling mumpuni, Coordinator membentuk akar dari pohon jaringan dan mungkin menjembatani ke jaringan lain. Ada tepat satu ZigBee Coordinator di setiap jaringan karena itu adalah perangkat yang memulai jaringan awalnya (ZigBee Light) Spesifikasi tautan juga memungkinkan pengoperasian tanpa ZigBee Coordinator, membuatnya lebih dapat digunakan untuk produk rumah yang dijual bebas.Ini menyimpan informasi tentang jaringan, termasuk bertindak sebagai Pusat Kepercayaan dan penyimpanan untuk kunci keamanan.
2. ZigBee Router (ZR): Selain menjalankan fungsi aplikasi, Router dapat bertindak sebagai router perantara, meneruskan data dari perangkat lain.
3. ZigBee End Device (ZED): Berisi fungsionalitas yang cukup untuk berbicara dengan node induk (baik Koordinator atau Router); ia tidak dapat menyampaikan data dari perangkat lain. Hubungan ini memungkinkan node untuk tertidur dalam jumlah waktu yang signifikan sehingga memberikan masa pakai baterai yang lama. ZED membutuhkan jumlah memori paling sedikit, dan oleh karena itu bisa lebih murah untuk diproduksi daripada ZR atau ZC.

Protokol ZigBee saat ini mendukung jaringan beacon dan non-beacon-enabled. Dalam jaringan non-beacon-enabled, mekanisme akses saluran CSMA / CA yang tidak memiliki slot digunakan. Dalam jenis jaringan ini, Router ZigBee biasanya memiliki penerima yang terus aktif, Memerlukan catu daya yang lebih kuat. Namun, ini memungkinkan jaringan heterogen di mana beberapa perangkat menerima terus menerus, sementara yang lain hanya mentransmisikan ketika stimulus eksternal terdeteksi. Contoh khas jaringan heterogen adalah sakelar lampu nirkabel: Node ZigBee di lampu dapat menerima terus-

menerus, karena terhubung ke catu daya, sementara sakelar lampu bertenaga baterai akan tetap tidur sampai sakelar dilempar.



Gambar 10.4 Ikhtisar jaringan ZigBee

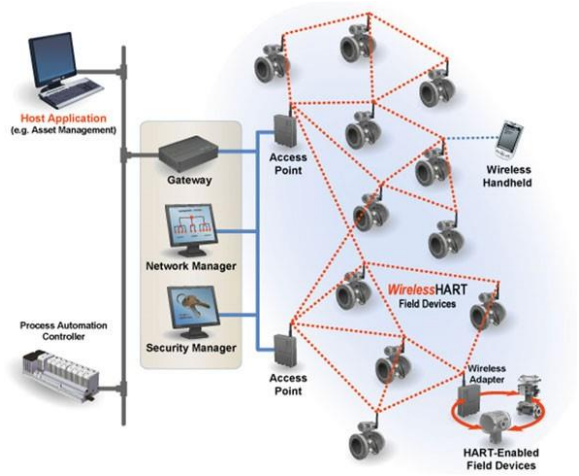
Saklar kemudian bangun, mengirim perintah ke lampu, menerima pengakuan, dan kembali tidur.Dalam jaringan seperti itu node lampu akan menjadi setidaknya Router ZigBee, jika bukan Koordinator ZigBee; node switch biasanya Dalam jaringan yang mendukung suar, node jaringan khusus yang disebut ZigBee Routers mengirimkan suar berkala untuk mengonfirmasi kehadirannya ke node jaringan lain. Node dapat tidur di antara suar, sehingga menurunkan siklus tugasnya dan memperpanjang masa pakai baterainya. Interval suar bergantung pada kecepatan data; dapat berkisar dari 15,36 ms hingga 251,65824 s pada 250 kbit / detik, dari 24 ms hingga 393.216 detik pada 40 kbit / detik, dan dari 48 ms hingga 786.432 s pada 20 kbit / detik. Namun, operasi siklus tugas rendah dengan interval suar yang panjang memerlukan waktu yang tepat, yang dapat bertentangan dengan kebutuhan akan biaya produk yang rendah.

Seperti disebutkan dalam diagram jaringan, jaringan ZigBee disinter dari koordinator (ZC), router ZigBee (ZR) dan perangkat ZigBee akhir (ZE) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.4.

10.3.2 HART Nirkabel

Standar ini didasarkan pada lapisan fisik IEEE 802.15.4, dengan frekuensi operasi 2,4 GHz dan menggunakan 15 saluran berbeda, menggunakan Time Synchronized Mesh Protocol (TSMP) yang dikembangkan oleh Dust Networks untuk kontrol akses menengah dan jaringan. Fungsi lapisan TSMP menggunakan TDMA untuk akses saluran dan memungkinkan channel hopping dan channel blacklisting pada lapisan jaringan Channel hopping adalah teknik di mana transfer data terjadi pada frekuensi yang berbeda pada periode waktu yang berbeda Standar WirelessHART mendukung hingga 15 saluran yang WirelessHART mendukung perutean redundan untuk meningkatkan keandalan. Penggunaan TDMA dengan saluran hopping dan daftar hitam saluran ini telah mengurangi efek interferensi dan kebisingan. Dengan demikian, WirelessHART dianggap kuat, hemat energi, dan andal, tetapi karena ini masih merupakan stan yang muncul WirelessHART dirancang, dikembangkan, dan

distandarisasi dengan mempertimbangkan sistem industri dan mendukung sistem lama yang dibangun di atas kabel HART. Topologi jaringan yang didukung oleh manajer jaringan di WirelessHART adalah Star dan Mesh.



Gambar 10.5 Ikhtisar jaringan WirelessHART

WirelessHART adalah protokol komunikasi jaringan mesh nirkabel untuk aplikasi otomatisasi proses yang menambahkan kemampuan nirkabel ke Protokol HART sambil mempertahankan kompatibilitas dengan perangkat, perintah, dan alat HART yang ada seperti Gambar 10.5.

Setiap jaringan WirelessHART mencakup tiga elemen utama:

1. Perangkat lapangan nirkabel yang terhubung ke peralatan proses atau pabrik. Perangkat ini dapat berupa perangkat dengan WirelessHART yang terpasang di dalamnya atau perangkat berkemampuan HART terpasang yang sudah ada dengan adaptor WirelessHART yang terpasang padanya.
2. Gateway memungkinkan komunikasi antara perangkat ini dan aplikasi host yang terhubung ke backbone berkecepatan tinggi atau jaringan komunikasi pabrik lain yang ada.
3. Manajer Jaringan bertanggung jawab untuk mengonfigurasi jaringan, menjadwalkan komunikasi antar perangkat, mengelola rute pesan, dan memantau kesehatan jaringan. Manajer Jaringan dapat diintegrasikan ke dalam gateway, aplikasi host, atau pengontrol otomatisasi proses.

Jaringan ini menggunakan radio yang kompatibel dengan IEEE 802.15.4 yang beroperasi di pita radio Industri, Ilmiah, dan Medis 2,4 GHz. Radio menggunakan teknologi spektrum sebaran urutan langsung dan lompatan saluran untuk keamanan dan keandalan komunikasi, serta sinkronisasi TDMA, kontrol latensi Komunikasi antar perangkat di jaringan Teknologi ini telah terbukti dalam uji coba lapangan dan instalasi pabrik nyata di berbagai industri kontrol proses Manajer jaringan menentukan rute redundan berdasarkan latensi, efisiensi, dan keandalan Untuk memastikan redundan tetap terbuka dan tidak terhalang, pesan terus berganti di antara jalur yang redundan. Oleh karena itu, seperti internet, jika sebuah pesan tidak dapat mencapai tujuannya dengan satu jalur, pesan tersebut secara

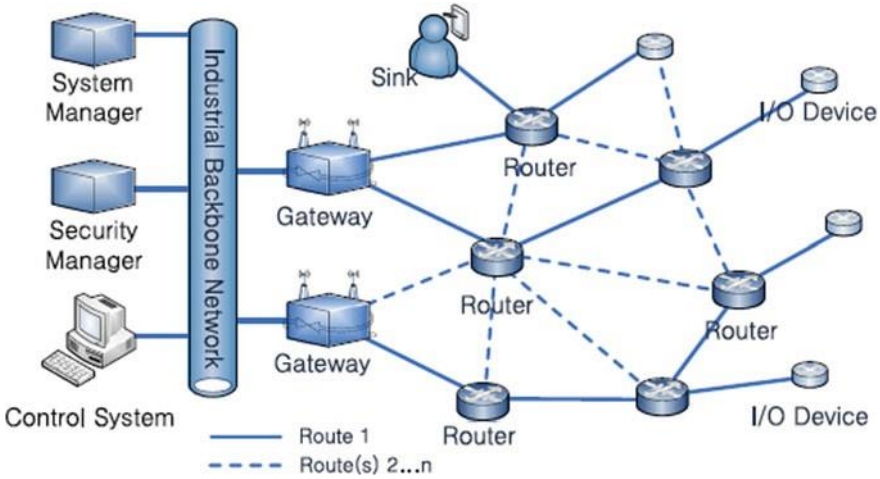
otomatis dialihkan untuk mengikuti jalur yang diketahui baik dan redundan tanpa kehilangan dari data.

10.3.3 ISA100.11a

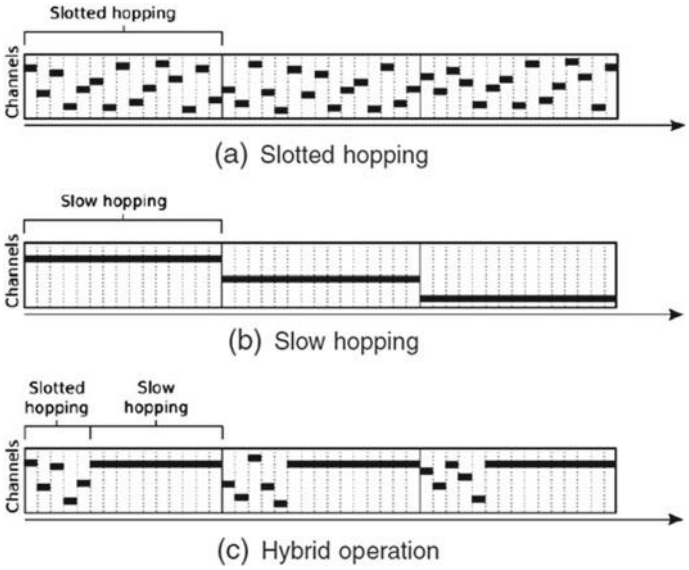
Kelompok kerja ISA100 mengembangkan standar ini untuk menyediakan komunikasi yang kuat dan aman untuk aplikasi dalam otomatisasi proses [9]. Mirip dengan wirelessHART, lapisan fisik didasarkan pada IEEE 802.15.4. ISA100.11a juga menggunakan hopping saluran dan daftar hitam saluran untuk mengurangi efek interferensi. ISA100.11a menerapkan metode yang berbeda untuk saluran hopping seperti hopping lambat, hopping cepat, dan hopping campuran. Pada lapisan data link, menggabungkan TDMA dengan CSMA untuk memanfaatkan keuntungan di kedua solusi.

Secara umum, sistem ISA100.11a yang lengkap terdiri dari tiga bagian: subnet Data Link (DL), Backbone Network (BN), dan Manager Network (MN), seperti yang digambarkan pada Gambar 10.6. Subnet DL adalah Jaringan tulang punggung mencakup router tulang punggung, dan gateway (GW). Akhirnya, MN terdiri dari manajer sistem dan manajer keamanan. Sistem yang sesuai dengan ISA100.11a adalah jaringan terpusat yang diatur oleh MN. Berkat informasi yang dikumpulkan dari seluruh jaringan, MN menyediakan algoritma perutean kemudian memuat tabel perutean ke setiap perangkat di subnet DL. Data dari perangkat lapangan dapat berubah secara langsung ke GW (satu hop) atau dengan bantuan router (multi-hop), seperti yang diputuskan oleh MN.

Lapisan fisik perangkat ISA100.11a menggunakan perangkat keras transmisi radio IEEE 802.15.4-2006. Bahkan, ISA100.11a hanya menggunakan 16 saluran (dari 11 hingga 26), yang beroperasi pada kecepatan maksimum 250 kbps dengan saluran melompat. Selama operasi, sumbu waktu setiap perangkat dipecah menjadi slot yang biasanya bervariasi dari 10 hingga 12 ms. Durasi slot waktu ini dalam subnet DL diatur ke nilai tertentu oleh MN saat perangkat bergabung dengan jaringan.



Gambar 10.6 Jaringan mesh ISA100.11a dengan tulang punggung



Gambar 10.7 Tiga operasi alternatif dari satu subnet ISA100.11a: a slotted hopping, b slow hopping, dan c operasi hybrid

Agar kompatibel dengan WirelessHART, 10 ms adalah nilai tipikal untuk durasi slot waktu; namun, pemeran duo dapat melibatkan peningkatan durasi slot waktu sekitar 1-2 ms. Dengan total 16 saluran, topologi ISA100.11a mendukung tiga operasi alternatif umum dalam satu subnet: slotted channel hopping, slow channel hopping, dan metode hybrid yang menggabungkan dua metode pertama, seperti yang digambarkan pada Gambar 10.7. Dengan metode slotted hopping, setiap slot waktu menggunakan saluran radio yang berbeda untuk mengakomodasi transaksi tunggal (dengan) opsional pengakuan).

Pada lapisan jaringan, kompatibilitas dengan IPv6 memberikan peluang bagi pengguna untuk terhubung ke Internet, sehingga memberikan kemungkinan yang beragam. Standar ISA mendukung integrasi dengan protokol lama seperti HART berkabel. Selain itu, ISA juga menyediakan antarmuka untuk memfasilitasi koeksistensi dengan HART nirkabel.

Berdasarkan ringkasan standar nirkabel tercanggih, kami membahas beberapa kemajuan terkini dan pangsa pasar saat ini. Di antara semua standar ini, wirelessHART dan ISA100.11a adalah dua standar utama dan mendominasi yang sudah ada di pasar. kompetisi, Hart Communication Foundation (HCF) dan International Society of Automation (ISA) telah sepakat untuk berkolaborasi bersama untuk menghasilkan satu standar tunggal yang diturunkan dari wirelessHART dan ISA100.11a. Sebuah subkomite bernama ISA100.12 telah dibentuk untuk menyelidiki kemungkinan konvergensi Konvergensi dapat menghasilkan standar global dengan positif dari kedua standar ini dan solusi IWSN yang lebih baik.

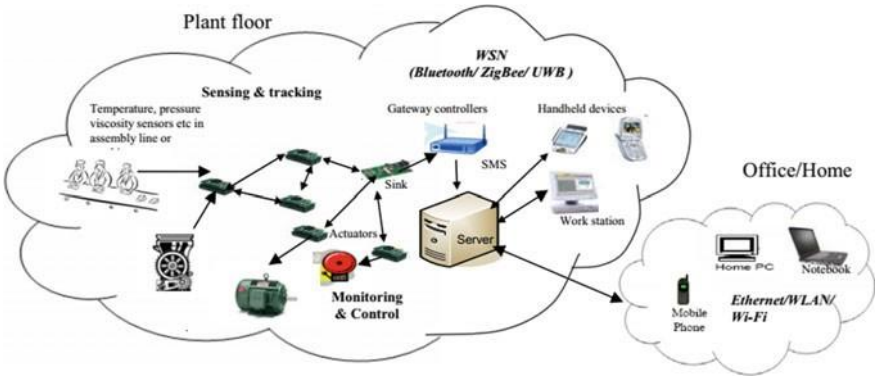
10.4 Jaringan Sensor Nirkabel untuk Aplikasi Industri

Dengan demikian, WSN dapat digunakan untuk deteksi kejadian langka atau kolaborasi data berkala untuk aplikasi industri. Dalam pendeteksian kejadian langka, sensor digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kejadian langka, acak, dan singkat, seperti alarm dan pemberitahuan deteksi kesalahan karena perubahan penting. Di sisi lain, pengumpulan data berkala diperlukan untuk operasi seperti pelacakan aliran material,

pemantauan kesehatan peralatan / proses. Aplikasi pemantauan dan kontrol tersebut, mengurangi biaya tenaga kerja, kesalahan manusia, dan mencegah waktu henti produksi yang mahal.

Pabrikan, saat ini, berinvestasi dalam teknologi nirkabel untuk memungkinkan para insinyur memperoleh dan mengontrol data real-time dari jaringan sensor / aktuator nirkabel pabrik kapan saja, di mana saja. Lingkungan tunggal menjadi umum saat ini. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 10.8, sistem kontrol dan pemeliharaan proses real-time dilengkapi dengan sensor nirkabel / jaringan aktuator di lantai pabrik dan dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak perusahaan back end serta layanan web internet.

Data dapat dimasukkan atau diperoleh sementara peringatan / alarm dapat diberitahukan melalui SMS atau email ke teknisi di kantor atau lokasi terpencil. Memasukkan teknologi komunikasi jarak pendek seperti ZigBee / Bluetooth ke dalam sistem otomasi akan memungkinkan para insinyur untuk mengumpulkan dan mengontrol data sensor / aktuator waktu nyata dari lantai pabrik, dan perangkat genggam yang mendukung internet seperti ponsel / PDA untuk terhubung dengan dunia luar (Internet) memungkinkan komputasi di mana-mana dalam sistem otomasi industri. perangkat dan teknologi yang berbeda bersama-sama memberikan kemungkinan kekuatan leverage dari satu dan lainnya sehingga menghasilkan sistem otomatis yang efisien.



Gambar 10.8 Jaringan industri

10.4.1 Robot Bergerak Industri

Robot bergerak otonom telah digunakan secara luas di industri. Mereka sangat cocok untuk aplikasi yang rumit, berisiko, berat, dan tugas yang berulang. Sebagian besar robot yang digunakan di industri bersifat tetap dan berdedikasi seperti pemuatan mesin, pengelasan, perakitan / pembongkaran, dll. Penggunaan robot seluler cerdas dan jaringan nirkabel sedang dieksploitasi dalam beberapa tahun terakhir. Tidak seperti navigasi tradisional yang menggunakan sensor tertanam terbatas dan objek tengara untuk menghindari rintangan di jalur, sensor, dan prosesor dilengkapi pada robot Interaksi antara sensor di lapangan, sensor yang dipasang pada robot, laptop, dan manusia meningkatkan persepsi lingkungan dari ruang kerja dengan navigasi bebas tabrakan.

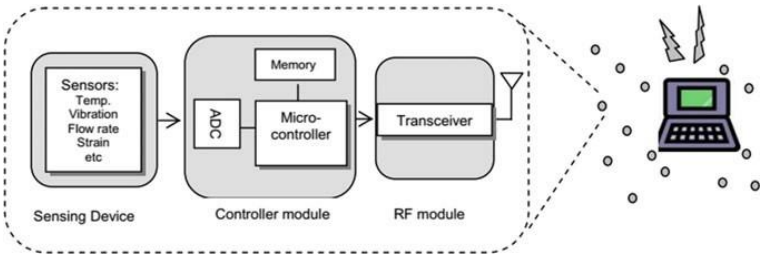
Alokasi tugas multi-robot digunakan di mana tugas dialokasikan secara eksplisit ke robot oleh jaringan sensor statis yang digunakan kembali.Dengan cara ini, robot dapat menavigasi secara efisien di seluruh ruang kerja menggunakan jaringan sensor yang

digunakan untuk menjelajahi lingkungan mereka. Aplikasi potensial termasuk memindahkan tumpukan kontainer antara ruang mesin dan gudang, robot pembersih lantai industri, robot patroli di area yang tidak diawasi, atau pembersihan limbah beracun, dll. Robot bergerak juga dapat digunakan untuk mengkalibrasi, mengkalibrasi ulang, atau mengirimkan daya ke sensor secara keseluruhan. robot penjaga / layanan dari jaringan sensor nirkabel. Robot bergerak yang dilengkapi dengan sensor yang dikalibrasi akan mengunjungi lapangan untuk mengumpulkan data dari banyak sensor dan memutuskan apakah sensor perlu dikalibrasi ulang.

10.4.2 Manajemen Inventaris Waktu Nyata

Sistem manajemen persediaan berdasarkan proses manual dapat menyebabkan situasi kehabisan stok, pengiriman dipercepat, perlambatan produksi, persediaan buffer berlebih, dan situasi penundaan penagihan. Dengan teknologi WSN, inventaris dan aset dapat dipantau secara *real time* dan informasi seperti kedatangan dari bahan mentah, dll., dapat dialihkan melintasi jarak yang jauh ke pintu gerbang untuk pengambilan keputusan dan pengendalian manajemen.

General Motors menerapkan sistem pelacakan persediaan real-time. Proses pelacakan persediaan mulai dari pemasok komponen, hingga mobil yang dirakit di pabrik, dealer mobil dan sampai pembeli mobil. Pelacakan persediaan secara real time dengan WSN meningkatkan visibilitas material, lokasi dan pemanfaatan asetnya, mengurangi pencurian, menyediakan kemampuan untuk segera menemukan peralatan dan pada akhirnya meningkatkan efisiensi rantai pasokan.



Gambar 10.9 Pemantauan kondisi mesin

10.4.3 Pemantauan Proses dan Peralatan

WSN dapat digunakan untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh terhadap kesehatan mesin tanpa kebutuhan infrastruktur untuk pemasangan kabel. Dengan terus memantau suhu, tekanan, getaran, dan penggunaan daya, dll., seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.9, produsen dapat mengurangi biaya yang tidak perlu Grup proyek EcoSense Intel menerapkan aplikasi pemeliharaan preventif percontohan yang menggunakan jaringan sensor nirkabel untuk memantau kesehatan peralatan fabrikasi manufaktur.

Dengan sistem pemantauan waktu nyata yang maju ini, tanda getaran air. Peralatan pemurnian dianalisis dan datanya digunakan untuk operasi pemeliharaan preventif. Dalam penerapan uji coba lainnya, Intel dan BP juga telah berkolaborasi dan berhasil melakukan

eksperimen WSN pada kapal tanker minyak mentah di Skotlandia untuk memantau getaran mesin guna mendukung pemeliharaan preventif. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa WSN dapat berfungsi dengan baik di lingkungan kapal yang tidak bersahabat di mana ia harus o tahan terhadap suhu ekstrem, getaran besar, dan kebisingan RF yang signifikan.

Menurut Departemen Energi Amerika Serikat, motor listrik di industri mengkonsumsi 23% energi di industri AS.Untuk mengatasi penggunaan energi yang begitu besar, Departemen telah menugaskan sebuah proyek untuk mengembangkan nirkabel yang dapat dikonfigurasi sendiri dengan biaya rendah. Informasi transmisi nirkabel ini kemudian akan digunakan oleh sistem manajemen energi jaringan untuk jaringan sensor untuk menerapkan sistem pemantauan dan diagnostik untuk digunakan pada motor listrik.Sensor akan memiliki kecerdasan yang tertanam dan dapat mengukur parameter seperti tegangan, arus, dan suhu. pengendalian pembangkit. Ditargetkan pengurangan energi sebesar 5% bila diterapkan dengan sukses.

10.4.4 Pemantauan Lingkungan

Penginderaan nirkabel dapat digunakan untuk memberikan solusi dalam industri untuk deteksi kebocoran, pelaporan iklim, pemeriksaan radiasi, pemberitahuan intrusi, dll. Peringatan darurat dapat dikirim ke manajer operasi yang meminta tindakan pencegahan segera. Dengan WSN, keberadaan atau pergerakan kelainan seperti bahan kimia beracun, biologi, zat radioaktif atau personel yang tidak berwenang dapat dilacak di seluruh fasilitas.

Kebocoran cairan dan gas yang mudah terbakar seperti amonia, klorin, dll., di pabrik petrokimia dapat menyebabkan kerugian besar, risiko bagi publik, dan emisi berbahaya bagi lingkungan. Banyak perusahaan minyak dan gas sekarang menguji coba WSN dan berencana untuk menyebarkannya secara luas Dengan sensor nirkabel, setelah kebocoran terdeteksi, tindakan responsif dapat diaktifkan seperti peringatan darurat kepada operator, mematikan mesin secara otomatis atau memicu alarm sprinkler, dll.

Menjalankan kabel di lingkungan berbahaya tidak praktis dan juga sangat mahal Untuk melakukan fungsi kritis di lingkungan yang sensitif dan keras seperti uji propulsi, WSN digunakan oleh NASA untuk menyediakan penginderaan jauh dan pemantauan mesin pengujian dengan keandalan dan akurasi tinggi. Parameter yang dipantau meliputi akustik, regangan, tingkat getaran, tingkat vakum, suhu, dll.

Sistem berbasis jaringan sensor nirkabel dari pencatatan suhu otomatis tangkapan ikan telah berhasil diuji di lepas pantai Irlandia. Tujuannya adalah untuk meningkatkan keamanan pangan dan juga keterlacakan rantai. Untuk implementasinya, kotak ikan individu Informasi yang telah diproses kemudian ditransmisikan ke server komputer di darat secara real time melalui modem GSM. Dilengkapi dengan sensor node yang mentransmisikan data suhu dan identifikasi node secara berkala ke base station di kapal.

10.5 Kesimpulan

Jaringan sensor nirkabel memberi industri pelacakan waktu nyata dan kemampuan pemantauan / kontrol jarak jauh pada sistem atau perangkat. Untuk beberapa pabrik besar, ada kebutuhan kantor pusat untuk melacak dan mencatat lokasi dan status peralatan di lantai produksi. Juga diperlukan untuk melacak karyawan dan pengunjung, biasanya dengan

akurasi lebih dari 1 m. Solusi saat ini menggunakan WiFi untuk komunikasi data dan sistem terpisah untuk menemukan peralatan dan personel. Sistem UWB dapat menyelesaikan kebutuhan komunikasi dan lokasi, mungkin sebagai bagian dari sistem hierarkis di mana lokasi UWB dan sistem komunikasi dipasang untuk setiap lantai dan terhubung melalui WiFi untuk seluruh pabrik. Bab ini menyajikan beberapa aplikasi industri yang memanfaatkan jaringan sensor nirkabel. Bab ini menyoroti teknologi nirkabel dan tren standarisasinya untuk proses otomatisasi dijelaskan. Memperkenalkan teknologi nirkabel ke pabrik dan pabrik akan red mengurangi biaya produksi dan meningkatkan produktivitas lebih dan lebih.

BAB 11
PROTOKOL MAC UNTUK JARINGAN SENSOR NIRKABEL HEMAT ENERGI

11.1 Pendahuluan

Peningkatan teknologi perangkat keras telah menghasilkan node sensor berbiaya rendah, yang terdiri dari satu chip yang disematkan dengan memori, prosesor, dan transceiver. Kapasitas daya yang rendah menyebabkan cakupan dan jangkauan komunikasi yang terbatas untuk node sensor dibandingkan dengan perangkat seluler lainnya. Oleh karena itu, misalnya, dalam aplikasi pelacakan target dan pengawasan perbatasan, jaringan sensor harus menyertakan sejumlah besar node agar dapat mencakup area target dengan sukses.

Tidak seperti jaringan nirkabel lainnya, biasanya sulit atau tidak praktis untuk mengisi / mengganti baterai yang habis. Itulah sebabnya tujuan utama dalam desain jaringan sensor nirkabel adalah memaksimalkan masa pakai node / jaringan, meninggalkan metrik kinerja lainnya sebagai tujuan sekunder. Sejak komunikasi node sensor akan lebih memakan energi daripada perhitungannya, itu adalah perhatian utama untuk meminimalkan komunikasi sambil mencapai operasi jaringan yang diinginkan.

Namun, keputusan akses menengah dalam jaringan padat yang terdiri dari node dengan siklus tugas rendah adalah masalah yang menantang yang harus diselesaikan dengan cara yang hemat energi.Dengan mengingat hal ini, pertama-tama kami menekankan fitur khas jaringan sensor, termasuk alasan kemudian, kami memberikan definisi singkat untuk protokol kontrol akses menengah (MAC) kunci yang diusulkan untuk jaringan sensor, daftar kelebihan dan kekurangannya.Selain itu, protokol yang mengusulkan integrasi lapisan MAC dengan Akhirnya, survei protokol MAC diakhiri dengan perbandingan protokol diselidiki dan arah masa depan disediakan untuk peneliti berkaitan dengan isu-isu terbuka yang belum dipelajari secara menyeluruh.

11.2 Properti Jaringan Sensor Terkait Lapisan MAC

Memaksimalkan masa pakai jaringan adalah tujuan umum dari penelitian jaringan sensor, karena node sensor diasumsikan mati saat kehabisan baterai. Dalam keadaan ini, protokol MAC yang diusulkan harus hemat energi dengan mengurangi potensi pemborosan energi yang disajikan di bawah ini. pola komunikasi yang diamati dalam aplikasi jaringan sensor harus diselidiki, karena pola ini menentukan perilaku lalu lintas jaringan sensor yang harus ditangani oleh protokol MAC yang diberikan Kategorisasi pola komunikasi yang mungkin diuraikan, dan protokol MAC yang diperlukan properti yang cocok untuk lingkungan jaringan sensor disajikan.

11.2.1 Alasan Pemborosan Energi

Ketika sebuah node menerima lebih dari satu paket pada saat yang sama, paket-paket ini disebut bertabrakan, bahkan ketika mereka bertepatan hanya sebagian.Semua

paket yang menyebabkan tabrakan harus dibuang dan transmisi ulang dari paket-paket ini diperlukan, yang meningkatkan konsumsi energi. Meskipun beberapa paket dapat dipulihkan dengan efek penangkapan, sejumlah persyaratan harus dicapai untuk pemulihan yang sukses. Alasan kedua untuk pemborosan energi adalah pendengaran, yang berarti bahwa sebuah node menerima paket yang ditujukan ke node lain. Pemborosan energi ketiga terjadi Sejumlah minimal paket kontrol harus digunakan untuk membuat transmisi data Salah satu sumber utama pemborosan energi adalah mendengarkan idle, yaitu mendengarkan saluran yang tidak digunakan untuk menerima kemungkinan lalu lintas Alasan terakhir pemborosan energi adalah overemitting , yang disebabkan oleh pengiriman pesan ketika node tujuan tidak siap. Mengingat fakta di atas, a benar des protokol MAC yang ditandatangani harus mencegah pemborosan energi ini.

11.2.2 Pola Komunikasi

Kulkarni mendefinisikan tiga jenis pola komunikasi dalam jaringan sensor nirkabel: siaran, konvergensi, dan gosip lokal.Pola siaran umumnya digunakan oleh stasiun pangkalan (sink) untuk mengirimkan beberapa informasi ke semua node sensor jaringan Informasi yang disiarkan dapat mencakup kueri arsitektur pemrosesan kueri sensor, pembaruan program untuk node sensor, atau paket kontrol untuk keseluruhan sistem. Pola komunikasi siaran tidak boleh disamakan dengan paket siaran. Untuk yang pertama, semua node jaringan dimaksudkan penerima, yang terakhir, penerima yang dimaksud adalah node dalam jangkauan komunikasi dari node transmisi.

Dalam beberapa skenario, sensor yang mendeteksi suatu peristiwa berkomunikasi satu sama lain secara lokal. Pola komunikasi semacam ini disebut gosip lokal, di mana sensor mengirim pesan ke node tetangganya dalam suatu jangkauan. Setelah sensor mendeteksi suatu peristiwa, mereka perlu Pola komunikasi itu disebut konvergencast, di mana sekelompok sensor berkomunikasi dengan sensor tertentu. Node tujuan bisa menjadi kepala cluster, pusat fusi data, atau base station. Dalam protokol yang mencakup pengelompokan, kepala cluster berkomunikasi dengan anggota mereka dan dengan demikian penerima yang dimaksud mungkin tidak semua tetangga dari kepala cluster, tetapi hanya sebagian dari tetangga.

11.2.3 Properti dari Protokol MAC yang Didefinisikan dengan Baik

Untuk merancang protokol MAC yang baik untuk jaringan sensor nirkabel, atribut berikut harus dipertimbangkan. Atribut pertama adalah efisiensi energi. Oleh karena itu, protokol hemat energi didefinisikan untuk memperpanjang masa pakai jaringan. Atribut penting lainnya adalah skalabilitas dan adaptasi terhadap perubahan Perubahan ukuran jaringan, kepadatan node, dan topologi harus ditangani dengan cepat dan efektif untuk adaptasi yang berhasil Beberapa alasan di balik perubahan properti jaringan ini adalah umur node yang terbatas, penambahan node baru ke jaringan, dan variasi Interferensi, yang dapat mengubah konektivitas dan topologi jaringan. Protokol MAC yang baik harus mengakomodasi perubahan jaringan tersebut. Atribut penting lainnya seperti latensi, throughput, dan pemanfaatan bandwidth mungkin sekunder dalam jaringan sensor. Berlawanan dengan jaringan nirkabel lainnya, keadilan di antara node sensor biasanya bukan merupakan tujuan desain, karena semua node sensor berbagi tugas yang sama.

11.3 Pertimbangan Akses Ganda dalam Properti Jaringan Sensor

Jaringan sensor mempertimbangkan kebutuhan komunikasi kumpulan perangkat nirkabel, dan bukan hanya desain tautan radio tunggal.Algoritme dan protokol yang digunakan perangkat jaringan untuk berkomunikasi secara efisien adalah topik bagian ini.

Dalam jaringan nirkabel, cara perangkat mengakses dan menggunakan media transmisi (dalam hal ini, saluran nirkabel) disebut akses ganda; dalam terminologi IEEE 802, ia berada di bawah cakupan sublapisan Kontrol Akses Ganda (MAC). Semua perangkat di jaringan harus berbagi saluran nirkabel karena komunikasi nirkabel secara inheren merupakan skema komunikasi siaran dan sinyal yang dikirim oleh satu pemancar terdengar di beberapa lokasi.Dengan demikian, tujuan utama MAC adalah membatasi / meminimalkan gangguan di dalam jaringan. Ada beberapa metode terkenal di mana perangkat nirkabel dapat berbagi saluran. Ini biasanya melibatkan transmisi sinyal yang ortogonal dalam satu atau lebih dimensi seperti waktu, frekuensi, atau kode.

11.3.1 Topologi Jaringan

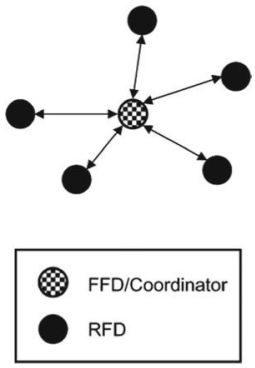
Untuk diskusi lebih lanjut tentang akses ganda, pembaca dapat merujuk ke Gambar 11.1, yang menggambarkan jaringan bintang sederhana yang terdiri dari enam node Menggunakan terminologi IEEE 802.15.4, kumpulan node ini disebut PAN, dan diasumsikan menjangkau a kecil (10 m) wilayah geografis.Selain itu, ada dua jenis node didefinisikan dalam standar, FFD dan RFD.

Dari kontrol PAN dan sudut pandang multi-akses, FFD berisi perangkat lunak yang memungkinkan inisiasi PAN, pembentukan jaringan, dan kontrol saluran nirkabel untuk beberapa akses di antara RFD.

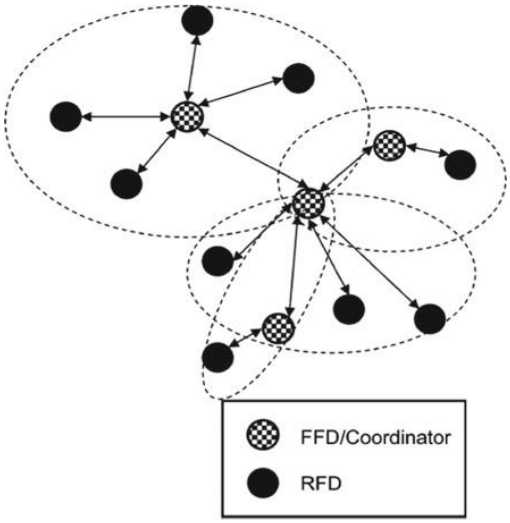
Sebuah FFD sering disebut sebagai "koordinator" karena kemampuannya untuk menyediakan fungsi di atas. Pada gambar, node FFD digambarkan di tengah PAN sedangkan node RFD ditampilkan di sekitar koordinator. Panah menunjukkan bahwa perangkat RFD secara logis terkait dengan koordinator dan mengandalkannya untuk layanan akses ganda dan transportasi data.

Gambar 11.2 menunjukkan contoh lain dari topologi jaringan sensor, biasanya disebut sebagai jaringan pohon.Pada gambar ini, kita kembali mempertimbangkan perangkat FFD dan RFD seperti pada Gambar 11.1.

Jaringan pohon dapat dilihat sebagai penggabungan jaringan bintang (digambarkan dengan lingkaran putus-putus) di mana jaringan bintang dihubungkan bersama dengan menghubungkan FFD di setiap bintang bersama-sama.Perhatikan di sini bahwa data mungkin perlu dirutekan melalui beberapa lompatan jika perangkat ingin untuk berkomunikasi di luar jaringan bintang lokal mereka. Topologi ketiga yang perlu dipertimbangkan adalah topologi mesh, yang mirip dengan topologi pohon multi-hop tetapi dengan penambahan beberapa tautan di antara perangkat. (Dalam jaringan pohon, hanya ada satu jalur antara dua perangkat.) Topologi mesh pada Gambar 11.3 memberikan keandalan ke jaringan dalam bentuk jalur redundan di antara perangkat sehingga, jika terjadi kegagalan perangkat atau tautan, data dapat dirutekan ulang.



Gambar 11.1 Jaringan sensor sederhana dengan topologi star



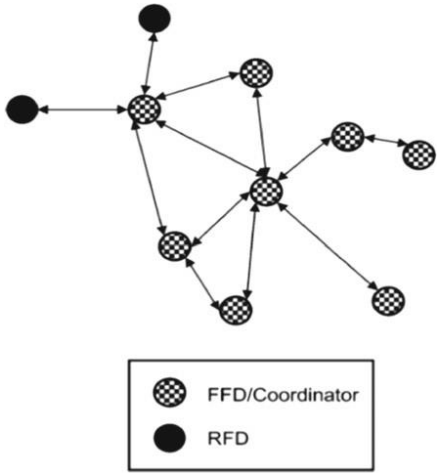
Gambar 11.2 Jaringan sensor dengan topologi pohon

Ketika mempertimbangkan metode akses ganda, akan berguna untuk memahami bagaimana topologi mempengaruhi persyaratan akses ganda.Biasanya, topologi sederhana mengarah ke desain akses ganda sederhana karena lebih sedikit perangkat yang mengakses saluran dan dengan demikian lebih sedikit kemungkinan interferensi di antara saluran. Lebih penting lagi, topologi sederhana dapat menawarkan kemampuan untuk mengontrol akses pada titik pusat; seperti halnya jaringan bintang di mana perangkat FFD tunggal mengontrol waktu transmisi. Topologi yang lebih kompleks memerlukan perencanaan akses saluran yang lebih hati-hati untuk meminimalkan gangguan, tetapi mereka memungkinkan cakupan area yang lebih besar oleh satu jaringan bahkan dengan daya pancar yang sangat terbatas, seperti halnya jaringan UWB.

Mengingat topologi yang dijelaskan di atas, kita sekarang siap untuk membahas berbagai teknik akses ganda. Pertama, mari kita bedakan antara dua kategori besar teknik akses ganda: terpusat dan terdesentralisasi. Dalam skema akses terpusat, node tunggal atau subset kecil dari node bertanggung jawab untuk mengontrol transmisi perangkat lain dalam jaringan. Dalam skema desentralisasi, setiap node bertanggung jawab untuk memutuskan apakah dan kapan harus mengirim pada saluran. Biasanya skema terpusat menawarkan efisiensi dan keandalan yang lebih baik karena tabrakan dapat lebih mudah dihindari, tetapi hal ini mengakibatkan peningkatan kompleksitas pada node yang mengontrol akses serta

kebutuhan akan informasi di seluruh jaringan mengenai kebutuhan komunikasi setiap node dalam jaringan. kontrol yang kuat, sehingga node memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk mengakses saluran Skema terdistribusi biasanya diwujudkan melalui pendekatan berbasis jabat tangan.

Jabat tangan dapat mencegah tabrakan, tetapi perhatikan bahwa pesan tambahan untuk berjabat tangan perlu ditransmisikan. Perangkat memulai permintaan untuk mengirim / menghapus untuk mengirim (RTS / CTS) pertukaran pada saluran umum dengan tujuannya. Jika saluran tersedia, Pembaca dirujuk untuk survei terperinci tentang kontrol akses menengah di jaringan nirkabel pita lebar ultra.



Gambar 11.3 Jaringan sensor dengan topologi mesh

11.3.2 Akses Ganda Pembagian Waktu (TDMA)

TDMA adalah skema terpusat di mana hanya satu perangkat mentransmisikan pada interval waktu tertentu. Kami pada dasarnya memiliki sinyal yang ortogonal dalam waktu; ini dicapai dengan membagi sumbu waktu menjadi interval transmisi diskrit yang tidak tumpang tindih dan menetapkan interval ke perangkat jaringan tertentu. tujuan dari jaringan sensor, TDMA dalam definisi yang ketat ini belum tentu layak. Hal ini disebabkan fakta Untuk jaringan kecil yang terdiri dari beberapa perangkat semua dalam jangkauan komunikasi, sinkronisasi adalah mungkin. Bahwa untuk mengkoordinasikan sepenuhnya waktu transmisi dari beberapa perangkat, referensi waktu global diperlukan, yaitu, jaringan perlu disinkronkan. Namun, dalam banyak skenario yang dibayangkan untuk jaringan sensor, sinkronisasi seluruh jaringan dan dengan demikian TDMA tidak dipertimbangkan.

Masalah lain dengan hubungan TDMA Agar node pengontrol dapat menetapkan slot secara efisien, node tersebut harus memiliki informasi mengenai jumlah data yang ingin dikirimkan oleh setiap node jaringan. Beberapa teknik telah dikembangkan untuk mengirimkan informasi tersebut ke node pengontrol. Pendekatan sederhana adalah koordinator harus polling setiap perangkat untuk memastikan beban lalu lintasnya saat ini, dan kemudian, ia dapat menyesuaikan panjang slot TDMA berikutnya. Namun, ketika hanya sebagian node yang memiliki data untuk dikirim, pertukaran pesan polling membuang bandwidth jaringan. umumnya kasus dengan sistem TDMA di mana ada tradeoff antara

jumlah efisiensi penjadwalan yang dapat dicapai dan jumlah informasi kontrol yang harus dilewatkan antara FFD dan RFD.

11.3.3 Carrier-Sense Multiple Access (CSMA) dan ALOHA

CSMA dapat dilihat sebagai versi terdistribusi dari TDMA. Dalam skema ini, setiap node dalam jaringan berusaha untuk menghindari bertabrakan dengan transmisi lain. Ide dasarnya adalah bahwa setiap node merasakan saluran nirkabel sebelum mengirimkan paket untuk menentukan apakah saluran tersebut Sedang digunakan Jika saluran idle, node kemudian dapat mengirimkan paketnya, jika tidak, node menunggu untuk jangka waktu yang panjang secara acak dan mengulangi penginderaan dan transmisi Jadi CSMA mencoba untuk mengatur transmisi dalam interval waktu tabrakan Kelebihan Ini menghilangkan kebutuhan untuk penjadwalan yang rumit. Namun, CSMA mengalami beberapa masalah yang terkenal. Skema CSMA melalui TDMA adalah bahwa ia didistribusikan. Selain itu, setiap node akan mencoba mengakses saluran hanya jika datanya siap untuk transmisi. Pertama dan terpenting adalah masalah "terminal tersembunyi" di mana sebuah node yang merasakan saluran mungkin tidak berada dalam jangkauan radio dari semua node dalam jaringan.

Jadi, meskipun sebuah node dapat menentukan bahwa saluran sedang menganggur dan mengirimkan, komunikasi dapat terjadi di tempat lain di jaringan. Transmisi ini berpotensi mengganggu. Selain itu, CSMA bergantung pada kemampuan melakukan penginderaan saluran yang akurat. Ini tampaknya Kesulitan ini muncul dari kenyataan bahwa transmisi UWB memiliki daya yang sangat rendah dan memerlukan pengetahuan tentang kode penyebaran untuk penyebaran yang efektif. Jadi, sebuah node idealnya akan memeriksa semua kemungkinan kode penyebaran sebelum mendeklarasikan saluran yang menganggur. Dalam jaringan besar yang menggunakan banyak kode, ini mungkin tidak layak.

11.3.4 Frekuensi-Divisi Multiple Access (FDMA)

Analog dengan TDMA, FDMA menetapkan saluran frekuensi ortogonal ke berbagai perangkat. Hal ini dapat dicapai dengan membagi spektrum frekuensi menjadi segmen yang tidak tumpang tindih dan menetapkan segmen ini ke perangkat individu untuk transmisinya. Dalam konteks sistem UWB, beberapa -teknik akses memiliki beberapa masalah Pertama, persyaratan peraturan mengharuskan perangkat UWB mengirimkan sinyal dengan bandwidth tidak lebih kecil dari 500 MHz Jadi untuk mendukung pengguna N, bandwidth sistem harus minimal 500_N MHz Jadi kita melihat bahwa Untuk mendukung beberapa pengguna secara bersamaan, setiap perangkat harus dapat menerima dan memproses sinyal pita lebar. Kedua, tergantung pada metode dupleks, sinkronisasi seluruh jaringan mungkin masih diperlukan.

Ini adalah kasus ketika mempertimbangkan komunikasi setengah dupleks di mana perangkat mungkin transmisi atau penerimaan Dalam hal ini, sistem harus menjadwalkan perangkat mana yang akan mengirim dan mana yang akan menerima. Selama setiap waktu instan. Jenis penjadwalan ini sulit dicapai tanpa beberapa bentuk referensi waktu global. Selain itu, penjadwalan lalu lintas siaran atau multicast menjadi masalah di jaringan FDMA dengan perangkat half duplex. Perangkat full duplex sedikit mengurangi masalah penjadwalan, tetapi Ini secara intrinsik lebih mahal, karena sistem dupleks penuh pada dasarnya memerlukan dua radio per perangkat, dan setiap radio perlu beroperasi melalui

bandwidth sistem yang besar.Namun, penggunaan pita frekuensi yang berbeda memungkinkan pemisahan sinyal yang sangat baik yang akan sulit untuk dipisahkan. , misalnya, oleh CDMA Untuk alasan di atas, FDMA berguna, misalnya, untuk memisahkan jaringan dengan jarak yang dekat, dan digunakan untuk tujuan ini juga di IEEE 802.15.4a.

11.3.5 Code-Division Multiple Access (CDMA)

CDMA memberikan kode penyebaran ortogonal (kuasi) ke masing-masing perangkat, yang kemudian mengalikan aliran simbolnya dengan kode yang ditetapkan. Dalam bentuknya yang paling umum, CDMA memisahkan semua skema penyebaran. Penerima dapat membedakan di antara perangkat yang berbeda dengan menghubungkan sinyal yang diterima dengan masing-masing Jaringan CDMA tidak memiliki masalah penjadwalan yang terkait dengan teknik TDMA dan FDMA yang dijelaskan di atas Karena mereka mengandalkan pemrosesan sinyal pada penerima untuk memisahkan transmisi dari banyak pengguna, CDMA memungkinkan transmisi simultan (dalam waktu dan/atau frekuensi). juga menarik untuk jaringan sensor UWB karena faktor penyebaran dalam sistem UWB sangat besar, secara teoritis, banyak transmisi simultan dapat didukung.

Standar IEEE 802.15.4a bergantung pada faktor penyebaran yang besar ini dan kemampuan untuk menyelesaikan banyak pengguna untuk memungkinkan penggunaan kembali pita frekuensi. Artinya, beberapa jaringan dapat digunakan dalam satu pita frekuensi. Jadi, setiap perangkat di jaringan hanya perlu mendengarkan untuk paket yang berisi kode yang benar dan kemudian dapat menyinkronkan penerimanya untuk memecahkan kode data berikutnya.

11.4 Protokol Lapisan MAC yang Diusulkan

Pada bagian ini, berbagai protokol MAC yang didefinisikan untuk jaringan sensor dijelaskan secara singkat dengan menyatakan perilaku penting dari protokol sedapat mungkin. Selain itu, kelebihan dan kekurangan dari protokol ini disajikan.

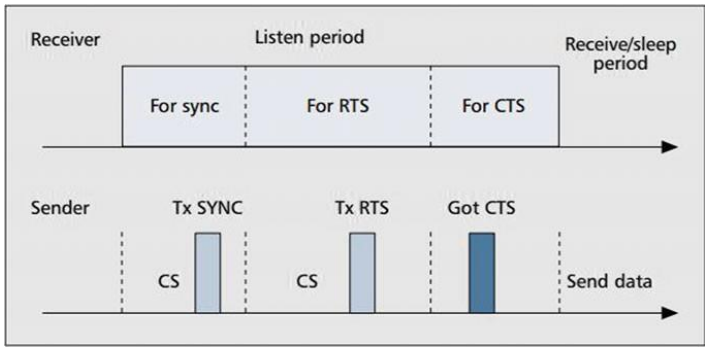
11.4.1 Sensor-MAC

Sinkronisasi yang dikelola secara lokal dan jadwal sleep-listen periodik berdasarkan sinkronisasi ini membentuk ide dasar di balik protokol Sensor-MAC (S-MAC). Node tetangga membentuk cluster virtual sehingga dapat mengatur jadwal tidur umum. Jika dua node bertetangga node berada di dua cluster virtual yang berbeda, mereka bangun pada periode mendengarkan kedua cluster.Kekurangan dari algoritma S-MAC adalah kemungkinan mengikuti dua jadwal yang berbeda, yang menghasilkan lebih banyak konsumsi energi melalui idle listening dan overhearing.

Pertukaran jadwal dilakukan dengan siaran paket SYNC periodik ke tetangga terdekat. Periode untuk setiap node untuk mengirim paket SYNC disebut periode sinkronisasi. Gambar 11.4 menunjukkan contoh komunikasi pengirim-penerima. Penghindaran tabrakan dicapai dengan perasaan pembawa (direpresentasikan sebagai CS pada gambar).

Dengan teknik ini, seseorang dapat mencapai penghematan energi.S-MAC juga mencakup konsep pengiriman pesan, di mana pesan panjang dibagi menjadi bingkai dan dikirim secara

berurutan, dengan meminimalkan overhead komunikasi dengan mengorbankan ketidakadilan dalam akses media.



Gambar 11.4 Skenario pengiriman pesan S-MAC

Tidur berkala dapat menghasilkan latensi tinggi, terutama untuk algoritma perutean multi-hop, karena semua node perantara memiliki jadwal tidurnya sendiri. Latensi yang disebabkan oleh tidur berkala disebut penundaan tidur. Teknik mendengarkan adaptif diusulkan untuk meningkatkan penundaan tidur Dan dengan demikian latensi keseluruhan.Dalam teknik itu, node yang mendengar transmisi tetangganya bangun untuk waktu yang singkat di akhir transmisi.akhir transmisi dikenal dengan bidang durasi paket RTS / CTS.

Kelebihan—Pemborosan energi yang disebabkan oleh mendengarkan idle dikurangi dengan jadwal tidur Selain kesederhanaan implementasinya, sinkronisasi waktu overhead dapat dicegah dengan pengumuman jadwal tidur.

Kekurangan—Paket data siaran tidak menggunakan RTS / CTS, yang mengarah pada peningkatan kemungkinan tabrakan. Mendengarkan adaptif menimbulkan pendengaran yang berlebihan atau pendengaran yang menganggur jika paket tidak ditujukan ke node mendengarkan. Periode tidur dan mendengarkan telah ditentukan sebelumnya dan konstan, yang berkurang efisiensi algoritma di bawah beban lalu lintas variabel.

11.4.2 WiseMAC

Hoiydi mengusulkan protokol "Spatial TDMA and CSMA with Preamble Sampling" di mana semua node sensor didefinisikan memiliki dua saluran komunikasi. Saluran data diakses menggunakan TDMA, saluran kontrol diakses oleh CSMA. WiseMAC [5] mirip dengan pekerjaan Hoiydi tetapi hanya membutuhkan satu saluran.Protokol WiseMAC menggunakan CSMA (np-CSMA) nonpersistent dengan preamble sampling seperti pada [4] untuk mengurangi idle listening. Dalam teknik preamble sampling, preamble mendahului setiap data paket untuk memperingatkan node penerima.

Semua node dalam jaringan mengambil sampel media dengan periode yang sama, tetapi offset jadwal relatifnya independen. Jika sebuah node menemukan media sibuk setelah bangun dan mengambil sampel media, ia terus mendengarkan hingga menerima paket data atau media menjadi tidak aktif lagi. Ukuran pembukaan awalnya diatur sama dengan periode pengambilan sampel. Namun, penerima mungkin tidak siap pada akhir pembukaan, karena faktor-faktor seperti interferensi, yang menyebabkan kemungkinan pemborosan energi tipe pemancaran berlebih.Selain itu, pemancaran berlebih meningkat

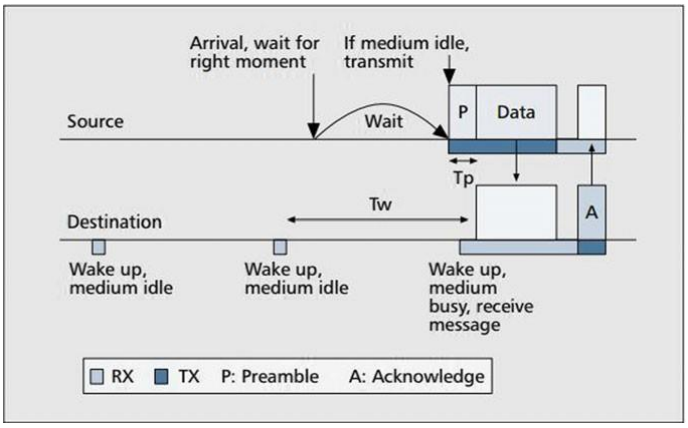
seiring dengan panjang pembukaan dan paket data, karena tidak ada jabat tangan yang dilakukan dengan penerima yang dituju.

Untuk mengurangi konsumsi daya yang ditimbulkan oleh preamble panjang tetap yang telah ditentukan, WiseMAC menawarkan metode untuk menentukan panjang preamble secara dinamis. Metode tersebut menggunakan pengetahuan tentang jadwal tidur tetangga node pemancar. Node belajar dan menyegarkan tidur tetangga mereka jadwal selama setiap pertukaran data sebagai bagian dari pesan Pengakuan Dengan cara itu, setiap node menyimpan tabel jadwal tidur tetangganya Berdasarkan tabel jadwal tidur tetangga, WiseMAC menjadwalkan transmisi sehingga waktu pengambilan sampel node tujuan sesuai dengan Bagian tengah pembukaan pengirim Untuk mengurangi kemungkinan tabrakan yang disebabkan oleh waktu mulai spesifik dari pembukaan bangun, disarankan untuk membuka pembukaan secara acak.

Parameter lain yang mempengaruhi pemilihan panjang pembukaan bangun adalah potensi penyimpangan jam antara sumber dan tujuan. Batas bawah untuk panjang pembukaan dihitung sebagai minimum periode pengambilan sampel tujuan, Tw, dan penyimpangan jam potensial dengan Mempertimbangkan batas bawah ini, panjang pembukaan (Tp) dipilih secara acak Gambar 11.5 menyajikan konsep WiseMAC.

Kelebihan—Hasil simulasi menunjukkan bahwa WiseMAC berkinerja lebih baik daripada salah satu varian S-MAC. Selain itu, penyesuaian panjang pembukaan dinamisnya menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam kondisi lalu lintas variabel. Selain itu, penyimpangan jam ditangani dalam definisi protokol, yang mengurangi kebutuhan sinkronisasi waktu eksternal.

Kekurangan—Kelemahan utama WiseMAC adalah bahwa penjadwalan sleep-listen yang terdesentralisasi menghasilkan waktu tidur dan bangun yang berbeda untuk setiap tetangga dari sebuah node. Ini merupakan masalah penting terutama untuk komunikasi tipe broadcast, karena paket yang disiarkan akan di-buffer untuk tetangga Selain itu, masalah terminal tersembunyi menyertai model WiseMAC, seperti pada TDMA Spasial dan CSMA dengan Pembukaan. Selain itu, masalah terminal tersembunyi menyertai model WiseMAC, seperti pada TDMA Spasial dan CSMA dengan Pembukaan. Algoritma pengambilan sampel Itu karena WiseMAC juga didasarkan pada CSMA nonpersistent. Masalah ini akan mengakibatkan tabrakan ketika satu node mulai mengirimkan pembukaan ke node yang sudah menerima transmisi node lain di mana pengirim pembukaan tidak berada dalam jangkauan.



Gambar 11.5 Konsep WiseMAC

11.4.3 Protokol MAC Adaptif Lalu Lintas

TRAMA adalah algoritma berbasis TDMA yang diusulkan untuk meningkatkan pemanfaatan TDMA klasik secara hemat energi, mirip dengan Node Activation Multiple Access (NAMA), di mana untuk setiap slot waktu terdistribusi algoritma pemilihan digunakan untuk memilih satu pemancar dalam setiap lingkungan dua hop. Pemilihan semacam ini menghilangkan masalah terminal tersembunyi dan karenanya memastikan bahwa semua node di lingkungan satu hop pemancar akan menerima data tanpa tabrakan. Namun, NAMA tidak hemat energi dan menimbulkan gangguan pendengaran.

Waktu dibagi menjadi periode akses acak dan akses terjadwal (transmisi). Periode akses acak digunakan untuk menetapkan informasi topologi dua hop dan akses saluran didasarkan pada pertentangan dalam periode tersebut. Asumsi dasarnya adalah bahwa, dengan informasi yang dilewatkan oleh lapisan aplikasi, lapisan MAC dapat menghitung durasi transmisi yang dibutuhkan, yang Topologis sebagai SCHEDULE_INTERVAL. Kemudian, pada waktu t, node menghitung jumlah slot yang akan memiliki prioritas tertinggi di antara tetangga dua hop dalam Periode [t, t + SCHEDULE_INTERVAL].

Node mengumumkan slot yang akan digunakan serta penerima yang dituju untuk slot ini dengan paket jadwal. Selain itu, node mengumumkan slot yang memiliki prioritas tertinggi tetapi tidak akan Paket jadwal menunjukkan penerima yang dituju menggunakan bitmap yang panjangnya sama dengan jumlah tetangganya Bit sesuai dengan tetangga satu hop yang diurutkan berdasarkan identitasnya Karena penerima dari Ketika slot kosong diumumkan, pengirim potensial dievaluasi untuk menggunakan kembali slot tersebut Prioritas node pada slot dihitung dengan fungsi hash identitas node dan slot.

Model analitik untuk kinerja penundaan protokol TRAMA dan NAMA juga disajikan dan didukung oleh simulasi Penundaan ditemukan lebih tinggi, dibandingkan dengan protokol berbasis pertentangan, karena persentase waktu tidur yang lebih tinggi.

Kelebihan—Persentase waktu tidur yang lebih tinggi dan kemungkinan tabrakan yang lebih kecil tercapai, dibandingkan dengan protokol berbasis CSMA Karena penerima yang dituju ditunjukkan oleh bitmap, komunikasi yang dilakukan lebih sedikit untuk jenis pola komunikasi multicast dan broad-cast, dibandingkan dengan protokol lainnya.

Kekurangan — Slot transmisi diatur menjadi tujuh kali lebih lama dari periode akses acak. Namun, semua node didefinisikan dalam keadaan menerima atau mengirim selama periode akses acak untuk pertukaran jadwal. Ini berarti tanpa mempertimbangkan transmisi dan penerimaan, siklus tugas setidaknya 12,5%, yang merupakan nilai yang sangat tinggi. Untuk slot waktu, setiap node menghitung masing-masing prioritas tetangga dua hopnya pada slot itu. Selain itu, perhitungan ini diulang untuk setiap slot waktu , karena parameter perhitungan berubah seiring waktu.

11.4.4 Ayak

Sift adalah protokol MAC yang diusulkan untuk lingkungan jaringan sensor yang digerakkan oleh peristiwa. Motivasi di balik Sift adalah bahwa ketika suatu peristiwa dirasakan, laporan potensial R of N pertama adalah bagian paling penting dari pesan dan harus disampaikan dengan kecepatan rendah. latency. Jamieson et al. Gunakan fungsi distribusi probabilitas yang tidak seragam untuk memilih slot di dalam slotted contention window. Jika tidak ada node yang mulai mentransmisikan di slot pertama dari jendela, maka setiap node meningkatkan probabilitas transmisinya secara eksponensial untuk slot berikutnya, dengan asumsi bahwa jumlah node yang bersaing kecil.

Dalam Penemuan Sift dibandingkan dengan protokol 802.11 MAC dan ditunjukkan bahwa Sift mengurangi latensi secara signifikan ketika ada banyak node yang mencoba mengirim laporan. Karena Sift adalah algoritma penetapan slot pertentangan, diusulkan untuk berdampingan dengan MAC lainnya protokol seperti S-MAC. Berdasarkan ide yang sama, CSMA / p * diusulkan di mana p * adalah distribusi probabilitas tidak seragam yang meminimalkan latensi secara optimal. Namun, Tay et al. Menyatakan bahwa fungsi distribusi probabilitas Sift to pick slot adalah perkiraan untuk CSMA / p *.

Kelebihan—Latensi sangat rendah dicapai untuk banyak sumber lalu lintas. Konsumsi energi ditukar dengan latensi, seperti ditunjukkan di bawah. Namun, bila latensi merupakan parameter penting sistem, konsumsi energi yang sedikit meningkat harus diterima. algoritme dapat disetel untuk mengurangi konsumsi energi. Konsumsi energi yang tinggi adalah hasil dari argumen yang ditunjukkan di bawah ini.

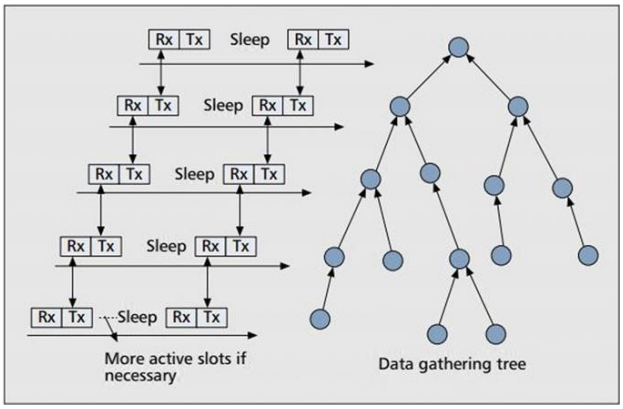
Kekurangan—Salah satu kelemahan utama adalah peningkatan idle listening yang disebabkan oleh mendengarkan semua slot sebelum mengirim. Kelemahan kedua adalah peningkatan overhearing.Ketika ada transmisi yang sedang berlangsung, node harus mendengarkan sampai akhir untuk bersaing untuk transmisi berikutnya, yang Itu sebabnya kompleksitas implementasi Sift akan lebih besar daripada protokol yang tidak menggunakan sinkronisasi waktu.

11.4.5 DMAC

Converge cast adalah pola komunikasi yang paling sering diamati dalam jaringan sensor. Jalur searah dari sumber ke sink dapat direpresentasikan sebagai pohon pengumpulan data. Tujuan utama DMAC adalah untuk mencapai latensi yang sangat rendah untuk komunikasi cast konvergen, tetapi tetap menjadi hemat energi.

DMAC dapat diringkas sebagai algoritma Slotted Aloha yang ditingkatkan di mana slot ditugaskan ke set node berdasarkan pohon pengumpulan data, seperti yang ditunjukkan

pada Gambar 11.6 Jadi, selama periode penerimaan sebuah node, semua node anaknya Latensi rendah dicapai dengan menetapkan slot berikutnya ke node yang berurutan di jalur transmisi data.



Gambar 11.6 Pohon pengumpulan data dan implementasi DMAC-nya

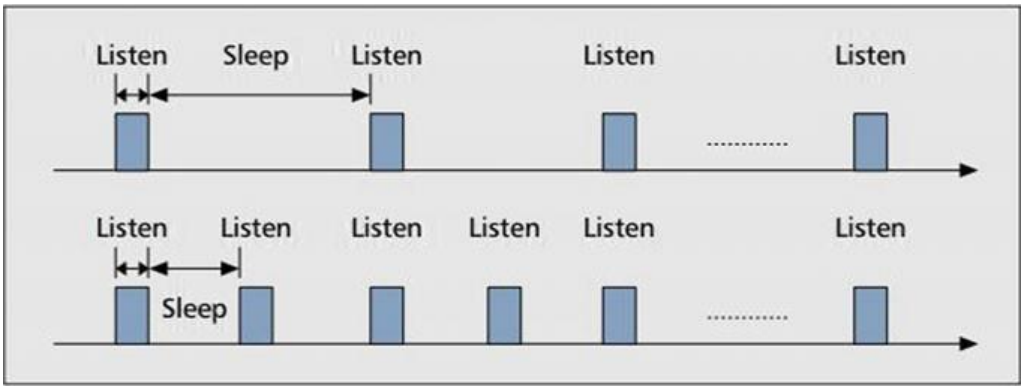
Keuntungan—DMAC mencapai latensi yang sangat baik dibandingkan dengan metode penugasan periode tidur/dengar lainnya Latensi jaringan sangat penting untuk skenario tertentu, di mana DMAC bisa menjadi kandidat kuat.

Kekurangan—Metode penghindaran tabrakan tidak digunakan; oleh karena itu, ketika sejumlah node yang memiliki jadwal yang sama (level yang sama di pohon) mencoba mengirim ke node yang sama, tabrakan akan terjadi. jaringan sensor Selain itu, jalur transmisi data mungkin tidak diketahui sebelumnya, yang menghalangi pembentukan pohon pengumpulan data.

11.4.6 Batas Waktu-MAC / Sensor Dinamis-MAC

Periode sleep-listen statis S-MAC menghasilkan latensi tinggi dan throughput lebih rendah, seperti yang ditunjukkan di atas.Timeout-MAC (T-MAC) diusulkan untuk meningkatkan hasil buruk dari protokol S-MAC di bawah beban lalu lintas variabel Di T-MAC, periode mendengarkan berakhir ketika tidak ada peristiwa aktivasi yang terjadi untuk TA ambang waktu. Keputusan untuk TA disajikan bersama dengan beberapa solusi untuk masalah tidur awal yang didefinisikan dalam. Beban variabel dalam jaringan sensor diharapkan Meskipun T-MAC memberikan hasil yang lebih baik di bawah beban variabel ini, sinkronisasi periode mendengarkan dalam cluster virtual rusak.Ini adalah salah satu alasan untuk masalah tidur awal.

Dynamic Sensor-MAC (DSMAC) menambahkan fitur siklus tugas dinamis ke S-MAC. Tujuannya adalah untuk mengurangi latensi untuk aplikasi yang sensitif terhadap penundaan. Dalam periode SYNC, semua node berbagi nilai latensi satu hop mereka. (Waktu antara penerimaan paket ke dalam antrian dan transmisinya).



Gambar 11.7 Penggandaan siklus kerja DSMAC

Semua node mulai dengan siklus tugas yang sama. Gambar 11.7 secara konseptual menggambarkan penggandaan siklus tugas DSMAC. Ketika node penerima memperhatikan bahwa nilai latensi satu hop rata-rata adalah tinggi, Jika ada, ia memutuskan untuk menggandakannya memutuskan untuk mempersingkat waktu tidurnya dan mengumumkannya dalam periode SYNC. Dengan demikian, setelah node pengirim menerima sinyal penurunan periode tidur ini, ia memeriksa antriannya untuk paket yang ditujukan ke penerima itu node. Siklus tugas digandakan sehingga jadwal tetangga tidak akan terpengaruh. Latensi yang diamati dengan DSMAC lebih baik daripada yang diamati dengan S-MAC. Selain itu, juga terbukti memiliki b konsumsi daya rata-rata lebih baik per paket.

11.4.7 Integrasi MAC dengan Layer Lain

Penelitian terbatas telah dilakukan untuk mengintegrasikan lapisan jaringan yang berbeda ke dalam satu lapisan atau untuk mendapatkan manfaat dari interaksi lintas lapisan antara perutean dan lapisan MAC untuk jaringan sensor. Misalnya, Safwat et al. Mengusulkan dua algoritme perutean yang mendukung informasi tentang keberhasilan / kegagalan Penerimaan CTS atau ACK.

Cui et al Lihat integrasi lapisan MAC / fisik dan integrasi lapisan Routing / MAC / fisik Mereka mengusulkan skema TDMA panjang variabel di mana panjang slot ditetapkan sesuai dengan beberapa kriteria untuk konsumsi energi yang optimal dalam jaringan. Kriteria ini, yang paling penting adalah informasi tentang lalu lintas yang dihasilkan oleh setiap node dan jarak antara setiap pasangan node. Berdasarkan nilai-nilai ini, mereka merumuskan masalah Linear Programming (LP) di mana variabel keputusan dinormalisasi panjang slot waktu antara node.

Mereka memecahkan masalah LP ini menggunakan pemecah LP yang mengembalikan jumlah slot waktu optimal untuk setiap pasangan node serta keputusan perutean terkait untuk sistem. Solusi yang diusulkan dapat bermanfaat dalam skenario di mana data yang diperlukan akan disiapkan. Namun, umumnya sulit untuk memiliki informasi jarak node dan lalu lintas yang dihasilkan oleh node. Selain itu, pemecah LP hanya dapat dijalankan pada node yang kuat. c perilaku jaringan sensor akan membutuhkan keputusan online yang sangat mahal untuk dihitung dan sulit untuk beradaptasi dengan sistem yang ada.

Multi-hop Infrastructure Network Architecture (MINA) adalah metode lain untuk mengintegrasikan MAC dan protokol routing Ding et al.Mengusulkan arsitektur jaringan multi-hop berlapis di mana node jaringan dengan hop-count yang sama ke base station berada Akses saluran adalah protokol MAC berbasis TDMA yang dikombinasikan dengan CDMA atau FDMA. Super-frame terdiri dari paket kontrol, bingkai beacon, dan bingkai transmisi data. Beacon dan bingkai data diberi slot waktu Dalam arsitektur jaringan terklaster, semua anggota cluster mengirimkan permintaan transmisi mereka di slot beacon. Oleh karena itu, kepala cluster mengumumkan jadwal frame data.

Protokol routing adalah protokol multi-hop sederhana dimana setiap node memiliki node forwarder pada satu lapisan yang lebih dekat ke base station.Node penerusan dipilih dari kandidat berdasarkan energi sisa.Ding et al.Kemudian merumuskan alokasi saluran masalah sebagai masalah NP-lengkap dan mengusulkan solusi suboptimal Selain itu, jangkauan transmisi node sensor adalah variabel keputusan, karena mempengaruhi layering jaringan (perubahan hop-counts) Simulasi dijalankan untuk menemukan rentang nilai yang baik untuk skenario tertentu. Sistem yang diusulkan dalam adalah sistem MAC / Routing yang terdefinisi dengan baik. Namun, penyetelan parameter rentang merupakan tugas penting yang harus dilakukan pada inisialisasi sistem. Semua node Jalur -to-sink didefinisikan pada saat startup dan didefinisikan sebagai statis, karena penetapan frekuensi saluran dari node dilakukan pada saat startup yang sesuai. Hal ini membuat sistem tidak toleran terhadap kegagalan.

Geographic Random Forwarding (GeRaF) sebenarnya diusulkan sebagai protokol routing, tetapi algoritma MAC yang mendasari juga didefinisikan dalam pekerjaan, yang didasarkan pada CSMA / CA Pekerjaan ini memberikan solusi yang lengkap (tetapi tidak terintegrasi) Kesulitan dari sistem yang diusulkan adalah perlunya radio tambahan, yang digunakan untuk pengumuman nada sibuk.Rugin et al. dan Zorzi meningkatkan GeRaF dengan menguranginya menjadi sistem satu saluran.Namun, informasi lokasi node sensor dan tetangganya diperlukan untuk protokol tersebut. Selain itu, node penerusan dipilih di antara node yang terjaga pada saat permintaan transmisi. Hal ini dapat mengakibatkan perutean dengan konsumsi daya yang lebih besar dan peningkatan latensi .

11.5 Masalah Terbuka dan Kesimpulan

Gambar 11.8 memberikan perbandingan protokol MAC yang diselidiki. Judul kolom "Sinkronisasi Waktu Diperlukan" menunjukkan apakah protokol mengasumsikan bahwa sinkronisasi waktu dicapai secara eksternal dan "Adaptivity to Changes" menunjukkan kemampuan untuk menangani perubahan topologi. Kedua S-MAC varian, yaitu, T-MAC dan DSMAC, memiliki fitur yang sama dengan S-MAC (Gambar 11.4). Protokol lintas lapisan menyertakan lapisan tambahan selain lapisan MAC dan tidak dipertimbangkan dalam perbandingan ini. Meskipun ada berbagai MAC protokol lapisan yang diusulkan untuk jaringan sensor, tidak ada protokol yang diterima sebagai standar. Salah satu alasannya adalah bahwa pilihan protokol MAC akan, secara umum, bergantung pada aplikasi, yang berarti bahwa tidak akan ada satu MAC standar untuk jaringan sensor Alasan lain adalah kurangnya standarisasi pada lapisan bawah (lapisan fisik) dan perangkat keras sensor (fisik).

	Time sync needed	Comm. pattern support	Type	Adaptivity to changes
S-MAC/T-MAC/DSMAC	No	All	CSMA	Good
WiseMAC	No	All	np-CSMA	Good
TRAMA	Yes	All	TDMA/CSMA	Good
Sift	No	All	CSMA/CA	Good
DMAC	Yes	Convergecast	TDMA/Slotted Aloha	Weak

Gambar 11.8 Perbandingan protokol MAC

TDMA memiliki keuntungan alami dari akses media bebas tabrakan. Namun, ini mencakup masalah penyimpangan jam dan penurunan throughput pada beban lalu lintas rendah karena slot idle. Kesulitan dengan sistem TDMA adalah sinkronisasi node dan adaptasi terhadap perubahan topologi ketika perubahan ini terjadi. disebabkan oleh penyisipan node baru, kehabisan kapasitas baterai, link rusak karena gangguan, jadwal tidur node relay, dan penjadwalan yang disebabkan oleh algoritma clustering. Oleh karena itu, penetapan slot harus dilakukan dengan memperhatikan kemungkinan tersebut. tidak mudah untuk mengubah penetapan slot dalam lingkungan terdesentralisasi untuk TDMA tradisional, karena semua node harus menyetujui penetapan slot.

Sesuai dengan pengetahuan jaringan umum, metode CSMA memiliki penundaan yang lebih rendah dan potensi throughput yang menjanjikan pada beban lalu lintas yang lebih rendah, yang umumnya terjadi pada jaringan sensor nirkabel. Namun, metode penghindaran tabrakan atau deteksi tabrakan tambahan harus digunakan. FDMA adalah cara lain. skema yang menawarkan media bebas tabrakan, tetapi memerlukan sirkuit tambahan untuk berkomunikasi secara dinamis dengan saluran radio yang berbeda.Hal ini meningkatkan biaya node sensor, yang bertentangan dengan tujuan sistem jaringan sensor.

CDMA juga menawarkan media bebas tabrakan, tetapi kebutuhan komputasinya yang tinggi merupakan kendala utama untuk tujuan konsumsi energi yang lebih sedikit dari jaringan sensor.Dalam mengejar biaya komputasi yang rendah untuk jaringan sensor CDMA nirkabel, ada upaya terbatas untuk menyelidiki sumber dan skema modulasi, khususnya bentuk gelombang tanda tangan, merancang model penerima sederhana, dan masalah sinkronisasi sinyal lainnya.Jika ditunjukkan bahwa kompleksitas komputasi CDMA yang tinggi dapat ditukar dengan fitur penghindaran tabrakan, protokol CDMA juga dapat dipertimbangkan Kurangnya perbandingan TDMA, CSMA, atau protokol akses menengah lainnya dalam kerangka umum adalah kekurangan penting dari literatur.

Pengalaman jaringan nirkabel umum juga menunjukkan bahwa kinerja tingkat tautan saja dapat memberikan kesimpulan yang menyesatkan tentang kinerja sistem. Kesimpulan serupa dapat ditarik untuk lapisan atas juga. Misalnya, jalur perutean dapat dipilih tergantung pada informasi tabrakan dari lapisan akses menengah Selain itu, lapisan protokol jaringan menciptakan overhead untuk setiap lapisan, yang menyebabkan lebih banyak konsumsi energi untuk setiap paket. Oleh karena itu, integrasi lapisan juga merupakan bidang penelitian yang menjanjikan yang perlu dipelajari lebih luas.

BAB 12
AKSES MULTI-SALURAN JARINGAN NIRKABEL INDUSTRI BERBASIS STANDAR 802.11

12.1 Pendahuluan

Komunikasi kooperatif, yang dapat mencapai keragaman spasial dengan memanfaatkan antena virtual terdistribusi dari node kooperatif, telah menarik banyak perhatian karena kemampuannya untuk mengurangi fading di jaringan nirkabel.Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa keuntungan yang signifikan dapat diperoleh melalui komunikasi kooperatif dalam hal keandalan, jangkauan jangkauan, dan efisiensi energi.

Jaringan IEEE 802.11 memasuki fase baru dengan standarisasi IEEE 802.11s yang sedang berlangsung dan pengenalan teknologi Wi-Fi Direct baru-baru ini.Teknologi baru akan memungkinkan perangkat 802.11 untuk berkomunikasi langsung dengan mudah satu sama lain dengan membentuk jaringan mesh, yang akan terbuka Potensi penuh dari jalan ini terletak pada memungkinkan beberapa transmisi simultan di lingkungan radio tertentu, yang merupakan tantangan untuk jaringan 802.11 mesh saat ini berdasarkan arsitektur komunikasi saluran tunggal tetap Untuk mengatasi ini, teknik komunikasi multi-saluran sedang diselidiki untuk memungkinkan akses multi-channel di 802.11 mesh. Bab ini berfokus pada pemanfaatan praktis dari pendekatan kerjasama baru pada lapisan Media Access Control (MAC) untuk memungkinkan akses multi-channel di jaringan 802.11 mesh.CAMMAC-802.11 dan Interferensi Terdistribusi -Algoritma Aware Relay Selection (DIRS) telah diusulkan untuk IEEE 802.

Jaringan nirkabel berbasis 11 dengan beberapa pasangan sumber tujuan CAMMAC-802.11 adalah protokol baru yang menggunakan pendekatan baru untuk mengontrol kerjasama pesawat yang disebut *Distributed Information Sharing* (DISH), yang diperkenalkan untuk memecahkan Koordinasi Multi-Saluran (MCC) masalah Eksperimen dunia nyata dilakukan di testbed mesh untuk mengevaluasi kinerja protokol dan membandingkannya dengan IEEE 802.11 MAC.CAMMAC-802.11 adalah pilihan protokol yang layak untuk jaringan 802.11 mesh dan memang dapat menuai manfaat menggunakan banyak saluran.

Selain itu, untuk mengurangi dampak interferensi antar node, mengusulkan algoritma DIRS yang memilih node relai dengan pertimbangan: interferensi antar node dan kondisi saluran. Algoritma ini efisien seperti yang ditunjukkan oleh hasil simulasi dan juga praktis karena hanya membutuhkan informasi lokal daripada informasi topologi jaringan.Selain itu, untuk mengurangi delay end-to-end dan delay akses AP, sebuah cooper mekanisme asosiasi aktif telah diusulkan untuk mengelola jaringan mesh nirkabel.

12.2 Peningkatan Throughput

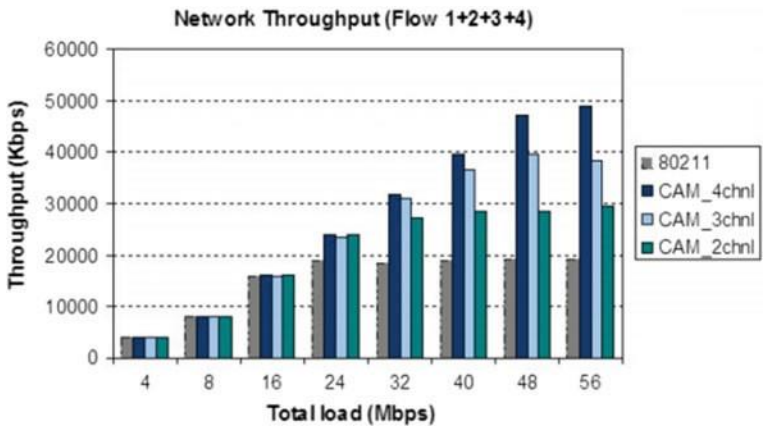
Maksimalisasi throughput merupakan tantangan utama untuk berbagai aplikasi di Jaringan Mesh Nirkabel (WMNs).Sebagai solusi potensial, komunikasi kooperatif, yang dapat meningkatkan kapasitas tautan dengan memanfaatkan keragaman spasial, telah menarik

banyak perhatian. CAMMAC-802.11 digunakan di sebagai metode untuk mempertahankan throughput pada tingkat tinggi dibandingkan dengan standar 802.11 yang khas, dan menggunakan antena directional sementara penulis di memperkenalkan algoritma khusus yang disebut NEgotiation-based Throughput Maximization Algoritma (NETMA) untuk memaksimalkan metrik ini.

12.2.1 CAMMAC-802.11

CAMMAC-802.11 menggunakan saluran kontrol untuk memungkinkan node untuk (1) bernegosiasi untuk saluran data, (2) node peringatan masalah MCC dan (3) berbagi informasi tetangga. Saluran kontrol dapat dari spektrum berlisensi atau pita tidak berlisensi. Jika tidak ada pita berlisensi yang tersedia dan saluran di pita tidak berlisensi terisi, jaringan CAMMAC-802.11 masih dapat menggunakan saluran yang paling sedikit terisi sebagai saluran kontrol, tetapi harus berbagi bandwidth dengan jaringan 802.11 lain yang ada di saluran tersebut. menggunakan lapisan fisik 802.11 (a / b / g / n) (PHY), sehingga bandwidth saluran standar, baik untuk saluran kontrol dan saluran data, akan berbasis PHY.

Untuk tujuan kerjasama, node memelihara tabel penggunaan spektrum Tabel tetangga berisi informasi tentang tetangga dan non node. Setiap entri terdiri dari alamat MAC Tx Rx, saluran data, dan waktu kedaluwarsa yang sesuai. Yaitu saluran lain yang tidak dapat mendengar satu sama lain. CAMMAC-802.11 dirancang khusus sebagai ekstensi multi-saluran dari IEEE 802.11 MAC. CAMMAC asli tidak dapat digunakan karena desainnya generik dan tidak kompatibel dengan 802.11 MAC Desain dan implementasi protokol CAMMAC-802.11 ditunjukkan dalam.

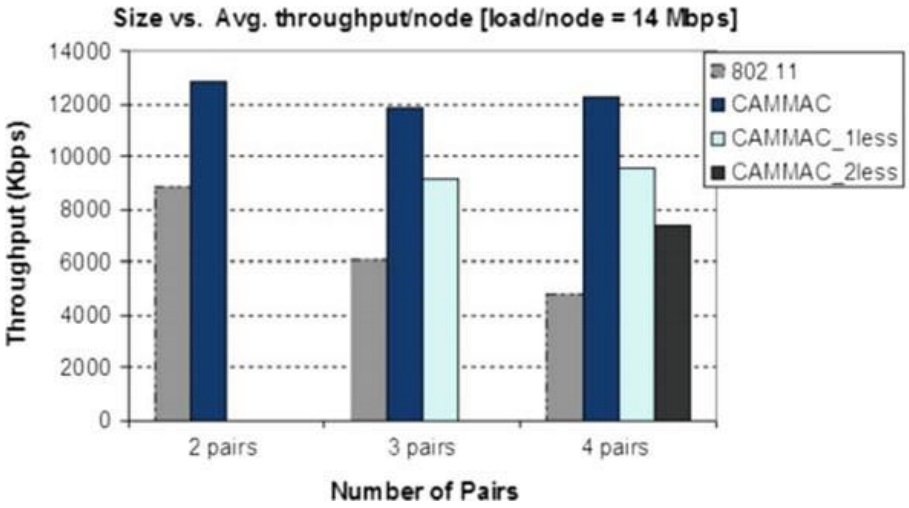


Gambar. 12.1 802.11 MAC versus CAMMAC-802.11 kinerja throughput

Empat percobaan dilakukan, satu berdasarkan 802.11 MAC yang menggunakan saluran tunggal dan yang lain berdasarkan CAMMAC-802.11 dengan 1 kontrol dan 4 (CAM 4chnl) / 3 (CAM 3chnl) / 2 (CAM 2chnl) saluran data. percobaan bebas dari konflik saluran karena saluran yang tersedia cukup untuk 4 pasang dan kami menggunakan strategi pemilihan saluran yang tepat (pilih saluran yang digunakan sebelumnya terlebih dahulu).Untuk percobaan CAM 3chnl dan CAM 2chnl, konflik dapat terjadi dalam jaringan karena kurangnya cukup saluran data. Dalam percobaan, kami menggunakan ukuran kereta 20 (TxOp (kesempatan transmisi) 11 ms) untuk CAMMAC-802.11. Hasil agregat terukur (Alur

1 + 2 + 3 + 4) ditunjukkan pada Gambar 12.1. ditunjukkan, kinerja CAMMAC-802.11 sedikit tertinggal dari 802.11 ketika beban lalu lintas (jumlah beban yang diterapkan pada 4 Tx) rendah (16 Mbps atau kurang).Hal ini karena untuk beban lalu lintas rendah ketika satu saluran cukup untuk pertikaian saluran dalam kasus 802.11, sesi kontrol dari CAMMAC-802.11 bertindak sebagai overhead dan menurunkan kinerja.

Pada Gambar 12.2, paper telah menyajikan hasil throughput per node dengan ukuran jaringan yang bervariasi (jumlah pasangan Tx-Rx) dan beban lalu lintas 14 Mbps per pemancar.Hasil CAMMAC-802.11 adalah untuk jumlah data yang bervariasi Untuk ukuran jaringan tertentu, kami memulai percobaan dengan jumlah saluran data yang sama dengan jumlah pasangan dan terus mengulangi percobaan dengan satu saluran data lebih sedikit hingga kami hanya memiliki dua saluran data yang tersisa. Untuk semua percobaan 802.11, kami menggunakan Hanya satu saluran data. Legenda CAMMAC_xless pada Gambar 12.2 mewakili eksperimen, di mana jumlah kanal data yang digunakan adalah x lebih sedikit dari jumlah pasangan dalam eksperimen.

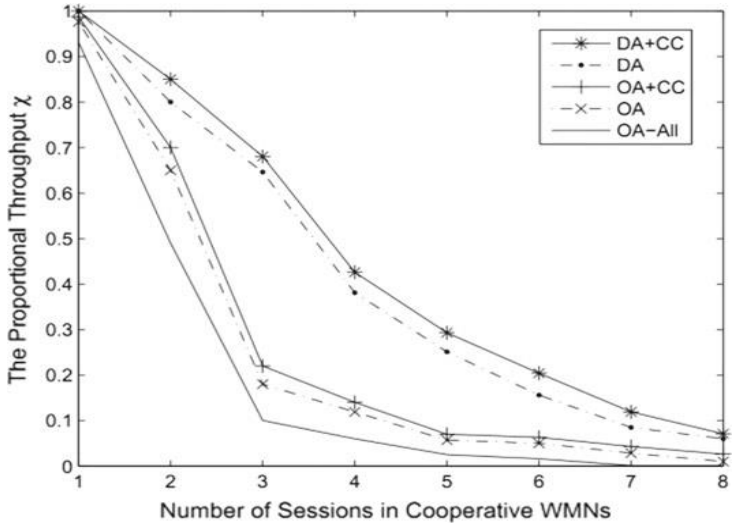


Gambar 12.2 Ukuran jaringan versus rata-rata Throughput / node

Misalnya, legenda CAMMAC (atau CAMMAC_0less) mewakili eksperimen dengan jumlah data saluran sama dengan jumlah pasangan Jika kita membandingkan 802.11 throughput untuk 2 pasang dengan throughput CAMMAC-802.11 di mana 4 pasang dengan 3 saluran data (CAMMAC_1less) dan CAMMAC-802.11 dibandingkan dengan 4 pasang dengan 2 saluran data (CAMMA) C_2less), kami menemukan bahwa throughput 802.11 berada di antara dan sebanding dengan throughput tanpa CAMMAC_2. Perlu diingat bahwa perangkat keras CAMMAC-802.11 akan berkinerja lebih baik, perbandingannya dapat secara kasar ditafsirkan sebagai: jika CAMMAC-802.11 memiliki n saluran, Ini menunjukkan keuntungan dari akses multi-saluran, dalam hal skalabilitas jaringan mesh, yang dapat mendukung n kali jumlah node yang didukung oleh standar 802.11 dengan throughput per node yang sebanding.

12.2.2 Menggunakan Antena Arah

Penelitian lanjut telah mempelajari masalah maksimalisasi throughput di WMNs kooperatif di bawah beberapa kendala (yaitu, pemilihan mode antena, pemilihan mode transmisi, penjadwalan tautan, dan perutean aliran). Mempertimbangkan fitur khusus antena directional dan komunikasi kooperatif, pertama kali memperluas link dan mengklasifikasikannya menjadi link kooperatif / link umum. Kemudian, tergantung pada strategi *beamforming* yang berbeda pada pemancar, itu membentuk grafik konflik kooperatif untuk menggambarkan hubungan interferensi antara link yang diperluas. Setelah itu, secara matematis merumuskan throughput ujung ke ujung Dengan simulasi numerik, kami menunjukkan bahwa skema, di mana pemancar beamform ke penerima dan komunikasi kooperatif dipertimbangkan, lebih baik daripada skema lain dalam hal throughput end-to-end di WMNs kooperatif.



Gambar 12.3 Perbandingan kinerja skema yang berbeda dengan mode antena dan mode transmisi yang berbeda dalam WMN kooperatif multi-hop: 20 node

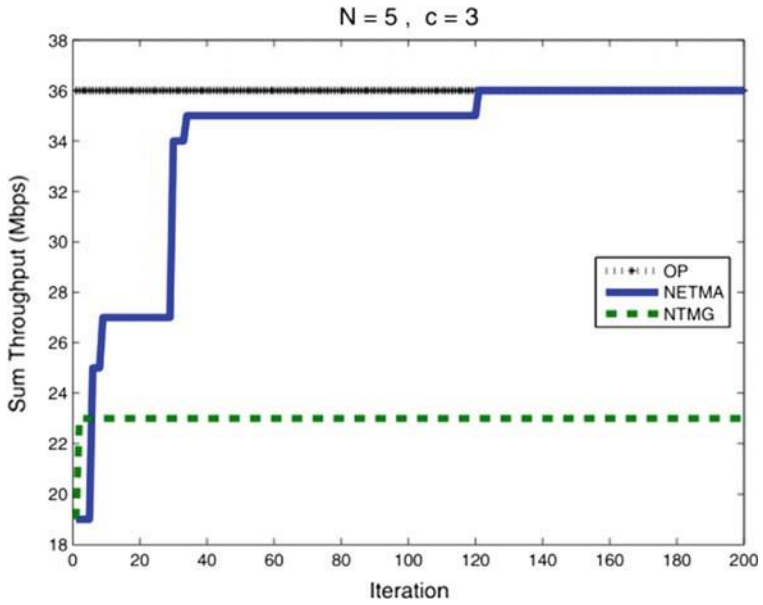
Pada Gambar 12.3, kami membandingkan kinerja throughput dari skema yang berbeda dengan kombinasi yang berbeda dari strategi beamforming dan mode transmisi di WMNs kooperatif *multi-hop* Pertimbangan pemilihan mode antena dan pemilihan mode transmisi, di mana pemancar menggunakan antena directional dan beamform ke penerima di DA + CC, dan pemancar menggunakan antena omnidirectional di OA + CC; Throughput DA dan OA skema hanya mempertimbangkan pemilihan mode antena, di mana antena directional dan antena omnidirectional digunakan oleh pemancar di jaringan, masing-masing; OA-Perhatikan skema tanpa pertimbangan pemilihan mode antena atau pemilihan mode transmisi, di mana semua node menggunakan antena omni-directional untuk transmisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.3, DA + CC mengungguli skema lain dalam hal throughput end-to-end di WMNs kooperatif.

Tidak heran O A-All memiliki kinerja terburuk karena hanya mempertimbangkan penjadwalan tautan tradisional dan perutean aliran, dan tidak memperhatikan pemilihan mode transmisi atau pemilihan mode antena. OA lebih baik daripada OA-All dalam arti bahwa OA memungkinkan penerima untuk beamform ke pemancar. OA lebih rendah

daripada OA + CC karena OA mengabaikan peluang komunikasi kooperatif. Meskipun DA mengabaikan komunikasi kooperatif juga, ia masih lebih unggul dari OA + CC karena perolehan throughput trunking yang dibawa oleh antena directional dari Dibandingkan dengan DA dan OA + CC, DA + CC lebih meningkatkan throughput end-to-end di WMNs kooperatif, meskipun DA + CC mengorbankan peluang untuk menggunakan relai kooperatif potensial di luar area beamforming dari pemancar.

12.2.3 Algoritma Maksimalisasi Throughput Berbasis Negosiasi

Untuk kasus titik akses kooperatif, penulis dalam mempresentasikan Algoritma Maksimalisasi Throughput Berbasis Negosiasi (NETMA), yang menyesuaikan frekuensi operasi dan tingkat daya di antara titik akses secara mandiri, dari perspektif teori permainan. konvergen ke frekuensi optimal dan penugasan daya yang menghasilkan throughput keseluruhan maksimum dengan probabilitas tinggi yang efisien. Selain itu, mereka menganalisis skenario di mana titik akses milik entitas regulasi yang berbeda dan karenanya tidak kooperatif.



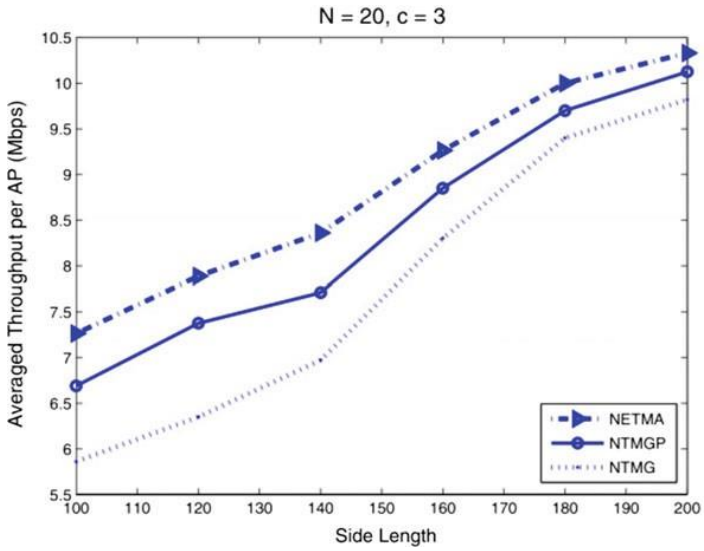
Gambar 12.4 Evaluasi kinerja jaringan akses mesh nirkabel dengan N = 5 dan c = 3

NETMA konvergen ke solusi optimal dengan probabilitas yang sama tinggi. Untuk skenario nonkooperatif, penulis menunjukkan keberadaan dan inefisiensi keseimbangan Nash karena perilaku egois. Untuk menjembatani kesenjangan kinerja, kami mengusulkan skema penetapan harga linier yang sangat meningkatkan kinerja hasil analisis diverifikasi dengan simulasi.

Seperti yang ditunjukkan oleh kurva OP, optimum global yang diperoleh dengan pendekatan enumerasi berfungsi sebagai batas atas dari keseluruhan throughput. Pada Gambar 12.4, kami mengamati bahwa NETMA secara bertahap mengejar optimal global saat negosiasi berjalan. Seperti yang diharapkan, AP nonkooperatif menghasilkan kinerja yang sangat rendah dalam hal throughput keseluruhan, digambarkan oleh kurva *Noncooperative Throughput Maximizing Game* (NTMG). Inefisiensi ini disebabkan oleh perilaku egois yang ditransmisikan AP pada daya maksimum dan terlepas dari interferensi.keseimbangan di

kedua *Cooperative Throughput Maximization Game* (CTMG) dan NTMG dibuktikan dengan konvergensi kurva pada Gambar 12.4.

Gambar 12.5 menggambarkan inefisiensi kinerja NTMG yang disebabkan oleh AP nonkooperatif, yang mentransmisikan pada daya maksimum.Troughput rata-rata per AP dihitung dengan rata-rata hasil 50 simulasi, untuk setiap nilai panjang sisi d. 12.5, perlu diperhatikan bahwa semakin panjang sisi d, kesenjangan kinerja antara NETMA dan NTMG berkurang, alasannya adalah ketika area besar, dampak interferensi timbal balik kurang parah dan begitu juga kinerjanya. , ketika jaringan ramai, perilaku egois sangat merusak.Peningkatan throughput diilustrasikan sebagai Game Maksimalisasi Throughput Nonkooperatif dengan Harga (NTMGP) pada Gambar 12.5. Terlihat bahwa dengan memanfaatkan skema penetapan harga yang diusulkan, Efisiensi Keseimbangan Nash meningkat secara dramatis, terutama untuk jaringan yang ramai, Oleh karena itu, insentif egois dari AP nonkooperatif telah ditekan secara efektif.



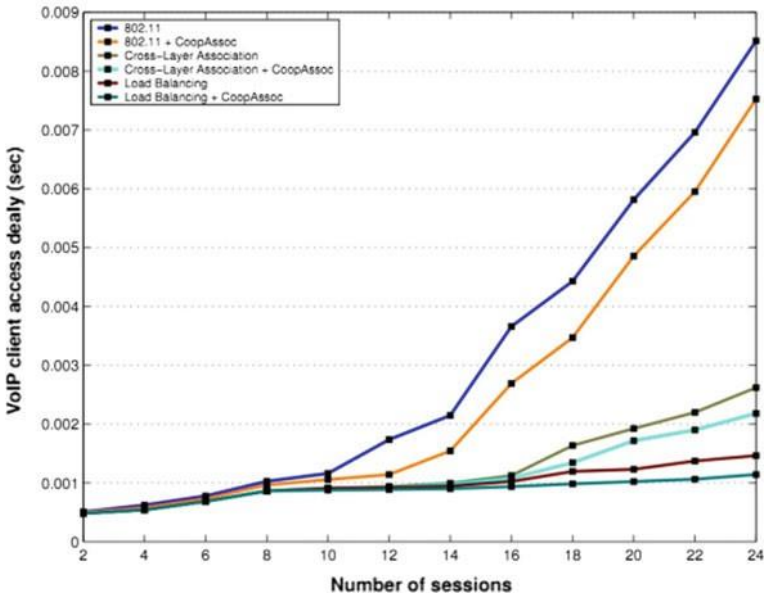
Gambar 12.5 Evaluasi kinerja jaringan akses mesh nirkabel dengan N = 20 dan c = 3

12.3 Penundaan Akses

Konsep asosiasi kooperatif diperkenalkan, di mana stasiun (STA) dapat berbagi informasi yang berguna untuk meningkatkan kinerja prosedur asosiasi / handoff. Prosedur asosiasi / handoff merupakan komponen penting dalam operasi yang seimbang dari 802.11 jaringan mesh nirkabel berbasis. Selanjutnya, memperkenalkan mekanisme load-balancing yang dapat mengontrol beban komunikasi setiap AP mesh secara terdistribusi. Ini telah mensimulasikan aplikasi VoIP di jaringan mesh nirkabel berbasis 802.11. skenario simulasi yang berbeda, di mana kami memvariasikan jumlah sesi VoIP yang didukung secara paralel.

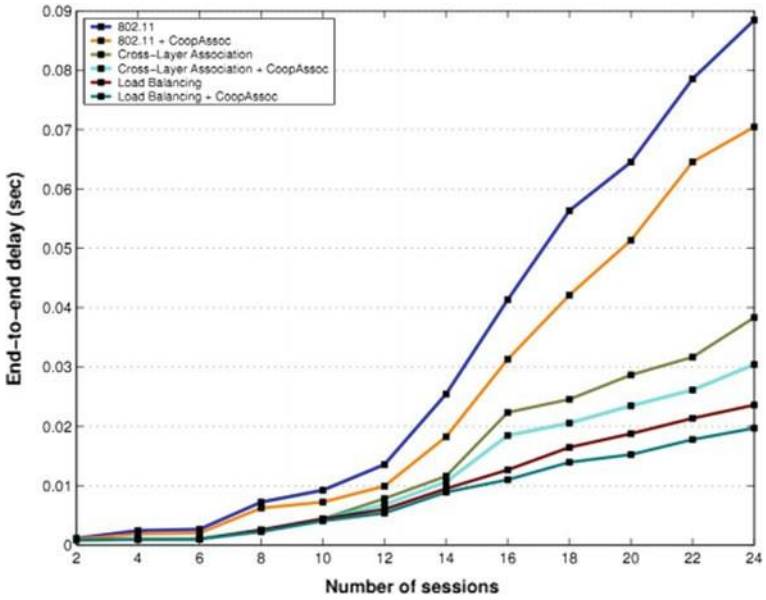
Pertama-tama, kami mengukur rata-rata penundaan akses klien lokal dalam jaringan. Dalam praktiknya, penundaan ini mencerminkan waktu dari saat paket dibuat hingga meninggalkan antarmuka klien. Gambar 12.6 menggambarkan rata-rata penundaan akses klien VoIP. Beban- mekanisme penyeimbangan (ditingkatkan dengan kerja sama) mencapai penundaan akses klien yang lebih rendah di jaringan. Mekanisme penyeimbang beban

meminimalkan penundaan akses saluran, sementara itu memberikan pernapasan sel ke sel yang kelebihan beban. STA terkait dikaitkan secara optimal untuk mempertahankan operasi jaringan yang seimbang Oleh karena itu, mekanisme penyeimbangan beban menjaga penundaan akses klien di tingkat rendah sementara operasi 802.11 tradisional membebani jaringan dan penundaan akses klien terus meningkat. Dalam kondisi beban tinggi, peningkatan penundaan yang diperkenalkan oleh mekanisme load balancing cukup mengesankan.

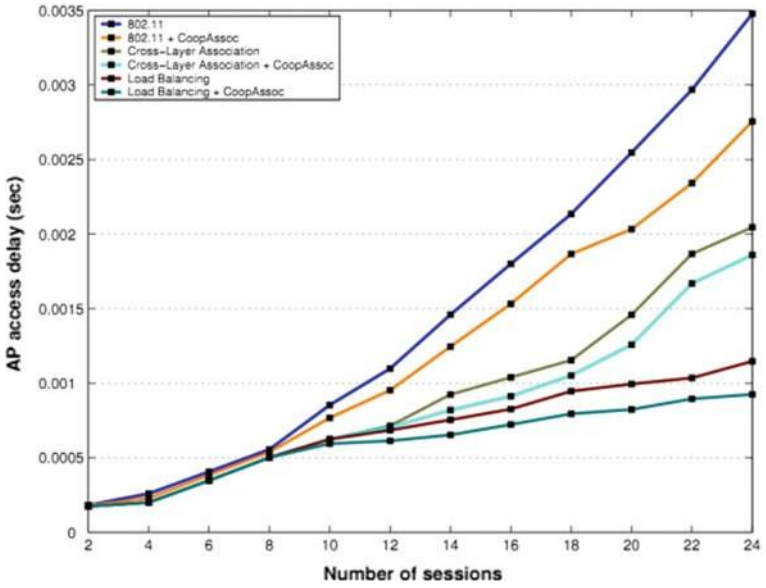


Gambar 12.6 Rata-rata penundaan VoIP

Gambar 12.7 menggambarkan rata-rata tundaan akses AP VoIP lokal dalam jaringan. Penundaan ini adalah waktu antara kedatangan paket VoIP ke AP sampai paket tersebut berhasil ditransmisikan melalui jaringan mesh nirkabel atau terputus. Jelas bahwa kita mendapatkan Mekanisme *load-balancing* (ditingkatkan dengan kerjasama) memiliki kinerja terbaik.Pada 802.11, AP yang kelebihan beban (dalam kondisi beban tinggi) memiliki banyak lalu lintas untuk diteruskan ke jaringan backhaul mesh.Konsekuensi utama adalah paket VoIP harus menunggu lama untuk ditransmisikan oleh AP, dengan cara ini menyebabkan penundaan akses AP yang sangat besar.



Gambar 12.7 Rata-rata penundaan akses AP



Gambar 12.8 Rata-rata keterlambatan ujung ke ujung

Pada Gambar 12.8, kami mengamati rata-rata end-to-end delay dalam pengiriman paket VoIP. End-to-end delay dipengaruhi oleh dua jenis delay sebelumnya yang telah kami jelaskan secara rinci dan delay routing yang Mekanisme load-balancing (ditingkatkan dengan kerja sama) mencapai penundaan ujung-ke-ujung yang lebih rendah di jaringan. Terutama dalam operasi jaringan beban tinggi, peningkatan penundaan sangat besar. Peningkatan ini benar karena Hasil yang paling menarik digambarkan pada Gambar. 12.8, operasi 802.11 murni dapat mendukung paling banyak 14 sesi secara paralel sedangkan mekanisme penyeimbang beban yang diusulkan memiliki kemampuan untuk mendukung 24 sesi secara paralel. Oleh karena itu, kami memperoleh sekitar 72,5% kinerja jaringan peningkatan kemampuan Kemampuan jaringan diperluas dengan menggunakan mekanisme penyeimbang beban yang canggih.

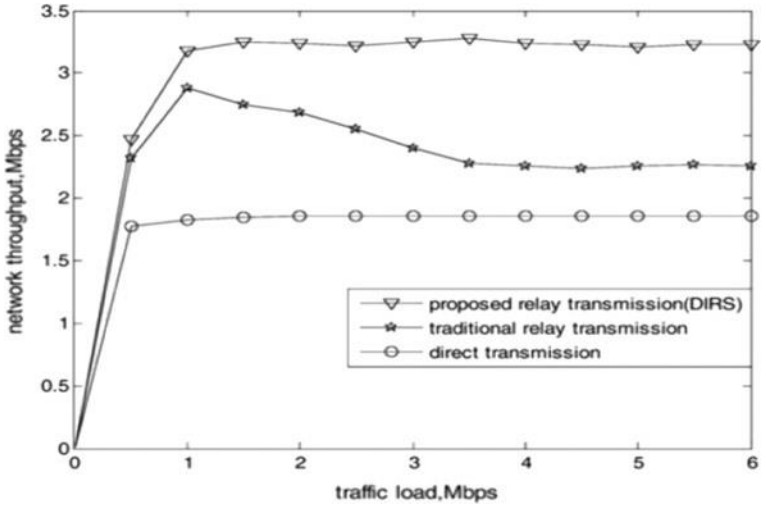
12.4 Mengurangi Dampak Interferensi Antar-simpul

Makalah mempelajari pemilihan relai interferensi-sadar untuk jaringan nirkabel berbasis IEEE 802.11 DCF dengan beberapa pasangan sumber-tujuan aktif Ini pertama-tama menggambarkan bahwa pemilihan relai tanpa mempertimbangkan interferensi antar-simpul akan menurunkan daripada meningkatkan kinerja jaringan dalam beberapa kasus Di bawah algoritma DIRS, setiap pasangan sumber-tujuan hanya memerlukan informasi lokal untuk memilih node relay secara independen tanpa pengetahuan topologi jaringan.Melalui simulasi, ini menunjukkan efektivitas algoritma DIRS yang diusulkan dan menggambarkan bahwa interferensi antar-node dapat dimitigasi dengan memilih relai secara efektif menggunakan DIRS.

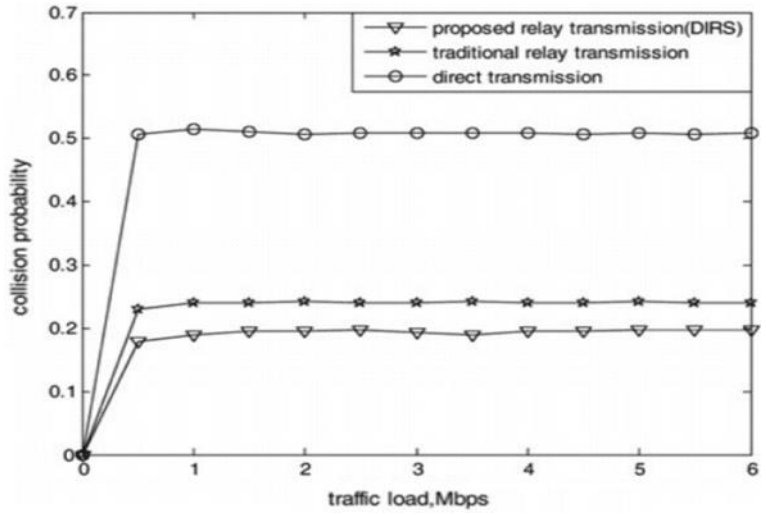
Gambar 12.9 mengungkapkan total throughput jaringan yang bervariasi dengan beban lalu lintas node sumber yaitu nilai x. Seiring dengan peningkatan beban lalu lintas setiap node, total throughput jaringan dari tiga pendekatan: transmisi relai yang kami usulkan, transmisi langsung, dan transmisi relai tradisional semua meningkat hingga saturasi, bagaimanapun, transmisi relai yang diusulkan selalu secara signifikan mengungguli transmisi langsung dan transmisi relai tradisional.Pada Gambar 12.9, perlu ditunjukkan fakta bahwa dalam kasus tertentu transmisi relai tradisional, total throughput jaringan menurun secara signifikan

Hal ini karena fakta bahwa mode transmisi relai tradisional, mengeksploitasi algoritma pemilihan relai yang murni berdasarkan kondisi saluran nirkabel dan tanpa mempertimbangkan interferensi antar-node. Ini mengabaikan dampak interferensi antar-node yang diterjemahkan ke dalam penurunan yang dihasilkan. di sepanjang ghput yang dapat kita hargai dalam grafik dan yang akan sangat mempengaruhi kinerja jaringan dari jaringan kooperatif dengan lalu lintas jaringan yang tinggi.Algoritme yang diusulkan (DIRS) mengatasi ini dengan memperhitungkan interferensi antar-simpul saat melakukan transmisi relai.

Gambar 12.10 menggambarkan probabilitas tabrakan yang mengadopsi tiga mode transmisi yang berbeda.Probabilitas tabrakan dari transmisi relai yang diusulkan, transmisi langsung, dan transmisi relai tradisional semuanya stabil seiring dengan peningkatan beban lalu lintas node sumber, namun, pertimbangan interferensi antar node oleh transmisi relai yang diusulkan menghasilkan probabilitas tabrakan yang selalu lebih rendah daripada transmisi langsung dan transmisi relai tradisional.Studi simulasi di bagian ini, di satu sisi, menunjukkan efektivitas algoritma DIRS yang diusulkan dan di sisi lain, mereka juga menggambarkan bahwa interferensi antar-simpul dapat dikurangi dengan memilih relai secara efektif dengan mempertimbangkan kondisi saluran nirkabel dan Rasio Idle Saluran (CIR) di jaringan nirkabel berbasis fungsi koordinasi terdistribusi (DCF) IEEE 802.11 dengan beberapa pasangan sumber-tujuan.



Gambar 12.9 Perbandingan throughput jaringan dari mode transmisi yang berbeda



Gambar 12.10 Probabilitas tabrakan mengadopsi tiga mode transmisi yang berbeda

12.5 Kesimpulan

Dalam bab ini, dengan menggunakan CAMMAC-802.11, throughput jaringan mesh nirkabel industri dapat ditingkatkan. Kita juga dapat mencapai keuntungan ini dengan menggunakan antena arah dan algoritma maksimalisasi throughput berbasis negosiasi. Untuk menghilangkan penundaan asosiasi / resonansi, aspek lain dari bab ini adalah bahwa interferensi antar-simpul dapat dikurangi dengan memilih relai secara efektif menggunakan DIRS. Di masa mendatang, kami akan fokus pada kombinasi metode untuk mendapatkan hasil yang jauh lebih efektif dan mempertimbangkan algoritme dan protokol dalam saluran yang tumpang tindih dan driver sumber terbuka Linux.

BAB 13
KONTROL AKSES MENENGAH 802.11 DCF DAN PCF
PERBANDINGAN KINERJA

13.1 Pendahuluan

Saat ini, standar 802.11 secara bertahap memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari maupun di industri dengan berbagai aplikasi dan keunggulan seperti biaya rendah, penyebaran cepat, konfigurasi fleksibel, dukungan mobilitas pengguna, dll. Dengan demikian, 802.11 juga menarik banyak perhatian. peneliti Seiring dengan evolusi standar ini dari 802.11 b, g, n ke ac, perbedaan utama adalah dalam metode modulasi dan peningkatan pada lapisan PHY, mekanisme kontrol akses menengah hampir tidak berubah kecuali HCF yang merupakan mekanisme opsional untuk aplikasi yang sensitif terhadap penundaan. diperlukan untuk standar 802.11 kinerja yang lebih tinggi ketika peningkatan pada lapisan PHY lebih mendekati batasan teoritis.

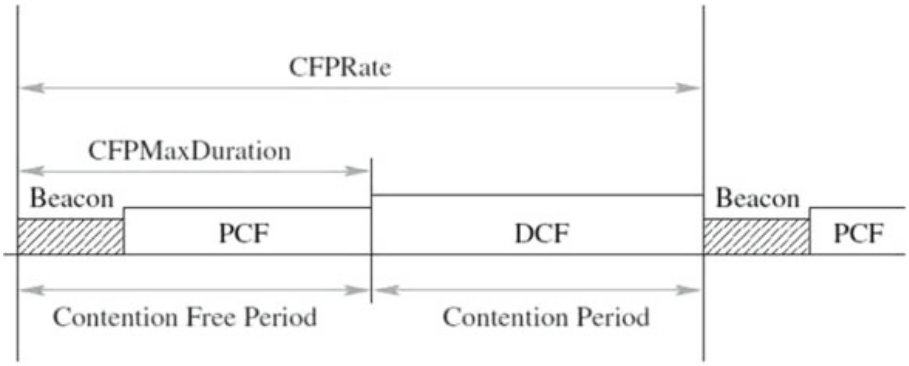
Ada dua mekanisme akses berbeda yang banyak digunakan untuk mendapatkan akses ke media nirkabel bersama: mekanisme akses dasar, yang disebut Distributed Coordinate Function (DCF), dan mekanisme akses yang dikendalikan secara terpusat, yang disebut Point Coordinate Function (PCF). mengimplementasikan algoritma Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA / CA) dengan algoritma backoff eksponensial biner untuk mengakses media. Mekanisme ini menyediakan jenis layanan upaya terbaik untuk transfer data. DCF menggunakan handshaking dua arah atau empat. Di PCF, titik akses dalam setiap jaringan Basic Service Set (BSS) melakukan peran sebagai Point Coordinator (PC).Setiap superframe terdiri dari Contention Period (CP), di mana DCF digunakan dan Contention-Free Period (CFP) dimana PC Digunakan F. Bersama-sama CFP dan CP diulang setelah setiap CFP Repetition Interval (CFPR).PCF harus berdampingan dengan metode DCF.Dengan demikian periode PCF akan terjadi secara berkala.

13.2 Protokol Akses Media IEEE 802.11

Bagian ini secara singkat membahas protokol akses media IEEE 802.11 Standar 802.11 menetapkan Layer Medium Access Control (MAC) umum, yang menyediakan berbagai fungsi yang mendukung pengoperasian LAN nirkabel berbasis 802.11. Layer MAC bertanggung jawab untuk mengkoordinasikan Standar lapisan fisik seperti IEEE 802.11, 802.11a dan 802.11b berbagi arsitektur lapisan MAC yang sama.Lapisan MAC 802.11 menggunakan lapisan PHY 802.11 untuk penginderaan pembawa, transmisi, dan menerima bingkai 802.11.Lapisan MAC 802.11 mendefinisikan dua mode operasi: Fungsi Koordinat Terdistribusi (DCF) dan Fungsi Koordinat Titik (PCF) (Gambar. 13.1).

Dalam saluran nirkabel, transmisi dipisahkan oleh celah antar-paket yang dikenal sebagai Inter-Frame Spaces (IFS). Akses saluran diberikan berdasarkan kelas prioritas yang berbeda. Kelas-kelas ini dipetakan pada durasi celah yang berbeda. Distributed-IFS (DIFS, juga dikenal Sementara SIFS adalah durasi waktu terpendek, seperti ruang antar-bingkai

DCF), Priority-IFS (PIFS, juga dikenal sebagai jarak antar-bingkai PCF), dan Short-IFS (SIFS) adalah interval waktu berbeda yang digunakan dalam domain nirkabel Selain itu, IEEE 802.11 MAC menggunakan teknik lain berdasarkan mekanisme penginderaan pembawa virtual untuk melawan tabrakan.Teknik ini menggunakan entitas khusus yang dikenal sebagai Network Allocation Vector (NAV) Node yang mentransmisikan frame akan menyertakan durasi transmisi yang tersisa, yaitu disalin ke nilai NAV oleh n. Node yang mentransmisikan frame akan menyertakan durasi transmisi yang tersisa, yang disalin ke nilai NAV oleh n. node yang sedang mengirim. Sebuah node tidak diperbolehkan untuk mentransmisikan ketika nilai NAV bukan nol bahkan dalam kasus operasi CSMA mengungkapkan saluran yang menganggur. Kerangka waktu dan nilai NAV ini digunakan di DCF dan PCF untuk menyediakan bebas tabrakan penularan.



Gambar 13.1 DCF dan PCF superframe IEEE 802.11

13.2.1 Fungsi Koordinat Terdistribusi (DCF)

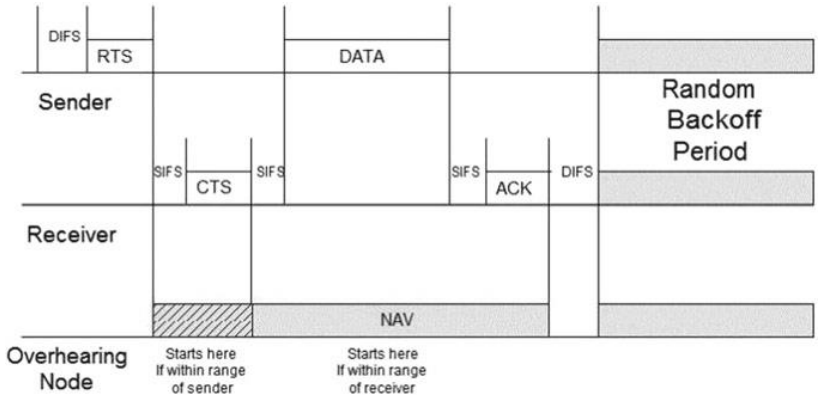
DCF menggunakan mekanisme carrier sense multiple access dengan mekanisme penghindaran tabrakan (CSMA / CA) untuk mengakses saluran. Selain itu, DCF juga menyertakan mekanisme backoff acak eksponensial biner untuk memastikan kemungkinan tabrakan yang rendah. Hal ini terkenal karena transmisi data asinkronnya (atau yang terbaik) -effort service). DCF adalah mekanisme akses media dasar untuk mode ad hoc dan infrastruktur. Dalam mode DCF, stasiun harus memastikan bahwa media bebas sebelum mulai mentransmisikan data melalui saluran. Dalam kasus saluran sibuk , Selain itu, node harus menunggu sejumlah waktu IFS lainnya untuk menyediakan celah yang cukup antara transmisi frame berikutnya.

Node yang beroperasi dalam mode DCF menggunakan ruang antar-bingkai terdistribusi (DIFS) (biasanya 50 ms untuk 802.11b) untuk mengirimkan frame MAC. Ada dua aturan dasar yang harus diikuti oleh setiap node yang beroperasi dalam mode DCF. Pertama setiap stasiun yang memiliki data untuk ditransmisikan harus mengkonfirmasi bahwa saluran itu menganggur setidaknya selama jumlah waktu DIFS Kedua, ia harus menunggu sejumlah waktu acak ketika memiliki datagram lain untuk ditransmisikan setelah transmisi berhasil atau memiliki datagram untuk ditransmisikan tetapi Itu ditolak akses saluran, karena saluran sedang sibuk. Lebih khusus lagi, stasiun memilih nomor acak yang disebut waktu backoff, dalam kisaran 0 dan jendela pertentangan (CW). Setiap kali operasi indera pembawa

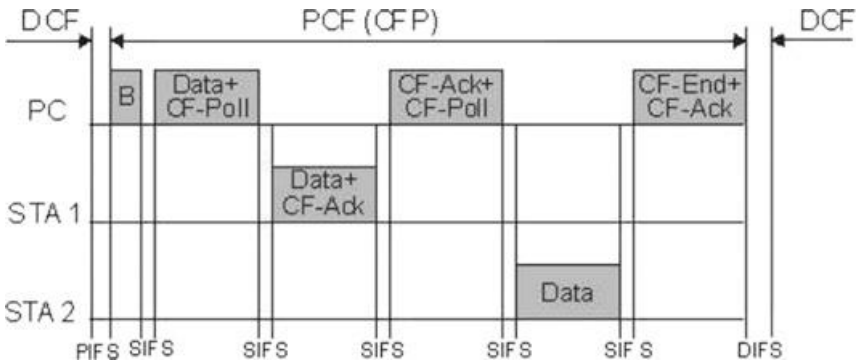
mendeteksi media yang menganggur, Jika tabrakan terjadi setelah berakhirnya timer backoff, CW digandakan dan prosedur backoff baru akan dimulai.

Standar IEEE 802.11b menentukan transmisi pengakuan untuk setiap penerimaan datagram yang berhasil. Ini akan memungkinkan pemancar untuk mendeteksi tabrakan dan mengirim ulang data. Pemancar mengharapkan pengakuan dalam kerangka waktu SIFS. Hanya setelah menerima bingkai ACK dengan benar, pemancar Kerangka waktu SIFS dan DIFS memungkinkan pasangan yang berkomunikasi untuk menyelesaikan urutan pertukaran bingkai tanpa tabrakan Gambar 13.2 menjelaskan berbagai fase yang terlibat dalam mode DCF Dapat diamati bahwa transmisi data harus melalui fase seperti penangguhan DIFS, pertentangan fase, transmisi data, penangguhan SIFS, dan fase transmisi ACK sebelum menyelesaikan pertukaran bingkai.

Sementara DCF adil dengan semua node yang ada di jaringan, DCF tidak bekerja dengan baik dengan node yang mengirim / menerima lalu lintas multimedia.Hal ini karena fakta bahwa setiap node harus bersaing untuk media dalam hal ini node dengan lalu lintas multimedia penulis telah menyimpulkan bahwa meskipun DCF menyediakan akses saluran bebas kebuntuan, ada kemungkinan bahwa sebuah node mungkin benar-benar kekurangan akses saluran.



Gambar 13.2 Contoh untuk fungsi koordinasi terdistribusi



Gambar 13.3 Contoh fungsi koordinasi titik

13.2.2 Fungsi Koordinat Titik (PCF)

PCF adalah kemampuan opsional yang menyediakan transfer frame bebas konflik. Dalam BSS, *Access Point* (AP) juga menjalankan fungsi *Point Coordinator* (PC). Semua stasiun harus mematuhi aturan akses media PCF, karena Aturan-aturan ini didasarkan pada DCF, dan

mereka menetapkan NAV-nya di awal setiap Periode Bebas Pertikaian (CFP) Gambar 13.3 menunjukkan cara kerja mekanisme PCF.

PC aktif harus hadir dengan AP, yang membatasi operasi PCF ke jaringan infrastruktur. Frame data yang dikirim oleh, atau sebagai tanggapan terhadap polling oleh, PC selama CFP harus menggunakan subtipe data yang sesuai. Untuk memulai CFP, PC memperoleh Jika PC memiliki beberapa data untuk dikirim ke node kemudian mengirimkan data D1 bersama. Ini adalah bingkai kontrol yang memiliki semua atribut yang digunakan dalam periode CFP. Hanya stasiun-stasiun yang PCF diaktifkan yang merespons CF-POLL. Dengan cara ini , PC membuat daftar polling dari semua node yang mendukung PCF. Daftar ini diatur menurut alamat MAC node.

Setelah menerima CF-POLL, stasiun menunggu periode waktu SIFS dan kemudian merespons dengan bingkai data U1 bersama dengan pengakuan data D1 yang diterima atau jika mereka tidak memiliki data untuk dikirim maka mereka akan mengirim bingkai nol untuk melepaskan media. D1 tidak menunggu stasiun PCF yang tidak memiliki data untuk dikirim Setelah menunggu periode SIFS, jika PC tidak menerima data atau null frame maka akan mengulang polling dari node yang sama. Node tersebut disurvei terlebih dahulu pada periode CFP berikutnya dan proses yang sama berulang pada periode CFP berikutnya. Kemudian node tersebut turun pada periode CFP tersebut dan pindah ke stasiun berikutnya. Ukuran maksimum CFP akan menentukan CF-Max- Bidang durasi yang juga dapat diatur.Interval pengulangan CFP digunakan untuk menentukan frekuensi terjadinya PCF.

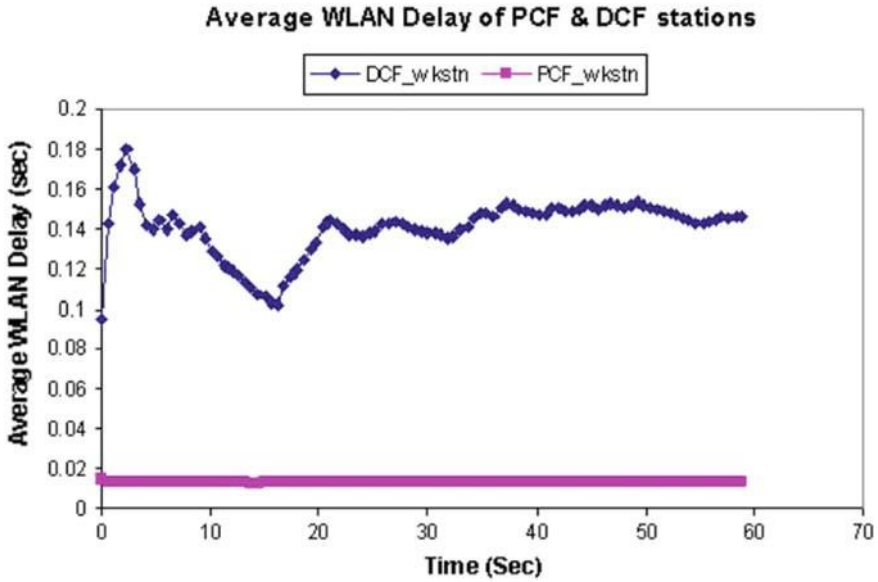
Karakteristik operasi PCF sedemikian rupa sehingga semua stasiun dapat beroperasi dengan baik di hadapan BSS di mana PC beroperasi, dan, jika dikaitkan dengan BSS terkoordinasi titik, dapat menerima semua frame yang dikirim di bawah kendali PCF. Stasiun yang mampu merespon CF-Polls disebut sebagai CF-Pollable, dan dapat meminta untuk dipolling oleh PC yang aktif. Stasiun CF-Pollable dan PC tidak menggunakan RTS/CTS dalam CFP. penerima yang dituju dari transmisi CF tidak CF-Pollable, stasiun tersebut mengakui transmisi menggunakan aturan peringatan DCF, dan PC tetap mengontrol media.

13.3 Perbandingan Kinerja

Bagian ini memberikan perbandingan DCF dan PCF dalam hal delay akses dan throughput.Melalui perbandingan dan hasil simulasi, karakteristik DCF dan PCF akan terlihat lebih jelas.

Dalam skenario yang dipertimbangkan pertama, hasil simulasi membandingkan penundaan rata-rata WLAN stasiun PCF dan DCF Karena mereka tidak memiliki pertentangan saat mengakses media dan membutuhkan lebih sedikit transmisi ulang, penundaan yang dialami oleh paket yang diterima oleh stasiun PCF secara signifikan lebih rendah dari penundaan paket DCF seperti pada Gambar 13.4. Selain itu, stasiun PCF juga mengamati lebih sedikit variasi dalam nilai penundaan paket yang diterima, yang dapat menjadi persyaratan kualitas utama untuk beberapa jenis aplikasi. Fluktuasi penundaan DCF karena berbagai backoff Namun, semua stasiun dalam simulasi aktif dan STA yang tidak aktif tidak disebutkan.

Dalam pendekatan lain, analisis teoretis menggambarkan bahwa dalam lingkungan praktis PCF menemui masalah tentang overhead polling. Terutama, ia memiliki banyak STA tidak aktif dalam jangkauan PC. Karena PC adalah koordinator pusat yang menjadwalkan akses saluran untuk Pada awal CFP, ia mengumpulkan semua stasiun dalam mode Round-Robin. STA yang menerima polling merespons kembali, baik dengan mengirimkan data atau bingkai data nol. Dengan demikian, banyak stasiun yang tidak aktif. menyebabkan overhead yang signifikan karena banyak bingkai nol yang ditransmisikan.Waktu overhead dapat dihitung sebagai berikut:



Gambar 13.4 Rata-rata penundaan WLAN untuk PCF terhadap stasiun DCF

$$T_{\text{PollFail}} = T_{\text{Poll}} + \text{SIFS} + T_{\text{Null}} + \text{SIFS} \qquad (1.1)$$

Overhead polling juga dipengaruhi oleh ukuran paket: ukuran paket yang lebih besar, overhead polling yang lebih rendah. Karena dengan ukuran paket yang besar, STA aktif merebut saluran dalam waktu lebih lama dan kemudian rasio T PollFail berkurang. Setiap metode kontrol akses media memiliki keunggulan dibandingkan PCF membutuhkan kinerja yang lebih tinggi dalam transmisi kepadatan tinggi daripada DCF, tetapi lingkungan memiliki banyak STA yang tidak aktif, PCF memenuhi masalah overhead polling yang menyebabkan pemborosan waktu akses menengah serta sumber daya pemrosesan dan energi PC, STA. lebih sedikit sumber daya, memiliki penundaan yang lebih baik dalam kepadatan transmisi yang rendah terlepas dari jumlah node yang tidak aktif, tetapi karena pertentangan, kinerja DCF akan turun ketika jumlah node aktif meningkat.

13.4 Kesimpulan

Bab ini merinci karakteristik DCF dan PCF —dua mekanisme akses saluran penting di IEEE 802.11 Tinjauan tentang 802.11 MAC diperkenalkan terlebih dahulu, kemudian mekanisme PCF dan DCF dijelaskan secara rinci di Bagian 13.2. Juga, bab ini menyajikan perbandingan antara DCF PCF dalam dua skenario Hasil simulasi serta hasil analisis teoritis

menyoroti keuntungan dan masalah mekanisme akses dalam setiap kasus Melalui perbandingan ini, studi baru tentang koeksistensi optimal DCF dan PCF di IEEE 802.11 dapat diselidiki node tidak aktif untuk lebih baik kinerja, dan periode pertentangan adaptif dapat mengambil keuntungan dari mekanisme DCF.

BAB 14
TEKNOLOGI ULTRA-WIDEBAND DAN APLIKASINYA

14.1 Pendahuluan

Ultra-Wideband (UWB) adalah teknologi yang diantisipasi untuk mendominasi pasar jaringan rumah dan akhirnya memberikan alternatif LAN yang murah kepada operator. Ini menawarkan kecepatan data yang sangat tinggi, daya rendah, biaya lebih murah. UWB menyediakan 100 kali kecepatan data solusi Bluetooth dan memungkinkan transmisi data dalam jumlah besar yaitu file video antara TV atau PC serta memungkinkan aplikasi video berkualitas tinggi untuk perangkat portabel.

Bluetooth, yang dinamai menurut nama Denmark King Harold Bluetooth abad kesepuluh, adalah topik hangat di kalangan pengembang nirkabel. Ini dirancang untuk memungkinkan koneksi nirkabel bandwidth rendah untuk digunakan secara sederhana dan terintegrasi dengan mulus dalam jarak pendek (10 m).Teknologi nirkabel Bluetooth adalah Ini adalah standar yang tersedia secara global yang secara nirkabel menghubungkan ponsel, komputer portabel, mobil, headset stereo, pemutar MP3, dan banyak lagi.

Ada lebih dari 50 perusahaan yang membuat chip UWB di seluruh dunia, termasuk Intel Corp. UWB adalah teknologi yang sangat signifikan tetapi juga menghadapi rintangan peraturan yang serius. Sulit bagi UWB untuk bergerak maju. AS adalah satu-satunya negara yang menyetujui spektrum untuk digunakan Dengan radio UWB. Pada akhirnya, keberhasilan UWB akan tergantung pada biayanya yang rendah. Dengan bandwidth yang lebih tinggi, UWB akan diadopsi di Personal Area Network (PAN) nirkabel perusahaan. Dengan standar teknis yang sesuai, perangkat UWB dapat beroperasi menggunakan spektrum yang ditempati oleh radio yang ada UWB akan menjadi komunikasi zaman baru atau akhir dari teknologi lama, dan mungkin keduanya akan tetap ada. Bab ini menyajikan ikhtisar teknologi UWB dan aplikasi potensialnya. , dan standar regulasi UWB di seluruh dunia. Dorongan dan keuntungan singkat UWB / kelemahan UWB juga disajikan.

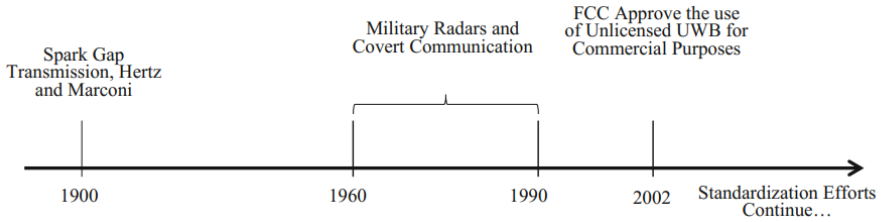
14.2 Sejarah dan Latar Belakang

Komunikasi ultra-wideband pada dasarnya berbeda dari semua teknik komunikasi lainnya karena menggunakan pulsa RF yang sangat sempit untuk berkomunikasi antara pemancar dan penerima. Memanfaatkan pulsa berdurasi pendek sebagai blok bangunan untuk komunikasi secara langsung menghasilkan bandwidth yang sangat lebar dan menawarkan beberapa keunggulan, seperti throughput yang besar, kerahasiaan, ketahanan terhadap jamming, dan koeksistensi dengan layanan radio saat ini.

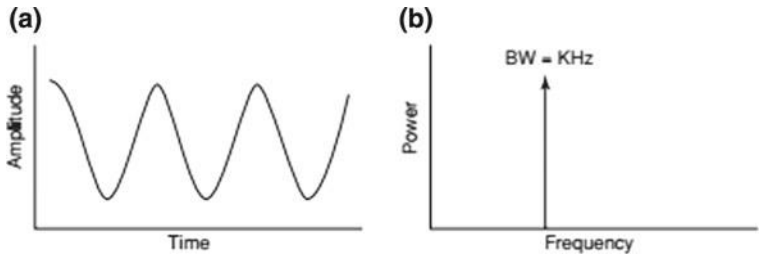
Komunikasi ultra-wideband bukanlah teknologi baru, bahkan pertama kali digunakan oleh Guglielmo Marconi pada tahun 1901 untuk mengirimkan urutan kode Morse melintasi Samudra Atlantik menggunakan pemancar radio celah percikan. sistem multiuser yang disediakan oleh pulsa elektromagnetik tidak pernah dipertimbangkan pada waktu itu.

Sekitar lima puluh tahun setelah Marconi, transmisi berbasis pulsa modern memperoleh momentum dalam aplikasi militer dalam bentuk radar impuls. Beberapa pelopor komunikasi UWB modern di Amerika Serikat dari akhir 1960-an didirikan seperti Henning Harmuth dari Catholic University of America Dan Gerald Ross dan KW Robins dari Sperry Rand Corporation Dari tahun 1960-an hingga 1990-an, teknologi ini terbatas pada aplikasi militer dan Departemen Pertahanan (DoD) di bawah program rahasia seperti komunikasi yang sangat aman. Kemajuan dalam pemrosesan mikro dan peralihan cepat dalam teknologi semikonduktor telah membuat UWB siap untuk aplikasi komersial.Oleh karena itu, lebih tepat untuk mempertimbangkan UWB sebagai nama baru untuk teknologi yang sudah lama ada.

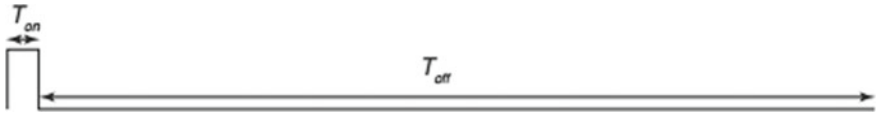
Karena minat komersialisasi UWB telah meningkat selama beberapa tahun terakhir, pengembang sistem UWB mulai menekan FCC untuk menyetujui UWB untuk penggunaan komersial.Pada bulan Februari 2002, FCC menyetujui First Report and Order (R&O) untuk penggunaan komersial teknologi UWB di bawah batas emisi daya yang ketat untuk berbagai perangkat Gambar 14.1 merangkum garis waktu pengembangan UWB.



Gambar 14.1 Sejarah singkat perkembangan UWB



Gambar 14.2 Sebuah sinyal narrowband dalam domain waktu dan b domain frekuensi



Gambar 14.3 Sebuah pulsa *low-duty-cycle* T on menunjukkan waktu pulsa ada dan T off mewakili waktu pulsa tidak ada

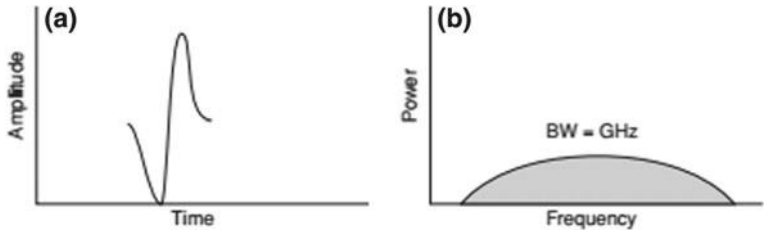
14.3 Konsep UWB

Sistem komunikasi pita sempit tradisional memodulasi sinyal RF bentuk gelombang kontinu (CW) dengan frekuensi pembawa tertentu untuk mengirim dan menerima informasi. Bentuk gelombang kontinu memiliki energi sinyal yang terdefinisi dengan baik dalam pita frekuensi sempit yang membuatnya sangat rentan terhadap deteksi dan intersepsi. Gambar 14.2 mewakili sinyal pita sempit dalam domain waktu dan frekuensi.

Seperti disebutkan dalam Bagian 12.2, sistem UWB menggunakan pulsa tanpa pembawa, durasi pendek (pikosekon hingga nanodetik) dengan siklus tugas yang sangat rendah (kurang dari 0,5%) untuk transmisi dan penerimaan informasi. Definisi sederhana untuk tugas siklus adalah rasio waktu pulsa hadir untuk total waktu transmisi Gambar 14.3 dan Persamaan 14.1 mewakili definisi siklus.

$$\text{Duty cycle} = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{on}} + T_{\text{off}}} \qquad (14.1)$$

Siklus tugas rendah menawarkan daya transmisi rata-rata yang sangat rendah dalam sistem komunikasi UWB. Daya transmisi rata-rata sistem UWB berada di urutan mikrowatt, yang seribu kali lebih kecil daripada daya transmisi ponsel! puncak atau daya sesaat dari masing-masing pulsa UWB bisa relatif besar, tetapi karena mereka ditransmisikan hanya untuk waktu yang sangat singkat (T pada <1 ns), daya rata-rata menjadi jauh lebih rendah.

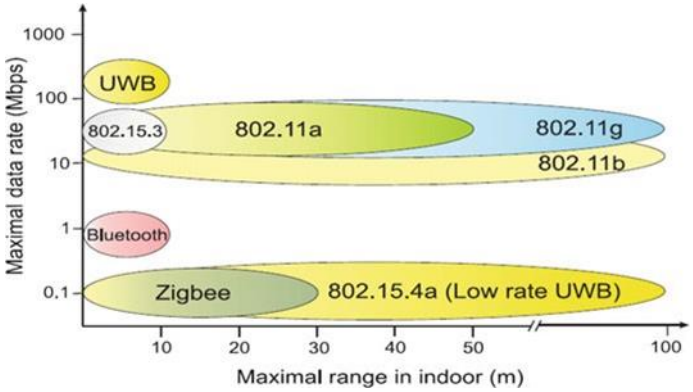


Gambar 14.4 Sebuah pulsa UWB dalam domain waktu dan domain frekuensi b Bandingkan bandwidth dan kerapatan spektral daya dengan sinyal narrowband pada Gambar 14.2

Karena frekuensi berbanding terbalik dengan waktu, durasi pulsa UWB menyebarkan energinya ke berbagai frekuensi—dari dekat DC hingga beberapa gigahertz (GHz) —Dengan kerapatan spektral daya (PSD) yang sangat rendah Gambar 14.4 mengilustrasikan pulsa UWB dalam domain waktu dan frekuensi.

14.3.1 Kecepatan Data Tinggi

UWB dapat menangani lebih banyak aplikasi bandwidth-intensif seperti streaming video, daripada 802.11 atau Bluetooth karena dapat mengirim data dengan kecepatan yang jauh lebih cepat.Teknologi UWB memiliki kecepatan data sekitar 100 Mbps, dengan kecepatan hingga 500 Mbps, Ini dibandingkan dengan kecepatan maksimum 11 Mbps untuk 802.11b (sering disebut sebagai Wi-Fi) yang merupakan teknologi yang saat ini digunakan di sebagian besar LAN nirkabel; dan 54 Mbps untuk 802.11a, yaitu Wi-Fi pada 5 MHz. Bluetooth memiliki kecepatan data sekitar 1 Mbps (Gambar 14.5).



Gambar. 14.5 Jangkauan maksimum dan kecepatan data dari berbagai teknologi nirkabel

14.3.2 Konsumsi Daya Rendah

UWB mentransmisikan impuls pendek secara konstan alih-alih mentransmisikan gelombang termodulasi secara terus menerus seperti yang dilakukan kebanyakan sistem pita sempit. Chipset UWB tidak memerlukan konversi Frekuensi Radio (RF) ke Frekuensi Menengah (IF), osilator lokal, mixer, dan filter lainnya. Karena daya rendah konsumsi, perangkat bertenaga baterai seperti kamera dan ponsel dapat digunakan di UWB.

14.3.3 Kekebalan Gangguan

Karena transmisi daya rendah dan frekuensi tinggi, interferensi agregat USB "tidak terdeteksi" oleh penerima pita sempit. Kepadatan spektral dayanya berada pada atau di bawah lantai kebisingan termal pita sempit. Hal ini menimbulkan potensi bahwa sistem UWB dapat hidup berdampingan dengan sistem radio pita sempit yang beroperasi di spektrum yang sama tanpa menyebabkan interferensi yang tidak semestinya.

14.3.4 Keamanan Tinggi

Karena sistem UWB beroperasi di bawah tingkat kebisingan, mereka secara inheren terselubung dan sangat sulit untuk dideteksi oleh pengguna yang tidak diinginkan.

14.3.5 Rentang yang Wajar

Kelompok Studi IEEE 802.15.3a mendefinisikan 10 m sebagai jangkauan minimum pada kecepatan 100 Mbps Namun, UWB dapat melangkah lebih jauh.Perusahaan Philips telah menggunakan teknologi Digital Light Processor (DLP) pada perangkat UWB sehingga dapat beroperasi lebih dari 45 kaki pada 50 Mbps untuk empat layar DVD.

14.3.6 Kapasitas Saluran Besar

Kapasitas saluran dapat dinyatakan sebagai jumlah transmisi bit data / detik Karena, sinyal UWB memiliki beberapa gigahertz bandwidth yang tersedia yang dapat menghasilkan kecepatan data yang sangat tinggi bahkan dalam gigabit / detik UWB dapat dipahami dengan baik oleh memeriksa persamaan kapasitas terkenal Shannon:

$$C = B * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right), \qquad (14.2)$$

di mana C adalah kapasitas saluran dalam bit / detik, B adalah bandwidth saluran dalam Hz, S adalah kekuatan sinyal dan N adalah kekuatan noise. Persamaan ini memberi tahu kita

bahwa kapasitas saluran tumbuh secara linier dengan bandwidth W, tetapi hanya secara logaritmik dengan kekuatan sinyal S.

Karena saluran UWB memiliki bandwidth yang berlimpah, ia dapat menukar sebagian bandwidth dengan pengurangan daya sinyal dan interferensi dari sumber lain.Dengan demikian, dari persamaan Shannon kita dapat melihat bahwa sistem UWB memiliki potensi besar untuk komunikasi nirkabel berkapasitas tinggi.

14.3.7 Kompleksitas Rendah, Biaya Rendah

Teknik untuk menghasilkan sinyal UWB. Di UWB, Karena tidak adanya Carrier, struktur transceiver mungkin sangat sederhana. Teknik untuk menghasilkan sinyal UWB. Telah ada selama lebih dari tiga Dekade. Kemajuan terbaru dalam proses silikon dan kecepatan switching membuat UWB sistem berbiaya rendah. Juga perangkat nirkabel UWB rumah tidak memerlukan penguat daya pemancar. Ini adalah keuntungan besar dibandingkan arsitektur pita sempit yang memerlukan penguat dengan daya mundur yang signifikan untuk mendukung bentuk gelombang modulasi orde tinggi untuk kecepatan data tinggi.

14.3.8 Resistensi terhadap Jamming

Oleh karena itu, sinyal UWB relatif tahan terhadap jamming, karena tidak mungkin melakukan jamming pada setiap frekuensi dalam spektrum UWB dalam satu waktu, sehingga tersedia banyak rentang frekuensi meskipun ada beberapa frekuensi yang macet.

14.3.9 Skalabilitas

Sistem UWB sangat fleksibel karena arsitektur umum mereka adalah perangkat lunak yang dapat didefinisikan ulang sehingga dapat secara dinamis menukar throughput data tinggi untuk jangkauan.

14.4 Teknologi UWB

Dalam waktu dekat teknologi ini dapat melihat peningkatan penggunaan untuk komunikasi nirkabel jarak pendek berkecepatan tinggi, jaringan jarak dekat dan ad hoc. Ada dua teknologi yang bersaing untuk komunikasi nirkabel UWB, yaitu: Impulse Radio (IR) dan Multi-band OFDM (MB) -OFDM). Teknik IR didasarkan pada transmisi pulsa yang sangat pendek dengan energi yang relatif rendah. Pendekatan MB-OFDM membagi spektrum frekuensi UWB menjadi beberapa pita yang tidak tumpang tindih dan untuk setiap transmisi pita adalah OFDM. Beberapa proposal berdasarkan ini dua teknologi telah diajukan ke IEEE 802.15.3a.Kedua teknologi tersebut valid dan kredibel.

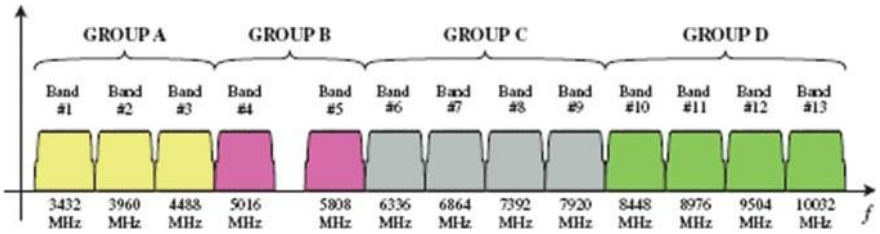
14.4.1 Radio Impuls

Dalam pulsa radio impuls UWB dengan durasi yang sangat pendek (biasanya dalam urutan sub-nanodetik) ditransmisikan Karena pulsa yang sangat sempit spektrum sinyal mencapai beberapa GHz bandwidth. Radio impuls UWB adalah transmisi tanpa pembawa. Teknologi ini memiliki daya pancar yang rendah dan karena sempitnya spektrum yang ditransmisikan memiliki resolusi waktu yang baik Penerapan teknik ini sangat sederhana karena tidak memerlukan mixer yang berarti pemancar dan penerima berbiaya rendah *Direct Sequence Ultra-Wideband* (DS-UWB) dan *Time Hopping Ultra-Wideband* (TH-UWB) adalah dua varian dari teknik IR.

Teknik IR ini DS-UWB dan TH-UWB adalah teknik akses ganda yang berbeda yang menyebarkan sinyal melalui bandwidth yang sangat lebar. Karena menyebarkan sinyal melalui a. Perlu disebutkan bahwa *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) dan *Time Hopping Spread Spectrum* (THSS) dapat dipertimbangkan. d mirip dengan DS-UW Band TH-UWB, masing-masing. Namun ada perbedaan antara sistem spread spectrum dan IR-UWB. Kedua sistem memanfaatkan bandwidth yang diperluas, sedangkan metode yang berbeda digunakan untuk mendapatkan bandwidth yang besar. Dalam teknik spread-spectrum konvensional, sinyal adalah sinusoidal gelombang kontinu yang dimodulasi dengan frekuensi pembawa tetap, sedangkan di IR-UWB (yaitu, DS-UWB dan TH-UWB), sinyal pada dasarnya adalah baseband dan pulsa UWB sempit Untuk sinyal UWB bandwidth harus lebih tinggi dari 500 MHz, sedangkan untuk teknik spread spectrum bandwidth jauh lebih kecil (biasanya dalam orde beberapa MHz).

14.4.2 OFDM Multiband

Multi-band Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MB-OFDM) adalah salah satu teknologi UWB yang menggunakan metode OFDM.OFDM Multi-Band menggabungkan teknik OFDM dengan pendekatan multi-band.Spektrum dibagi menjadi beberapa sub-band dengan 10 dB bandwidth minimal 500 MHz (Gambar. 14.6).



Gambar 14.6 Usulan rencana pita frekuensi MB-OFDM

Informasi tersebut kemudian disisipkan melintasi sub-band dan kemudian ditransmisikan melalui teknik multi-carrier (OFDM).Salah satu usulan standar lapisan fisik untuk Wireless Personal Area Networks (WPANs) kecepatan tinggi masa depan menggunakan teknik MB- OFDM. Usulan MB-OFDM WPANs ini, spektrum antara 3,1 dan 10,6 GHz dibagi menjadi 14 pita dengan bandwidth 528 MHz yang dapat ditambahkan atau diturunkan tergantung pada interferensi dari, atau ke, sistem lain. Tiga pita yang lebih rendah digunakan untuk operasi standar , yang wajib, dan sisa pita dialokasikan untuk penggunaan opsional atau ekspansi di masa mendatang. Teknologi MB-OFDM menjanjikan kecepatan data sekitar 110 Mbps pada jarak 10 m. Untuk aplikasi sensor nirkabel UWB, kecepatan data rendah , tetapi cakupan (berharap) mungkin jauh lebih besar dari 10 m. MB-OFDM mungkin memerlukan tinggi tinggi Teknik MB-OFDM kuat untuk multipath yang hadir di saluran nirkabel.

Keuntungan dari teknik MB-OFDM adalah sebagai berikut:

1. Menangkap energi multipath dengan rantai RF tunggal
2. Ketidakpekaan terhadap variasi penundaan grup
3. Kemampuan untuk menangani gangguan pita sempit pada penerima

4. Arsitektur synthesizer yang disederhanakan melonggarkan persyaratan waktu peralihan pita.

Kerugiannya adalah sebagai berikut:

1. Pemancar lebih kompleks karena IFFT
2. Rasio daya puncak-ke-rata-rata yang tinggi
3. Masalah sinkronisasi OFDM.

Tabel 14.1 Perbandingan spesifikasi teknik MB-OFDM dan IR DS-UWB untuk WPAN

Spesifikasi Spesifikasi	MB_OFDM	IR (DS-UWB)
Jumlah sub-band	3 wajib, hingga 14	2 (3,1–4,85 GHz dan
Bandwidth sub-band	528 MHz	6,2–9,7 GHz)
Jumlah sub-operator	122	1,75 GHz (pita bawah)
Faktor penyebaran	1, 2	3,5 GHz (pita lebih tinggi)
Kecepatan data (Mbps)	55, 80, 110, 160, 200, 320, 480	Tidak ada sub-carrier (sinyal baseband)
Modulasi	QPSK	1–24
Akses ganda	Berdasarkan kode waktu frekuensi	28, 55, 110, 220, 500, 660, 1000,

14.4.3 Perbandingan Teknologi UWB

Perbandingan teknik IR DS-UWB dan MB-OFDM UWB dalam hal interferensi dari, atau ke, sistem lain, ketahanan terhadap multipath, kinerja, kompleksitas sistem, dan kinerja laju data rentang yang dapat dicapai untuk aplikasi WPAN disediakan seperti pada Tabel 14.1.

14.5 Teknologi dan Standar

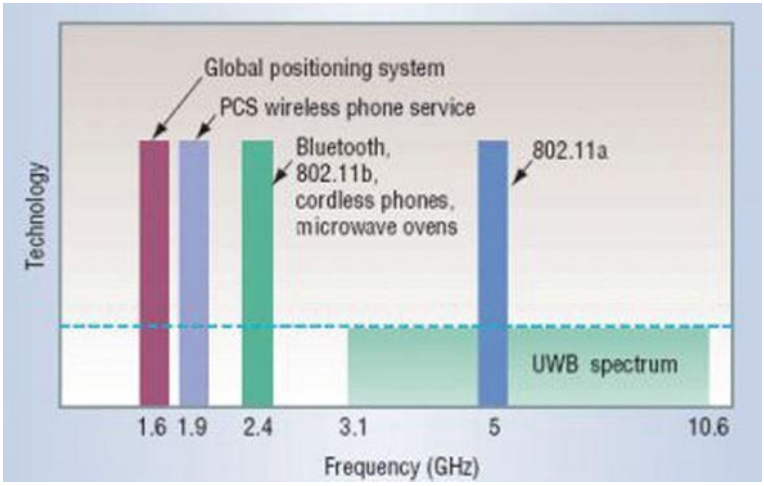
14.5.1 Bluetooth

Bluetooth adalah standar yang tersedia secara global yang secara nirkabel menghubungkan ponsel, komputer portabel, mobil, headset stereo, pemutar MP3, dan banyak lagi. Ini adalah teknologi ad hoc yang tidak memerlukan infrastruktur tetap dan mudah dipasang dan diatur. Peluncuran pertama dari spesifikasi Bluetooth pada tahun 1999, lebih dari 4000 perusahaan telah menjadi anggota Bluetooth Special Interest Group (SIG).

Sementara itu, jumlah produk Bluetooth di pasaran berlipat ganda dengan cepat. Contoh sederhana dari aplikasi Bluetooth adalah memperbarui Anda harus memasukkan nama dan nomor telepon semua kontak Anda secara manual atau menggunakan kabel atau tautan IR antara telepon dan PC Anda dan memulai aplikasi untuk menyinkronkan informasi kontak. Dengan Bluetooth, ini semua bisa terjadi secara otomatis dan tanpa keterlibatan pengguna segera setelah telepon berada dalam jangkauan PC.

14.5.2 UWB

UWB dirancang untuk menggantikan kabel dengan koneksi nirkabel jarak pendek, tetapi menawarkan bandwidth yang jauh lebih tinggi yang diperlukan untuk mendukung sejumlah besar aliran data pada tingkat daya yang sangat rendah. Contohnya termasuk pemutar media, monitor, kamera, dan ponsel.



Gambar 14.7 Frekuensi teknologi nirkabel

Karena UWB dapat mengomunikasikan jarak dan posisi relatif, ia dapat digunakan untuk peralatan pelacakan, wadah, atau objek lain. Chipset UWB dibuat dalam semikonduktor oksida logam komplementer, sehingga menyaingi harga Bluetooth yang murah saat diproduksi dalam jumlah besar. Demonstrasi teknologi baru-baru ini menunjukkan Perangkat UWB ditransmisikan pada kecepatan data 110 Mbit / s pada jarak hingga 10 m.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 14.7, tidak seperti sistem radio konvensional, yang beroperasi dalam bandwidth yang relatif sempit, ultra-wideband beroperasi di berbagai spektrum frekuensi dengan mentransmisikan serangkaian pulsa daya yang sangat sempit (10-1000 ps) dan rendah. Kemungkinan penggunaan teknologi UWB dalam komunikasi berkisar dari jaringan kantor atau rumah seperti WLAN dan akses Internet. Dengan menggunakan daya 80% lebih sedikit daripada 802.11a, chipset UWB dapat bekerja dengan perangkat yang lebih kecil seperti PDA dan ponsel tanpa terlalu membebani baterainya.

Keuntungan utama dari UWB adalah kecepatan data yang tinggi, biaya rendah, dan daya rendah.Karena UWB adalah spektrum hopping, dan hanya untuk sepersekian detik, UWB menyebabkan lebih sedikit gangguan daripada desain radio narrowband, tetangga terdekat tidak akan mengganggu UWB lainnya. jaringan. Fitur UWB tambahan, jangkauan yang tepat, atau pengukuran jarak digunakan untuk identifikasi lokasi, yaitu melacak orang. UWB menggunakan daya yang sangat kecil dengan masa pakai baterai yang lama. Untuk masalah keamanan, sangat sulit untuk menguping. Ini seperti mencoba untuk melacak seseorang di jalan yang sangat sibuk yang terus-menerus mengganti warna pakaian yang berbeda saat berlari dengan kecepatan yang sangat cepat.Meskipun banyak manfaat dari UWB, saat ini UWB terlibat dalam perselisihan spesifikasi dan standarisasi dalam badan

penerbit standar dunia dan Amerika Serikat, yaitu IEEE, ITU dan FCC (Komisi Komunikasi Federal).

Tabel 14.2 Perbandingan UWB dan Bluetooth

Teknologi	UWB	Bluetooth
Spektrum (GHz)	3.1–10.6	2.4
Kisaran tipikal (m)	10–30	Sepuluh
Teknologi	OFDM atau DS-UWB	Spektrum penyebaran frekuensi-hopping adaptif
Kecepatan data maksimum	1 Gbit / detik	1 Mbit / detik
Aplikasi tipikal	Sinkronisasi nirkabel dan transmisi data	Interkoneksi nirkabel bandwidth rendah untuk menyinkronkan data
Ketersediaan	Setelah 2007	Sekarang

Titik persilangan untuk nirkabel UWB versus 802.11a adalah 10 m—kurang dari 10 m, dan UWB memiliki bandwidth yang lebih tinggi, tetapi lebih dari 10 m, 802.11a menang. Karena keterbatasan jarak UWB, ini terutama akan digunakan untuk bandwidth lokal tinggi. jaringan di mana penerima dapat dicolokkan, dan bukan untuk seluler. Kelemahan lainnya adalah bahwa pertempuran standar UWB tetap tidak terselesaikan. Kemungkinan Tabel 14.2 membandingkan kedua teknologi dalam aspek spektrum, jangkauan, kecepatan data, dan aplikasi pengguna. Bahwa UWB dan Bluetooth keduanya dapat diintegrasikan ke dalam perangkat akhir untuk melayani ruang aplikasi yang berbeda.

Gelombang elektromagnetik dengan bandwidth operasi lebih besar dari 25% frekuensi operasi pusat atau bandwidth absolut 1,5 GHz atau lebih disebut sebagai sinyal ultra-wideband (UWB). Sistem radio UWB dengan bandwidth lebih dari 1,5 GHz tetapi bandwidth sesaat kurang dari 25% dari frekuensi operasi tengah dapat dirancang menggunakan komponen RF tradisional (antena, synthesizer frekuensi, amplifier, dan filter) yang cukup mudah untuk diproduksi. Di sisi lain, sistem UWB dirancang pada frekuensi yang lebih rendah (biasanya kurang dari 3 GHz) dengan bandwidth sesaat lebih besar dari 25% dari frekuensi operasi pusat memerlukan pendekatan yang lebih baru.

14.5.3 Standar UWB

IEEE 802.15.3

IEEE 802.15.3 adalah standar IEEE untuk kecepatan data tinggi (20 Mbit / s atau lebih besar) Wireless Personal Area Networks (WPAN) untuk menyediakan Quality of Service (QoS) untuk distribusi real time konten multimedia.IEEE 802.15.3 dicapai dengan IEEE P802.15.3 High Rate (HR) Task Group (TG3).Grup tugas dibebankan dengan mendefinisikan standar universal radio ultra-wideband yang mampu kecepatan data tinggi pada jarak 10 m menggunakan pita 3,1 10,6 GHz (lihat Gambar 14.1) untuk TV, ponsel, PC, dan sebagainya. Selain kecepatan data yang tinggi, standar baru ini akan menyediakan solusi hemat daya dan berbiaya rendah

yang menangani kebutuhan pencitraan digital konsumen portabel dan aplikasi multimedia. Selain itu, iklan jaringan peer-to-peer hoc, masalah keamanan dipertimbangkan.Ketika dikombinasikan dengan standar PAN 802.15.3, UWB akan menyediakan jaringan multimedia nirkabel yang sangat menarik untuk rumah.

Standar IEEE 802.15.3 memungkinkan aplikasi multimedia nirkabel untuk perangkat elektronik konsumen portabel dalam jangkauan rumah. Standar ini mendukung konektivitas nirkabel untuk game, printer, telepon nirkabel, dan perangkat konsumen lainnya. Dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi multimedia nirkabel termasuk speaker suara surround nirkabel, tampilan video portabel, kamera video digital. Ini menjawab kebutuhan akan mobilitas, kualitas layanan (QoS) dan konektivitas cepat untuk berbagai perangkat elektronik konsumen.

WiMedia UWB

Aliansi WiMedia merupakan kombinasi dari WiMedia dengan Multiband OFDM Alliance SIG (MBOA-SIG). Keduanya adalah dua. Aliansi WiMedia merupakan kombinasi dari WiMedia dengan Multiband OFDM Alliance SIG (MBOA-SIG). Mereka akan menerbitkan dan mengelola spesifikasi industri UWB untuk adopsi cepat oleh untuk aplikasi seluler, elektronik konsumen, dan PC. Perusahaan Promotor MBOA-SIG termasuk Alereon, HP, Intel, Kodak, Microsoft, Nokia, Philips, Samsung Electronics, Sony, dll. Perusahaan anggota MBOA terlibat secara aktif dengan proses standar IEEE.

MOBA akan mengumumkan spesifikasinya untuk lapisan fisik ("PHY") dan lapisan Kontrol Akses Media ("MAC") untuk meningkatkan mobilitas perangkat elektronik pribadi.Spesifikasi MBOA MAC dan PHY akan berfungsi sebagai platform radio umum untuk standar industri Spesifikasi MBOA MAC dan PHY, sebagaimana dipublikasikan dalam ECMA-368, sengaja dirancang untuk beradaptasi dengan berbagai persyaratan yang ditetapkan oleh badan pengatur global. Aliansi OFDM Multiband (MBOA) telah merancang lapisan kontrol akses media (MAC) sendiri, Sebenarnya menolak MAC yang diamanatkan oleh IEEE untuk standar 802.15.3a yang akan datang. Peningkatan dukungan untuk mobilitas, jaringan mesh, dan manajemen Piconet akan menjadi kunci untuk MAC baru. Fitur ramah aplikasi lainnya di MBOA termasuk pengurangan tingkat kompleksitas per node , masa pakai baterai yang lama, dukungan beberapa mode manajemen daya dan kapasitas spasial yang lebih tinggi.

Aplikasi Pengguna Akhir

WB memiliki banyak aplikasi lain, misalnya, pencitraan medis, sistem penghindaran tabrakan mobil, petugas pemadam kebakaran dan polisi yang melihat menembus dinding, serta menemukan dan melacak aset dan orang. Ini adalah teknologi yang, setidaknya dalam beberapa aplikasi, dapat menghemat Untuk MBOA UWB, aplikasi awal yang diantisipasi mencakup pertukaran konten media melalui perangkat elektronik konsumen data tinggi termasuk pemutar MP3, pemutar media pribadi (PMP), set-top-box, kamera digital, hard drive, printer / scanner, peralatan home theater, ponsel, komputer pribadi dan platform video game.

14.5.4 Strategi Pasar dan Vendor

Kedua belah pihak dalam pertempuran standar UWB lebih terpolarisasi di pasar jaringan area pribadi nirkabel. Ini agak sulit bagi pengguna akhir dan vendor. Jelas bagaimana pengguna akhir menderita. Mereka harus bertaruh pada proposal standar yang mungkin kalah. Untuk perusahaan pengguna, risikonya mungkin tidak dapat diterima, meninggalkan mereka, bukan dengan dua (atau tiga) opsi, tetapi tanpa opsi. Jika salah satu proposal menang, perusahaan yang terlibat dalam proposal yang kalah pasti mendapat pukulan serius. Sepanjang waktu pengembangan mereka Dan investasi hilang, dan mereka harus merancang dan membuat chip baru. Ini bisa memakan waktu dua tahun atau lebih. Bahkan para pemenang memiliki tekanan kompetitif ekstra dari keinginan untuk menetapkan standar berarti mereka mungkin belum bisa menghasilkan sebanyak itu. uang karena mereka mungkin keluar dari awal yang lambat tapi stabil di pasar yang lebih kohesif.Biaya pemasaran dan promosi tinggi untuk kedua kelompok.

Salah satu cara untuk menyelesaikan konflik yang tampaknya tidak membaik melalui proses standar normal adalah dengan membiarkan pihak-pihak tersebut bertarung di pasar, artinya, biarkan mereka mengirimkan produk, dan lihat mana yang akhirnya menang. Risiko memilih standar yang salah menciptakan alasan nyata untuk mengadopsi sikap "tunggu dan lihat" terhadap standar baru. Saran dasar untuk pertempuran standar adalah tetap jelas. Menunggu sampai debu sedikit mengendap dan Anda dapat mengetahui apa standarnya sebelum mengadopsi satu.

14.6 Aplikasi UWB

Meskipun diklaim bahwa banyak aplikasi eksotis akan mendapat manfaat dari teknologi UWB, pencarian literatur mengungkapkan bahwa ada dua area aplikasi UWB potensial utama: komunikasi dan radar / sensor.Untuk kedua area, komponen dasar sistem UWB termasuk sumber pemancar. menyarankan bahwa desain antena tetap menjadi tantangan yang signifikan. Pilihan yang dipertimbangkan termasuk. Ada sejumlah besar penelitian dalam pengembangan komponen UWB selama bertahun-tahun. Dipol yang dimuat, tanduk TEM, tanduk bikonikal dan bergerigi, spiral dan besar antena saat ini, masing-masing dengan berbagai kelebihan dan kekurangan.

Kemampuan kecepatan data tinggi sistem UWB untuk jarak pendek memiliki banyak aplikasi untuk jaringan rumah dan komunikasi kaya multimedia dalam bentuk aplikasi WPAN. Sistem UWB dapat menggantikan kabel yang menghubungkan camcorder dan VCR, serta aplikasi elektronik konsumen lainnya, seperti Tidak ada teknologi nirkabel lain yang tersedia—seperti Bluetooth atau 802.11a / b—yang mampu mentransfer video streaming Tabel 14.3 membandingkan teknologi UWB dan standar komunikasi data lain yang tersedia saat ini.

Faktanya, banyak perangkat komunikasi dan radar / sensor saat ini dibatasi pita sebagian besar karena keterbatasan bandwidth yang dikenakan oleh antena yang bertindak sebagai filter lolos pita dalam transmisi UWB. Usulan sistem yang lebih baru tidak bergantung pada transmisi terbatas pita yang, dalam gilirannya, membawa persyaratan

untuk modifikasi.Sub-bagian berikut meringkas kemungkinan komunikasi dan aplikasi radar / sensor.

Tabel 14.3 Kemampuan UWB dibandingkan dengan standar IEEE lainnya

	Standar IEEE						
	WLAN			**Bluetooth**	**WPAN**	**UWB**	**ZigBee**
	802.11a	802.11b	802.11 g	802.15.1	802.15.3	802.15.3a	802.15.4
Frekuensi (GHz)	5	2.4	2.4	2.4	2.4	3.1–10.6	2.4
Kecepatan data maksimum	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	1 Mbps	55 Mbps	>100 Mbps	250 Kbps
Rentang maksimum (m)	100	100	10	10	10	10	5

14.6.1 Komunikasi

Dikatakan bahwa jenis perangkat komunikasi potensial yang akan digunakan sebagian besar akan ditentukan oleh batas emisi yang diberlakukan oleh otoritas pengatur Jarak operasi maksimum dan tingkat transmisi akan menjadi parameter kunci untuk penilaian kinerja sistem komunikasi UWB. karakteristik dari beberapa perangkat diuraikan di bawah ini.

Transceiver genggam yang dirancang untuk transmisi suara dan data full duplex hingga 128 kbps, beroperasi pada 1,5 GHz dengan bandwidth seketika 400 MHz. Daya keluaran puncak diukur menjadi 2 W dan jangkauan LOS hingga 2 km. Dengan penguatan kecil antena, jangkauan meluas hingga 32 km. Sistem komunikasi gelombang tanah dirancang untuk suara digital non-LOS dan transmisi data hingga 128 kbps, beroperasi di pita 30-50 MHz pada jarak 16 km dengan daya puncak sekitar 35 W. Transceiver UWB video / perintah dan kontrol asimetris, dua arah yang dirancang untuk beroperasi pada kisaran 1,3–1,7 GHz dengan kecepatan transmisi hingga 25 Mbps menggunakan daya output puncak 4 W. Transceiver genggam dirancang untuk multisaluran, dupleks penuh, digital 32 kbps transmisi suara pada jarak 100 m dalam pita 1,2–1,8 GHz di atas kapal angkatan laut.Perangkat komunikasi jarak pendek dalam ruangan yang beroperasi pada kisaran 2,5–5 GHz pada rentang 50 m yang menyediakan kecepatan data hingga 60 Mbps.

14.6.2 Radar / Sensor

Penggunaan utama radar UWB adalah untuk menyediakan deteksi target sedangkan sensor UWB digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai target [8].Jumlah aplikasi sangat luas.Ini termasuk penetrasi tanah, lokasi posisi, dan penetrasi dinding, peringatan tabrakan untuk menghindari Aplikasi baru meliputi pengukuran jarak dan jarak kantung udara, inspeksi jalan dan landasan pacu, pemantauan jantung, identifikasi RF dan fokus otomatis kamera.Karakteristik sistem dari beberapa radar/sensor dirangkum di bawah ini.

Vehicular Electronic Tagging and Alert System dirancang untuk menyampaikan gambar pengemudi bersama dengan informasi tentang pengemudi dan kendaraan ke sensor pinggir jalan di kendaraan polisi.Sistem beroperasi di wilayah 1,4-1,65 GHz dengan daya puncak 0,25 W selama jangkauan 300 m. Sistem geolokasi dirancang untuk memberikan informasi lokasi tiga dimensi, beroperasi di wilayah 1,3–1,7 GHz dengan memanfaatkan Pulsa UWB daya puncak 2,5 ns, 4 W. Jangkauan LOS adalah 2 km dengan antena omnidirectional. Jangkauan dalam ruangan hingga 100 m.

Altimeter presisi dan sensor penghindaran tabrakan yang dirancang untuk beroperasi pada rentang 5,4–5,9 GHz dengan daya output puncak 0,2 W. Sensor cadangan dirancang untuk mendeteksi objek di belakang kendaraan konstruksi dan pertambangan besar, beroperasi dengan daya puncak 0,25 W di wilayah 5,4–5,9 GHz lebih jangkauan hingga 100 m. Plat nomor elektronik dirancang untuk memberikan penghindaran tabrakan mobil dan penandaan RF untuk kendaraan ke komunikasi pinggir jalan. Fungsi penghindaran tabrakan disediakan menggunakan daya puncak 0,2 W di wilayah 5,4–5,9 GHz pada rentang 30 m saat penandaan fungsi didukung dengan daya puncak 0,3 W pada jarak 200 m. Radar militer dirancang untuk aplikasi jarak sangat pendek (kurang dari 2 m) dengan daya rata-rata 85 nW yang beroperasi pada 10 GHz dengan bandwidth 2,5 GHz.

14.7 Kesimpulan

Komisi Komunikasi Federal memberikan persetujuannya untuk menjual produk nirkabel UWB di AS Meskipun kurangnya standar yang diadopsi akan memperlambat pertumbuhan untuk sementara waktu, UWB akan digunakan di 150 juta perangkat pada tahun 2008. Karena UWB paling baik digunakan untuk jarak pendek dan aplikasi bandwidth tinggi, sebagian besar pengembangan di UWB ditargetkan pada proyeksi video HDTV dan DLP. UWB tidak dilihat atau dirancang sebagai pengganti Wi-Fi tradisional. WiMax dan MobileFi dianggap sebagai pengganti itu tetapi lain cerita.

BAB 15
TEKNOLOGI ULTRA-WIDEBAND UNTUK APLIKASI MILITER

15.1 Pendahuluan

Sistem komunikasi Ultra-WideBand (UWB) biasanya diklasifikasikan sebagai sistem komunikasi yang bandwidth operasinya berkali-kali lebih besar daripada bandwidth minimum yang diperlukan untuk menyampaikan informasi.Komunikasi UWB pada dasarnya berbeda dari semua teknik komunikasi lainnya karena menggunakan Radio Frequency (RF) yang sangat sempit. Pulsa untuk berkomunikasi antara pemancar dan penerima Memanfaatkan pulsa berdurasi pendek sebagai blok bangunan untuk komunikasi secara langsung menghasilkan bandwidth yang sangat lebar dan menawarkan beberapa keuntungan, seperti throughput yang besar, kerahasiaan, ketahanan terhadap jamming, dan koeksistensi dengan radio saat ini layanan Teknologi UWB menawarkan solusi yang menjanjikan untuk kekeringan spektrum RF dengan memungkinkan layanan baru untuk hidup berdampingan dengan sistem radio saat ini dengan komunikasi minimal atau tanpa komunikasi.

Koeksistensi ini membawa keuntungan untuk menghindari biaya lisensi spektrum yang mahal yang harus dibayar oleh penyedia semua layanan radio lainnya. Transmisi nirkabel pertama v Emisi UWB dikirim oleh Marconi dari Isle of Wight ke Cornwall di Daratan Inggris pada tahun 1901 menggunakan Marconi Spark Gap Emitter. Sinyal UWB dibuat oleh konduktansi acak dari percikan. Kemudian pada akhir 1970-an dan awal 80-an , Fullerton mendemonstrasikan kepraktisan teknik radio impuls daya rendah modern menggunakan pendekatan ultra-wideband termodulasi waktu berkode waktu.

Federal Communications Commission (FCC) adalah badan pengendali RF di Amerika Serikat. Sebelumnya UWB berkomitmen untuk pekerjaan eksperimental saja, penggunaan komersial tidak diizinkan. Pada tahun 2002, FCC mengubah aturan untuk mengizinkan. Operasi sistem UWB secara luas rentang frekuensi Pada tahun 2003, sistem komersial bersertifikasi FCC pertama dipasang, dan pada April 2003, chipset UWB komersial pertama yang memenuhi persyaratan FCC diumumkan oleh Time Domain Corporation.

Sinyal didefinisikan sebagai ultra-wideband jika bandwidth fraksional Bf lebih besar dari 0,25 [2] Bandwidth fraksional dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$B_f = 2\frac{f_H - f_L}{f_H + f_L}, \qquad (15.1)$$

di mana

B_f adalah bandwidth fraksional,

f_L lebih rendah, dan

f_H lebih tinggi 3 dB titik dalam spektrum, masing-masing.

15.2 Tinjauan Teknis Sistem Ultra-Wideband

Ultra-Wideband adalah teknologi untuk transmisi data menggunakan teknik yang menyebabkan penyebaran energi radio melalui pita frekuensi yang sangat lebar, dengan kerapatan spektral daya yang sangat rendah.Kerapatan spektral daya yang rendah membatasi potensi interferensi dengan sistem radio konvensional, dan bandwidth yang tinggi dapat memungkinkan throughput data yang sangat tinggi untuk perangkat komunikasi, atau presisi tinggi untuk perangkat lokasi dan pencitraan.

Teknik UWB adalah teknologi transmisi radio yang menempati bandwidth yang relatif lebar, minimal melebihi 500 MHz atau memiliki setidaknya 20% dari frekuensi tengah.Teknologi ini telah mendapat perhatian karena potensinya sebagai pendekatan baru untuk jarak pendek. Berbeda dengan sistem komunikasi narrowband tradisional, sistem UWB mengirimkan informasi dengan menghasilkan energi radio pada saat-saat tertentu dalam bentuk pulsa yang sangat pendek. Dengan demikian, sistem ini menempati bandwidth yang relatif besar dan memungkinkan kita untuk menggunakan modulasi waktu.

Selain itu, UWB sistem dapat memberikan kecepatan data tinggi yang dapat mencapai hingga ratusan Mbps, dan yang membuatnya berguna untuk komunikasi yang aman dalam aplikasi militer. Selain itu, sistem UWB menuntut daya transmisi yang relatif rendah dibandingkan dengan sistem komunikasi pita sempit tradisional; karenanya, penggunaannya dapat memperpanjang masa pakai baterai. Selain itu, penggunaan pulsa pendek membantu mengurangi saluran multipath memudar karena sinyal yang dipantulkan tidak tumpang tindih dengan yang asli.

Sebagian besar waktu, kami merujuk ke semua jenis sistem UWB dengan satu nama, tetapi pada kenyataannya, ada dua teknologi yang sangat berbeda yang sedang dikembangkan:

- Carrier free direct sequence ultra-wideband technology: Bentuk teknologi ultra-wideband ini mentransmisikan serangkaian impuls Mengingat durasi pulsa yang sangat singkat, spektrum sinyal menempati bandwidth yang sangat lebar
- MBOFDM (Multi-Band OFDM) teknologi ultra-wideband: Bentuk teknologi ultra-wideband ini menggunakan pita lebar atau sinyal Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplex (MBOFDM) yang secara efektif merupakan sinyal OFDM lebar 500 MHz. Sinyal 500 MHz ini kemudian dilompati ke frekuensi untuk memungkinkannya menempati bandwidth yang cukup tinggi.

Prinsip kerja teknologi UWB adalah pertama-tama sinyal dengan lebar pita ultra lebar dibangkitkan menggunakan pulsa korsleting listrik baseband (100 ps–1 ns), kemudian data ditransmisikan menggunakan Pulse Modulation (Amplitude, Position, atau Phase Modula), dan kemudian pulsa baseband langsung diterapkan ke antena dan akhirnya, penerima korelasi atau penerima rake digunakan untuk menangkap sinyal.

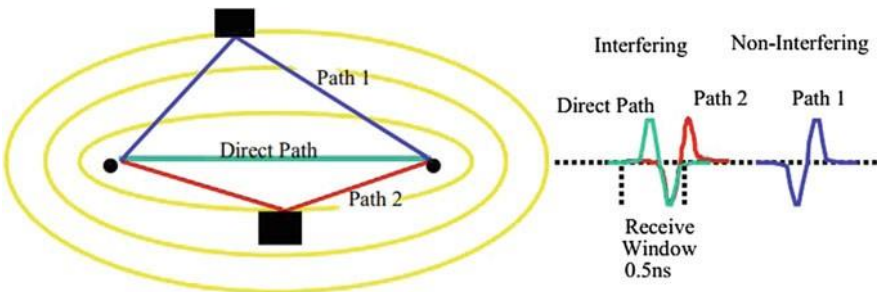
15.3 Teknologi Ultra-Wideband untuk Aplikasi Militer

Teknologi ultra-wideband (UWB) akhir-akhir ini banyak menarik perhatian baik di bidang industri, militer, maupun akademis karena biayanya yang murah, berpotensi untuk menangani data rate yang tinggi dan kebutuhan daya yang relatif rendah. sejumlah besar

aplikasi yang dapat digunakan oleh teknologi UWB. Mereka bervariasi dari komunikasi data dan suara hingga radar dan klasifikasi. Meskipun banyak kegembiraan tentang pita lebar ultra telah dikaitkan dengan aplikasi komersial, teknologi ini juga cocok untuk aplikasi militer Penggunaan teknologi baru untuk aplikasi militer memerlukan analisis yang ketat, praktis, dan objektif untuk menunjukkan keuntungan akhir dari teknologi ini dibandingkan dengan solusi yang sudah digunakan.

Salah satu misi CELAR (*Technical Center for Armament Electronics*, milik DGA—French Procurement Agency) adalah untuk berpartisipasi dalam analisis UWB untuk Kementerian Pertahanan Prancis (MoD), yang diilustrasikan oleh studi yang saat ini diadakan di CELAR. misi operasi yang telah diimplementasikan teknologi Impulse Radio UWB dapat membawa peningkatan untuk mencapai misi yang berbeda dengan menggunakan satu teknologi.Sifat yang melekat pada IR-UWB cukup menarik, meskipun beberapa bermasalah. Ada banyak potensi keunggulan UWB di lingkungan Komersial, Industri dan Pendidikan Apalagi saat ini aplikasi UWB cukup menarik untuk aplikasi militer terutama karena alasan berikut.

- Kecepatan data yang lebih tinggi: UWB dapat meningkatkan kapasitas sambil mempertahankan transmisi daya rendah. Produsen yang berbeda berbicara tentang kecepatan data 140 Mbps untuk komunikasi nirkabel jarak kecil, dibandingkan dengan kecepatan data pelarutan yang ada yang lima kali lebih rendah (20 Mbps) untuk WiFi, 2 Mbps untuk Universal Mobile Telecommunication Systems (UMTS), dan 1 Mbps untuk Bluetooth).
- Kekokohan terhadap multipath fading: hamburan *Radar Cross-Section* (RCS) dari sumber yang mengganggu ini berkurang sehubungan dengan RCS target, karena tingkat spasial yang kecil dari pulsa. Jika pemancar dan penerima tidak berada di tempat yang sama (kasus biasa untuk aplikasi komunikasi), karena pulsa UWB sangat pendek (sekitar 1) ns, bahkan kurang), jalur langsung telah datang dan pergi sebelum jalur yang dipantulkan tiba (Gambar 15.1).
- Probabilitas rendah deteksi (LPD) dan Intersepsi probabilitas rendah (LPI): Karena pulsa berdurasi sangat pendek menyiratkan pita besar, daya tersebar di berbagai frekuensi alih-alih terkonsentrasi. Ini adalah titik yang sangat berguna untuk aplikasi militer. Selain itu , karena tingkat daya yang rendah ini, paparan daya minimum bagi pengguna dapat terjadi.

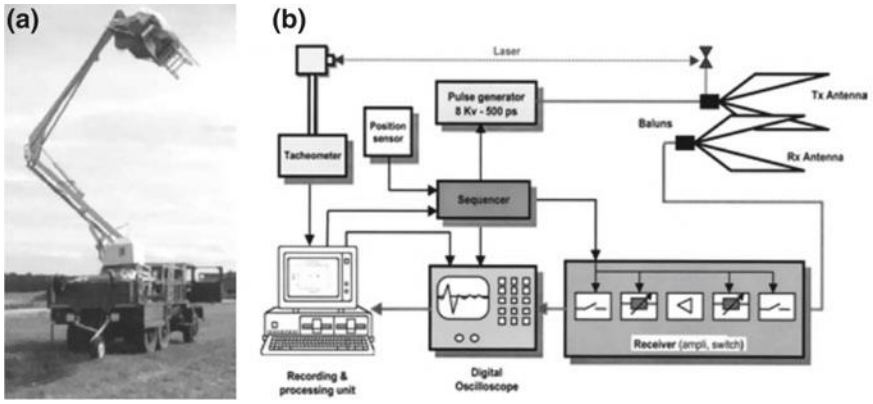


Gambar 15.1 Ilustrasi kekokohan sinyal UWB terhadap multipath fading untuk aplikasi komunikasi seluler

Diketahui bahwa pulsa UWB dihasilkan dalam periode waktu yang sangat singkat (sub-nano second). Teknologi ini masih muda dan masih perlu menarik lebih banyak peneliti dan insinyur. Karena penerapannya yang luas, saat ini terdapat ribuan aplikasi dimana UWB radar digunakan. Sebagai hasil dari relevansinya, bidang acuh tak acuh seperti lembaga akademik, pemerintah dan sektor swasta, dan pertahanan dan militer, mereka membuat penelitian yang menjanjikan untuk menerapkan fitur unik dari teknologi UWB. Penelitian deteksi ranjau darat menggunakan radar UWB terjadi di Inggris selama konflik Falklands pada awal 1980-an dan di AS setelah Perang Teluk satu dekade kemudian.Pemrogram penelitian militer di Jerman, Prancis, dan Rusia mengikuti, tetapi sampai sekarang, setelah penelitian perintis ke dalam kelayakan pencitraan gelombang mikro UWB untuk deteksi kanker payudara stadium awal bahwa subjek sudah mulai mendapatkan daya tarik yang serius di kedua sisi Atlantik.

Pencitraan gelombang mikro UWB menggunakan pengukuran transmisi energi gelombang mikro melalui suatu objek untuk menentukan sifat dielektriknya (isolasi).Sederhananya, dengan menundukkan jaringan ke sinyal dari seluruh spektrum radio pada rentang yang jauh lebih luas daripada sinar-X tradisional, para ilmuwan Di University of Wisconsin–Madison di AS telah mampu membedakan jaringan payudara berlemak normal dengan jaringan ganas, ini tidak hanya memungkinkan untuk mengidentifikasi tumor ganas yang sangat kecil tetapi juga untuk membedakan antara pertumbuhan jinak dan ganas.

Panglima militer berharap untuk mengadaptasi teknologi gelombang mikro UWB untuk mendeteksi alat peledak improvisasi (IED) di lapangan. Laporan NATO yang baru-baru ini dideklasifikasi tentang penelitian ke dalam sistem deteksi genggam, berbasis kendaraan, dan sistem deteksi udara menguraikan beberapa dari saat ini dan tantangan rekayasa masa depan yang memengaruhi deteksi, pengenalan, dan identifikasi IED menggunakan gelombang mikro UWB. "Radar UWB telah muncul sebagai teknologi pilihan untuk deteksi ranjau darat yang lebih baik," kata laporan oleh konsultan teknis spesialis Inggris, Teknologi *Asosiasi Riset Listrik (ERA).* teknologi sensor ganda genggam yang menggabungkan Induksi Elektromagnetik (EMI) dan *Ground-Penetrating Radar (GPR)* telah memungkinkan peningkatan diskriminasi terhadap fragmen logam untuk ditunjukkan di ladang ranjau hidup.



Gambar 15.2 Radar PULSAR (a) dan arsitekturnya (b)

Aplikasi dan kontribusi teknologi UWB di bidang militer melalui sistem radar (radar PULSAR) telah dipelajari. Fitur radar UWB cukup meningkat karena kemampuannya untuk mendeteksi melalui rintangan dan media padat; yang dapat Semua aplikasi ini terkait dengan operasi penyelamatan dan lapangan militer yang berguna untuk mendeteksi orang yang terkubur di bawah (salju, batu, dan pertambangan), peningkatan penolakan kekacauan, peningkatan resolusi jangkauan radar, peningkatan deteksi target terbang rendah, dan peningkatan pengenalan target. UWB berdaya tinggi. UWB berdaya rendah juga dapat digunakan untuk kebutuhan sipil dan militer. UWB berdaya rendah dapat digunakan untuk keperluan sipil untuk menyediakan jaringan domestik dengan kecepatan data tinggi. Fitur terpenting dari teknologi UWB berdaya rendah adalah untuk kebutuhan militer .

Menggunakan IR-UWB dalam sistem komunikasi intra-skuad. Ini dapat memberikan fungsi lokalisasi dan identifikasi untuk tentara. Untuk aplikasi identifikasi, setiap m Kombinasi komunikasi yang aman dengan lokalisasi kooperatif atau radar jarak pendek memungkinkan untuk memiliki Identifikasi Teman atau Musuh (IFF) Sebuah Sensor Pengawasan Perimeter Ultra-Wideband (UWB) otomatis dan tak berawak dirancang untuk menyediakan deteksi dan pelacakan personel dan kendaraan di perimeter area kritis seperti instalasi militer dan fasilitas lain yang dikembangkan untuk sistem radar pertahanan perimeter pita ganda berdaya rendah untuk beroperasi sendiri atau bersama dengan sensor lain (Gambar 15.2).

Program Pertahanan Dalam Negeri menerima perhatian yang semakin meningkat yang telah menunjukkan kebutuhan signifikan untuk meningkatkan teknologi yang ada untuk pertahanan perimeter berbasis sensor, terutama di sekitar pangkalan militer dan situs komersial berisiko tinggi. Saat ini, sebagian besar sistem keamanan perimeter didasarkan pada kamera jarak jauh atau IR sistem yang dipantau oleh operator manusia; pendekatan ini padat karya dan tidak memungkinkan otomatisasi yang mudah.

Sejak Komisi Komunikasi Federal (FCC) telah mendeklarasikan teknologi UWB pada tahun 2002, standar komunikasi baru dan desain antena telah diusulkan dan sejumlah ilmuwan dan insinyur telah tertarik pada bidang penelitian ini. desain telah membawa komunikasi radar, aplikasi militer, teknologi biomedis, dan komunikasi ruang angkasa melalui satelit ke era baru.Untuk mencapai tujuan teknologi UWB di area aplikasi yang berbeda, beberapa desain antena UWB planar telah diusulkan. Namun, sebagian besar Antena lembaran ini telah dirancang untuk UWB dan Antena beroperasi dari 3 hingga 20 GHz. Antena ini cocok untuk digunakan dalam aplikasi UWB karena memiliki operasi bandwidth 13 GHz, yaitu pecahan dan lebar sekitar 147%. Antena lembaran ini dapat sangat berguna untuk aplikasi militer seperti dalam komunikasi radar, komunikasi Unmanned Aerial Vehicle (UAV), dan merancang sensor pengawasan untuk area militer yang kritis.

Kehadiran teknologi Ultra-Wideband untuk aplikasi radar memungkinkan pengembangan sensor yang ringkas dan relatif murah. Didedikasikan untuk aplikasi militer, perangkat radar yang menggunakan UWB sekarang menjadi alat yang baik untuk mendeteksi hambatan untuk banyak aplikasi. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur Radar yang memanfaatkan teknik frekuensi radio Ultra-Wide Band tentang radar UWB dengan sensor pendek ini adalah Radar, berdasarkan Teknologi UWB mentransmisikan sensor

elektromagnetik yang sangat pendek, yang memungkinkan untuk mengukur yang sangat kaya respon sementara informasi dari Target dan untuk memisahkan berbagai gema di resepsi.Hal ini membawa minat yang besar untuk hambatan. Radar berbasis UWB dapat digunakan dalam aplikasi militer untuk mendeteksi objek target seperti kendaraan lapis baja musuh, senjata, dan marinir.

Penerapan teknologi UWB untuk mencapai tujuan *Unmanned Ground Vehicles* (UGV) / *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk aplikasi militer potensial telah banyak berkontribusi. probabilitas rendah intersepsi atau deteksi (kerahasiaan), kekebalan relatif terhadap efek multipath, kapasitas spasial yang besar dibandingkan dengan sistem nirkabel lainnya, jangkauan dan komunikasi yang presisi secara simultan, dan daya pancar yang sangat rendah yang mengurangi kemungkinan gangguan dengan sistem radio lain.

Metodologi jaringan lebih relevan untuk menentukan aplikasi komunikasi UWB yang realistis untuk inisiatif sistem tak berawak, yang merupakan bagian integral dari Sistem Tempur Masa Depan. Penilaian dibuat untuk area tertentu seperti interoperabilitas UGV / UAV, komunikasi UAV-ke-UAV --nications, dan penghindaran tabrakan untuk UAV kecil dan analisis yang disajikan telah diterapkan untuk atau penentuan transisi teknologi ke sistem perang yang sedang berkembang.

Kemampuan kecepatan data yang tinggi dari sistem UWB untuk jarak pendek memiliki banyak aplikasi untuk jaringan rumah dan komunikasi yang kaya multimedia dalam bentuk *Wireless Personal Area Networks* (WPAN) dan aplikasi militer.Sistem UWB dapat menggantikan kabel yang menghubungkan camcorder, serta Mengingat penilaian ini, penelitian instruksi seperti radar UWB, Sensor Pengawasan UWB, antena UWB, pencitraan radar UWB, deteksi IED, dan lainnya tetap menjadi senjata utama dalam mendapatkan teknologi militer canggih selama pertempuran untuk melindungi pejuang dari ancaman yang sangat nyata. ditimbulkan oleh IED dan persenjataan tersembunyi.

15.4 Kesimpulan

Dalam bab ini, penerapan teknologi UWB di bidang militer telah diringkas. Karena penerapannya pada banyak teknologi maju dan yang sudah ada, topik UWB baru-baru ini mendapat perhatian yang signifikan dari para peneliti dan insinyur. Penerapannya yang lebih luas telah dievaluasi selama Insinyur dan pertahanan menanam upaya maksimal mereka untuk meneliti UWB untuk teknologi militer untuk mendapatkan keunggulan atas yang lain. Banyak teknologi terkemuka termasuk sistem teknologi militer, sektor pemerintah, sistem komunikasi, sistem pengawasan, penyelamatan, hiburan logistik, transportasi umum, dan lain-lain. dan insinyur tertarik pada penelitian tentang karakteristik teknologi UWB dan untuk melengkapi militer dengan teknologi terbaru. Bab ini telah membahas sebagian besar aplikasi populer UWB pada sistem militer dan kelebihannya, serta kekurangannya telah disajikan.

Mengenai penelitian masa depan , untuk menerapkan pengetahuan teknologi UWB, Kita perlu mengetahui ciri-ciri fisik, fitur-fitur, dan bagaimana memanfaatkan fitur-fitur teknologi UWB, bagaimana menghubungkan fitur-fitur tersebut dengan teknologi yang sudah ada seperti frekuensi narrowband tradisional, sehingga akan mudah untuk

menemukan area aplikasi baru dari UWB. teknologi dan untuk mengatasi keterbatasan teknologi yang ada.Studi penelitian masa depan UWB untuk aplikasi militer meliputi:

1. Teknologi Radar UWB untuk aplikasi militer dan sipil, untuk penyelamatan dan pemulihan bencana.
2. Pencitraan seperti sistem pemantauan jarak jauh, pencitraan gelombang mikro UWB untuk deteksi IED.
3. Kendaraan Darat Tak Berawak dan Kendaraan Arial Tak Berawak pengawasan dan pemantauan komunikasi.
4. Sistem Satelit dan penyedia radio satelit.
5. Deteksi ranjau darat menggunakan radar UWB.
6. Sistem deteksi berbasis kendaraan dan udara.

BAB 16
PERUTEAN REAL-TIME SADAR ENERGI UNTUK INTERNET OF THINGS INDUSTRI SKALA BESAR

16.1 Pendahuluan

Baru-baru ini, kemajuan teknologi dalam jaringan sensor nirkabel (WSN), sistem tertanam dan komunikasi nirkabel berdaya rendah telah memungkinkan banyak aplikasi pemantauan dan kontrol di berbagai domain termasuk sistem *Internet of Things* (IoT). sistem produksi industri disebut *Industrial Internet of Things* (IIoT) yang, ketika diadopsi dengan sukses, memberikan kemanjuran besar dan manfaat ekonomi untuk instalasi sistem, rawatan, keandalan, skalabilitas, dan interoperabilitas.Namun, konsumsi energi yang tinggi dari perangkat IIoT tetap menjadi tantangan yang signifikan , yang dapat mencegah perspektif IIoT menjadi kenyataan.

Umumnya, Jaringan Sensor Nirkabel (IWSN) industri memainkan peran penting sebagai tulang punggung sistem IIoT. Dengan demikian, karena pengumpulan data terutama bergantung pada sensor dan perangkat pintar ini, IWSN menjadi sumber konsumsi energi yang dominan di seluruh sistem. Misalnya, dengan memindahkan data perangkat IIoT secara oportunistik ke perangkat pintar yang dibawa oleh tenaga kerja di pengaturan pabrik, algoritma pemilihan tautan heuristik dan oportunistik (HOLA) yang diperkenalkan pada mencapai efisiensi energi. Selain itu, perangkat pintar ini dilengkapi dengan beberapa tautan radio seperti Bluetooth, Wi-Fi, dan 3G / 4G LTE yang dapat memilih secara mandiri tautan terbaik untuk mengirimkan data ke Cloud berdasarkan kualitas dan biaya energi tautan. Singkatnya, HOLA mengurangi keseluruhan konsumsi energi jaringan IIoT secara efektif serta menyeimbangkannya di seluruh ll perangkat jaringan.

Merancang skema penyebaran yang hemat energi adalah cara lain untuk mengatasi tantangan tersebut. Biasanya, ada empat jenis struktur topologi yang dieksploitasi untuk penyebaran IWSN skala besar: mesh, plane, hierarchical, dan hybrid. Namun, tidak seperti IWSN dan *Wireless Sensor Networks* (WSNs) tradisional, penulis menunjukkan bahwa IIoT dapat diterapkan ke skala yang lebih besar dan menjadi lebih kompleks. Selain itu, aplikasi IIoT memiliki persyaratan yang lebih canggih dan heterogen daripada nirkabel dan sensor ad hoc klasik.

Singkatnya, untuk mengembangkan teknologi IIoT untuk lingkungan yang keras, seperti perusahaan industri, secara efektif menjadi tuntutan dan tantangan bagi para peneliti karena tidak mungkin untuk mentransplantasikan semua skema yang digunakan di WSN atau bahkan IWSN skala besar di IIoT secara langsung Dengan kata lain, model penyebaran baru harus dirancang dan divalidasi untuk digunakan dengan tepat di sistem IIoT. Baru-baru ini, salah satu skema ini menyusun sistem IIoT menjadi tiga lapisan: lapisan sense, lapisan gateway, dan lapisan kontrol. Tujuan mendasar dari arsitektur tersebut adalah untuk membedakan node sebagai node sense, node gateway, dan node kontrol, sehingga

beban lalu lintas dapat seimbang, dan dengan demikian masa pakai jaringan dapat diperpanjang.

Clustering terbukti menjadi teknik yang efisien untuk memecahkan masalah konsumsi daya di I / WSNs skala besar dapat digunakan dalam sistem IIoT skala besar untuk mendapatkan target yang sama. Setiap cluster dikelola oleh seorang Cluster Head (CH), yang pada gilirannya mengumpulkan atau mengagregasi data anggota cluster dan kemudian diteruskan ke tujuan akhir atau kepala cluster lainnya.Selain itu, peran CH Dengan cara ini, sistem dapat mengurangi keseluruhan konsumsi energi dan menyeimbangkannya di seluruh node. Namun, tergantung pada kondisi tertentu (yaitu, topologi jaringan, kondisi saluran jaringan, status node, dll.), kluster yang efisien dibentuk dengan cara yang berbeda.

Misalnya, para peneliti mengusulkan algoritma pengelompokan yang akan mencari node perantara (IN) untuk mengelola subkluster sementara data agregat CH Dengan menggunakan komunikasi kooperatif kode air mancur umpan balik dan non-umpan balik, kinerja transmisi data meningkat secara signifikan di antara CH tetangga. Selain itu, melalui analisis pengaruh pemilihan ukuran cluster relai pada kecepatan data ujung ke ujung di kinerja relai kooperatif multi-hop Selain itu, untuk mengatasi masalah saluran yang tidak seimbang dari relai ke sumber / a, penulis menunjukkan bahwa pemilihan ukuran cluster yang optimal memainkan peran penting dalam memaksimalkan throughput relai dan data rate end-to-end tujuan dalam teknik kerjasama dual-hop dalam jaringan nirkabel berkerumun, berdasarkan kerangka *Three-Stage Relaying* (TSR), dua algoritma heuristik dirancang untuk mencapai trade-off antara optimalitas dan komputasi Dalam hal tumpukan protokol untuk aplikasi IIoT, beberapa teknologi nirkabel berdaya rendah seperti ZigBee, 6LoWPAN, WirelessHART, IAS100.1 dapat digunakan di perangkat lapangan (yaitu, sensor, aktuator, dll.) untuk menangani masalah konsumsi energi. Palattella et al. Mencantumkan tiga persyaratan inti, termasuk tumpukan komunikasi berdaya rendah, tumpukan komunikasi yang sangat andal, dan tumpukan komunikasi yang mendukung Internet.

Akibatnya, untuk memenuhi persyaratan ini, penulis mendemonstrasikan bahwa IEEE 802.15.4 adalah standar dengan dampak paling lama. Lapisan fisik berdaya rendah (PHY) di mana sebagian besar teknologi IIoT telah dibangun dimodulasi oleh IEEE 802.15.4. Untuk mendemonstrasikan peran vital IEEE 802.15 .4 di lingkungan industri, Al Agha dkk meninjau secara singkat spesifikasi semua teknologi nirkabel berbasis IEEE 802.15.4 yang digunakan di IWSN, dan kemudian mereka mengandalkan IEEE 802.15.4 untuk mengembangkan modul komunikasi sensor nirkabel yang dijalankan --ning dan protokol jaringan mesh ad hoc industri menggunakan lapisan PHY IEEE 802.15.4. Oleh karena itu, protokol berbasis IEEE 802.15.4 mereka dapat memenuhi kriteria lingkungan yang keras yaitu kendala waktu, strategi perutean konsumsi energi, dan mobilitas kecepatan berjalan manusia.

Namun, menuju penerapan praktis, solusi IWSN harus serbaguna, mudah digunakan dan dipasang, umur panjang, dan perangkat berbiaya rendah. Memang, konflik persyaratan menyebabkan sulitnya kombinasinya terpenuhi. Jadi, tergantung pada aplikasi spesifik, sistem harus dirancang dengan benar Misalnya, aplikasi utama IWSN dalam produksi industri mencakup tiga kelompok: penginderaan lingkungan, pemantauan kondisi, dan otomatisasi proses, yang memerlukan peningkatan tingkat kritis (misalnya, transmisi kritis waktu,

transmisi data prioritas-kritis). Lingkup pekerjaan penelitian kami kemudian merancang sistem IIoT dengan IWSN sebagai tulang punggung yang mendukung persyaratan industri tingkat terendah, yaitu aplikasi non-waktu kritis.

Untuk mendukung aplikasi industri semacam itu, bab ini mengusulkan hierarki kerangka kerja untuk sistem IIoT, yang terdiri dari tiga jenis elemen: perangkat I / O, router, dan gateway. Untuk efisiensi sistem, teknologi tumpukan daya yang lebih rendah (yaitu, IEEE 802.15.4a dengan protokol CSMA / CA MAC) digunakan di semua perangkat I / O. Metode clustering digunakan untuk mengelompokkan perangkat ini dan router dalam cluster dengan clustering yang optimal Cluster ini dikelola oleh router yang dipilih sebagai CH dengan tepat. CH ini kemudian meneruskan data yang dikumpulkan pada rute konsumsi energi yang lebih rendah.

Singkatnya, kontribusi utama dari bab ini adalah sebagai berikut:

Struktur organisasi tiga tingkat untuk sistem IIoT praktis diusulkan, yang terdiri dari tiga lapisan: lapisan penginderaan, lapisan relai, dan lapisan konvergensi.

Di lapisan penginderaan dan lapisan relai termasuk perangkat IO dan router, kami merancang kerangka kerja cluster untuk mengatur struktur cluster energi yang optimal. Perangkat I / O akan menghitung jarak transmisi dan indeks potensial (PI) untuk setiap router, dianggap sebagai CH, menggunakan energi sisa dan informasi posisi yang ditransmisikan dari router. Oleh karena itu, perangkat I / O hanya bergabung dengan cluster yang routernya memiliki indeks potensi terbesar.

Dengan mempertimbangkan persyaratan waktu kritis dari lingkungan industri, jalur perutean yang dipilih dengan mengeksploitasi jumlah hop terpendek dari CH ke gateway memungkinkan sistem memperoleh penundaan ujung ke ujung yang rendah.

Peningkatan sistem IIoT saat menerapkan skema yang diusulkan diperiksa oleh hasil simulasi, yang menunjukkan pencapaian tiga kali lipat: penghematan energi, meningkatkan masa pakai jaringan, dan menurunkan penundaan ujung ke ujung.

Sisa bab ini disusun sebagai berikut. Bagian 15.2 merangkum pekerjaan terkait. Bagian 15.3 menjelaskan model sistem dalam IIoT skala besar. Skema yang diusulkan, yaitu Skema Perutean Waktu Nyata yang Sadar Energi (ERRS), dalam bab ini disajikan di Bagian 15.4, diikuti dengan evaluasi kinerja di Bagian 15.5 Akhirnya, kesimpulan dan pekerjaan masa depan disajikan dalam Bagian 15.5.

16.2 Karya Terkait

Di bagian ini, kami menyajikan beberapa protokol perutean terkait dan terkenal yang baru-baru ini diusulkan untuk sistem IIoT.

Salah satu tujuan dari solusi IoT yang dirancang adalah untuk meningkatkan keandalan sistem IIoT melalui aplikasi pemantauan tingkat lanjut karena IoT menyediakan informasi real-time yang diperoleh dari perangkat yang terhubung dan interaksinya, serta melakukan eksperimen nyata melalui testbed ekstensif yang digunakan di lingkungan industri. Misalnya, Civerchia et al. Mengadopsi protokol IoT untuk mengembangkan solusi IIoT canggih yang ditujukan untuk generasi baru pabrik pintar.

Skema yang mereka usulkan, yaitu solusi NGS-PlantOne, dirancang untuk mendukung aplikasi pemeliharaan prediktif canggih di By mengevaluasi skema yang diusulkan melalui testbed nyata selama 2 bulan, solusi IIoT yang diusulkan dapat menjamin Lingkungan industri, yang didasarkan pada empat komponen utama: perangkat sensor, gateway, remote control dan ruang layanan, dan komunikasi platform terbuka. bahwa semua node dapat berkomunikasi satu sama lain dengan penundaan yang dapat diterima atau mengurangi daya baterai konsumsi daya secara signifikan.

Sementara itu, untuk menyebarkan jaringan IoT untuk pabrik pintar, penulis menggunakan IPv6 melalui Jaringan Area Pribadi Nirkabel berdaya Rendah (6LoWPAN) dalam kombinasi dengan Protokol Perutean IPv6 untuk Daya Rendah dan Jaringan Rugi (RPL) Dan *Constrained Application Protocol* (CoAP) untuk IWSN. Dalam topologi jaringan industri, penulis merancang jaringan otomatisasi pabrik berkabel yang tidak hanya dapat terhubung langsung ke Internet tetapi juga berkomunikasi dengan IWSN. Percobaan simulasi dan testbed menunjukkan bahwa semua topologi diukur memiliki latency rata-rata lebih rendah dari 400 ms.

Untuk sistem skala besar, clustering adalah salah satu metode yang paling efisien untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Tergantung pada struktur serta karakteristik jaringan, cluster dibentuk di bawah kondisi spesifik yang berbeda. Misalnya, berdasarkan local teori dunia, model baru pengelompokan tertimbang yang berkembang dari WSN diusulkan untuk IoT . Skema yang diusulkan memperhitungkan energi sensor, jarak transmisi, dan aliran untuk menentukan bobot tepi dan kekuatan simpul.

Karena mengendalikan pertumbuhan dan bobot topologi skema yang membentuk cluster yang tidak rata mencegah lubang energi dan menjaga keseimbangan konsumsi energi seluruh jaringan IoT. Pada tahap pertama, untuk menentukan kepala cluster, algoritma mempertimbangkan derajat dan jarak relatif antara Selanjutnya, pada tahap kedua, *Bee Colony Optimization* (BCO) digunakan untuk memprediksi hasil rute setiap bagian perutean dari node sumber ke node sink. Ini mengarah pada peningkatan kinerja jaringan secara keseluruhan atau memperpanjang waktu kelangsungan hidup jaringan.

Sedangkan memilih rute maju yang dapat menghubungkan lebih banyak penerima multi-cast menggunakan skema back-off offset dan karakteristik siaran dari komunikasi nirkabel, menyajikan metode perutean yang seimbang energi berdasarkan *Forward-Aware Factor* (FAF) -EBRM) untuk WSN. Berkat kesadaran akan bobot tautan dan kepadatan energi ke depan, FAF-EBRM dapat menyamai node hop berikutnya yang andal dalam rute. Kemudian, berdasarkan mekanisme rekonstruksi spontan untuk topologi lokal, FAF - EBRM mengungguli skema konvensional, seperti *Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) dan *Energy-Efficient Uneven Clustering* (EEUC), dalam hal menyeimbangkan konsumsi energi, memperluas masa pakai jaringan, dan menjamin Kualitas Layanan (QoS) yang tinggi dari WSN.

Sebuah protokol routing berbasis cluster hemat energi, yang disebut Quasi Group Routing Protocol untuk jaringan smartphone multi-hop berbasis Wi-Fi Direct. Dengan demikian, semua perangkat dalam jaringan dikelompokkan ke dalam kuasi - gro up (cluster) dan kepala cluster dipilih berdasarkan tiga pendekatan yang berbeda: (1) perangkat dengan

ID tertinggi di sekitarnya, (2) rekan yang memiliki jarak rata-rata terpendek dari node lain, (3) node dengan Selain itu, algoritme memungkinkan perangkat untuk memutar tanggung jawab CH dan mengelola konsumsi baterainya secara efisien. Skema yang diusulkan yang divalidasi melalui simulasi dapat menghemat sejumlah besar energi.

Umumnya, konsumsi energi di WSN dipengaruhi tidak hanya oleh jumlah total data yang dirasakan dan dikumpulkan, tetapi juga skema perutean.Meskipun metode pengisian daya kolaboratif dapat menangani pengaruh secara efektif, utilitas Jaringan Sensor Isi Ulang Nirkabel (WRSN) Zhang et al mengembangkan algoritma BEAS untuk mengelola penggunaan energi baterai secara efisien, dan algoritma DSR2C untuk mendapatkan tingkat penginderaan dan perutean yang optimal. Oleh karena itu, tingkat konsumsi energi terkendali, dengan mengatakan bahwa tetap lebih rendah dari alokasi energi Selain itu, node sensor memilih jalur dengan konsumsi energi terendah untuk mentransfer data dengan menggunakan protokol perutean yang sadar pengisian daya.

Dengan cara ini, konsumsi energi jaringan dapat diseimbangkan dengan masa pakai yang lama juga. Masalah alokasi energi dirumuskan berdasarkan energi Berkenaan dengan perutean informasi dalam jaringan darurat dan keselamatan publik, protokol perutean multi-hop baru yang disebut Pendekatan Perutean yang Dioptimalkan untuk Jaringan Kritis dan Darurat (Berkaitan dengan perutean informasi dalam jaringan darurat dan keselamatan publik, multi-hop baru protokol perutean yang disebut Pendekatan Perutean yang Dioptimalkan untuk Jaringan Kritis dan Darurat.ORACE-Net Sebagai protokol perutean berbasis metrik, skema perutean yang diusulkan mengandalkan estimasi kualitas tautan ujung-ke-ujung waktu-nyata metrik termasuk kekuatan sinyal ujung ke ujung dan ujung ke ujung Diinvestigasi oleh proses simulasi, protokol yang diusulkan mengungguli protokol yang dipelajari lainnya dalam hal tingkat penerimaan paket dan konsumsi energi. Selain itu, meningkatkan masa pakai jaringan tubuh-ke-tubuh dan keandalan.

16.3 Model Sistem

16.3.1 Topologi Jaringan

Untuk mengatasi kelemahan dalam jaringan skala besar kami, metode perutean statis yang dirancang berdasarkan biasanya, layak untuk menggunakan protokol perutean dinamis untuk WSN skala kecil, namun sejumlah besar energi dihabiskan untuk proses data dan komunikasi data. Struktur topologi jaringan berjenjang digunakan karena dapat memigrasikan beban lalu lintas secara efektif [24, 25]. Dengan demikian, model jaringan dibangun dari tiga lapisan, yaitu lapisan penginderaan, lapisan relai, dan lapisan konvergensi seperti yang digambarkan pada Gambar. 17.1 Lapisan penginderaan berisi sensor industri dan identifikasi frekuensi radio (RFID), yang disebut perangkat I / O, yang memperoleh dan mengirimkan data ke lapisan relai. Di lapisan relai, router saling berhubungan dan meneruskan data ke gateway yang bertanggung jawab untuk mengunggah data ke Internet Menurut fungsi dan spesifikasi perangkat I/O, router, dan gateway, aturan komunikasi antara dua elemen IIoT didefinisikan sebagai berikut:

- Perangkat I / O, si, tidak dapat berkomunikasi langsung dengan perangkat I / O lain

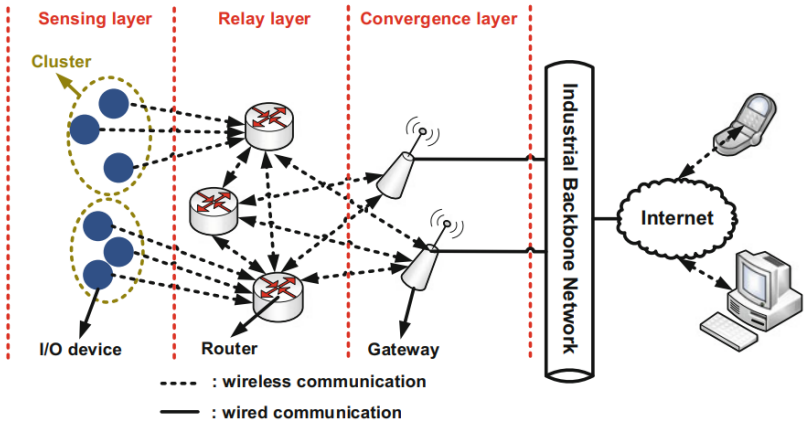
$$(s_i, s_j \in S; d_{s_i s_j} \leq d_{s_{\max}});$$

- Perangkat I / O, si, hanya dapat mengirimkan paket data ke router,

$$r(s \in S, r \in R; d_{sr} \leq d_{s_{\max}});$$

- Sebuah router, ri, dapat menjangkau yang lain, rj, atau gateway,

$$g(r_i, r_j \in R, g \in G; d_{r_i r s_j} \leq d_{s_{\max}}, d_{r_i g} \leq d_{r_{\max}}).$$



Gambar 16.1 Topologi jaringan untuk penyebaran IIoT skala besar di lingkungan industri

Tabel 16.1 Notasi model system

Simbol	Definisi
du,v	Jarak antara simpul u dan simpul v
S, R, G	Set perangkat I / O, router, dan gateway, masing-masing
s ∈S, r ∈R, g ∈G	Perangkat I / O, router, dan gateway, masing-masing
*ds*max , *dr*max	Jarak komunikasi perangkat I / O, dan router, masing-masing
*E*elec	Energi yang dikonsumsi untuk memproses data
‹mp, ‹fs	Koefisien fading multi-jalur yang bergantung pada jarak dan model saluran ruang bebas
*d*0	Ambang batas untuk beralih ke saluran fading multi-jalur
EDA	Energi untuk agregasi dan kompresi
Es, Er , Eg	Konsumsi energi perangkat I / O, router, dan gateway, masing-masing
Eij (*k, dij*) *tx*	Konsumsi energi perangkat I / O i ketika mengirim paket k-bit melalui jarak dij ke perangkat j
Eij (*k*) *rx*	Konsumsi energi perangkat I / O j ketika menerima paket k-bit dari perangkat i
*E*init	Energi awal elemen IIoT

16.3.2 Definisi Variabel

Tabel 17.1 mencantumkan dan mendefinisikan semua notasi parameter dan variabel yang digunakan dalam bab ini.

16.3.3 Model Energi

Untuk mengevaluasi efisiensi energi ERRS, bab ini menggunakan model energi yang diperkenalkan pada [26] Energi untuk mentransmisikan paket panjang k-bit dari node u ke node v dihitung dengan

$$E_{tx}^{uv}(k, d_{u,v}) = \begin{cases} E_{\text{elec}} \times k + \epsilon_{\text{fs}} \times k \times d_{uv}^2 & \text{if } \mathrm{d}_{uv} \leq d_0 \\ E_{\text{elec}} \times k + \epsilon_{\text{mp}} \times k \times d_{uv}^4 & \text{if } \mathrm{d}_{uv} \geq d_0 \end{cases}. \qquad (17.1)$$

Untuk menerima paket k-bit, jumlah energi yang dikonsumsi pada simpul v diberikan oleh

$$E_{rx}^{uv}(k) = (E_{\text{elec}} + E_{DA}) \times k. \qquad (17.2)$$

Mengingat sebuah cluster dengan satu set perangkat I / O N (| N | <| S |), Es, Er, dan Eg, masing-masing dihitung dengan

$$\begin{aligned} E_s &= E_{tx}^{sr}(k, d_{sr}), \\ E_r &= \sum_{i=1}^{|N|} E_{rx}^{s_i r}(k) + \sum_{z,j=1}^{|M|} \left\{ E_{tx}^{rr_j}(k, d_{rr_j}) + E_{rx}^{r_z r}(k) \right\} \\ &\quad + \sum_{u=1}^{|O|} E_{tx}^{rg_u}(k, d_{rg_u}), \\ E_g &= \sum_{j=1}^{|P|} E_{rx}^{r_j g}(k). \end{aligned} \qquad (17.3)$$

dimana M, O adalah himpunan node tetangga dari router r, dan P adalah himpunan node tetangga gateway g (| M |, | P | ≤| R |, | O |≤ | G |).

Oleh karena itu, konsumsi energi Ecluster, i dalam cluster i dihitung dengan

$$E_{\text{cluster},i} = \sum_{j=1}^{|N|} E_{s_j} + E_{r_i}. \qquad (17.4)$$

Konsumsi energi total dalam putaran Eround diberikan oleh

$$E_{\text{round}} = \begin{cases} E_{\text{cluster},i} + E_g & \text{if } L = 1 \\ E_{\text{cluster},i} + \sum_{j=1}^{L} E_{r_j} + E_g & \text{if } L = 1 \end{cases}, \qquad (17.5)$$

di mana putaran didefinisikan sebagai data yang dikumpulkan dari perangkat I/O ke gateway, dan L adalah jumlah hop dari cluster i ke gateway g.
Karena tujuan utama yaitu untuk meminimalkan konsumsi energi untuk sistem IIoT, formulasi optimasi bab ini ditentukan oleh:

$$\begin{aligned} &\textbf{Minimize } E_{\text{round}} \\ &\textbf{subject to } E_s, E_r, E_g \geq 0 \\ &\qquad E_{\text{cluster}} \geq 0 \\ &\qquad |N| \leq |\mathcal{S}| \\ &\qquad |M|, |P| \leq |\mathcal{R}| \\ &\qquad |O| \leq |\mathcal{G}| \end{aligned} \quad . \qquad (17.6)$$

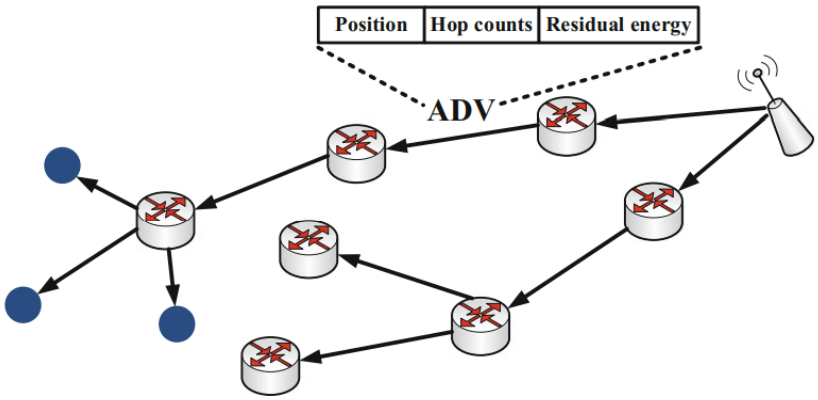
Menurut model pengoptimalan, untuk meminimalkan seluruh konsumsi energi dari sistem IIoT skala besar, pertama, daya yang dikonsumsi untuk satu putaran harus dioptimalkan, yang mengarah pada permintaan untuk meminimalkan konsumsi energi baik untuk transmisi atau penerimaan I / Perangkat O, router, dan gateway. Selanjutnya, algoritme perutean akan mencari jalur konsumsi energi terendah yang memiliki jumlah hop paling sedikit dari CH ke gateway. Selain itu, di lingkungan yang keras, seperti IIoT, jumlah hop juga berperan bagian penting dalam meneruskan data secara real time. Pada Bagian 67.4, proses routing akan dijelaskan secara rinci.

16.4 Skema Perutean Waktu Nyata Sadar Energi (ERRS)

Dalam jaringan, untuk memperbarui informasi node tetangga sebelum membuat cluster atau merutekan data, elemen IIoT dalam bab ini bergantung pada protokol proaktif seperti Router dan gateway secara berkala menyiarkan paket iklan (ADV) setelah periode yang telah ditentukan Paket ADV berisi informasi tentang posisi, jumlah hop, dan energi sisa dari semua elemen IIoT dalam jaringan, seperti yang digambarkan pada Gambar 16.2. Setelah menerima paket ADV, semua node IIoT dapat memanfaatkan informasi yang tersedia untuk memilih cluster yang memiliki router potensial, dan membangun rute data ke gateway.

16.4.1 Skema Pengelompokan

Karena organisasi klaster bergantung sepenuhnya pada komputasi efisiensi energi yang diperlukan dan memutuskan klaster potensial mana yang harus diikuti oleh perangkat I/O, masa pakai jaringan dalam sistem IIoT akan diperpanjang secara signifikan. (n 1 atau n > 1) dalam jangkauan komunikasi perangkat I/O dilakukan melalui prosedur pertukaran paket antara perangkat I/O dan router.



Gambar 16.2 Memperbarui informasi dari paket ADV

Tabel 16.2 Daftar paket yang digunakan oleh perangkat I/O dan router dalam proses pembentukan cluster

n	Paket	Arti
n = 1	HALO-REQ	Mulai pembentukan cluster yang ditandai oleh router
	REV-HALO-REQ	Tanda terima HELLO-REG yang diinformasikan oleh perangkat I / O
	YA-RES	Tunjangan penggabungan cluster dikonfirmasi oleh router
n >1	HALO-REQ	Mulai pembentukan cluster yang ditandai oleh router
	TUNGGU-RES	Tanda terima HELLO-REG yang diinformasikan oleh perangkat I / O
	JOI-REQ	Penggabungan cluster diminta oleh router
	SEL-RES	Cluster yang dipilih dengan CH yang diinformasikan oleh perangkat I / O

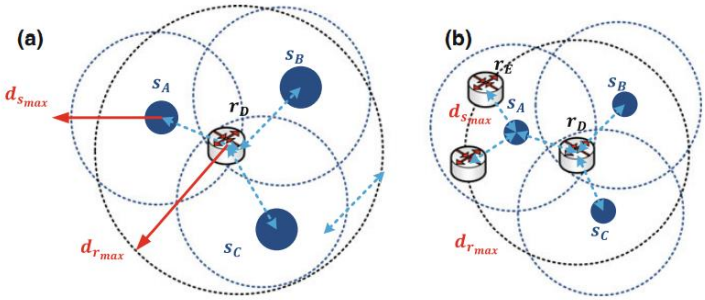
Untuk kejelasan deskripsi proses clustering, paket-paket penting tercantum pada Tabel 16.2. n 1: Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 16.3a, untuk menginisialisasi proses clustering, paket HELLO-REQ (hello-request) disebarkan dari router rD perangkat I / O tetangganya termasuk sA, sB, dan sC untuk menginformasikan Mereka memiliki perannya Tidak seperti paket ADV, HELLO-REG adalah sebagai pesan suar tanpa menyertakan informasi yang bertujuan untuk menginformasikan perangkat I / O tetangga bahwa proses pembentukan cluster dimulai. Karena hanya menerima satu paket HELLO-REQ yang dikirim dari rD, tiga Perangkat I / O segera memutuskan untuk menjadi anggota cluster dari cluster router rD tanpa mempertimbangkan efisiensi energi Ketika sA, sB, dan sC berharap untuk bergabung dengan cluster rD, mereka mengirimkan REV-HELLO-RES (*receive-hello-response*) paket yang berisi nomor identifikasi, energi sisa, dan informasi posisi untuk mengakui penerimaan paket HELLO-REQ dan untuk mendapatkan izin dari CH rD. Jika REV-HELLO-RES berhasil diterima oleh CH rD, rD mengizinkan tiga I / O perangkat untuk menjadi anggota clusternya dengan mengirimkan YES-RES (yes-response) pa cket termasuk informasi routing dengan CH ke sA,

sB, dan sC. Kemudian, perangkat I / O memperbarui tabel routing mereka sendiri, dan organisasi cluster selesai, seperti yang dijelaskan pada Gambar 16.4.
n> 1: Tidak seperti perangkat I / O sB, dan sC pada Gambar 16.3b, sA dapat berkomunikasi dengan router rD, rE, dan rF, oleh karena itu, kami hanya mempertimbangkan pemilihan cluster perangkat I / O sA. Untuk memberi tahu tiga router tentang penerimaan paket HELLO-REQ yang berhasil dari mereka, perangkat I / O sA menyiarkan paket WAIT-RES (waiting-response) yang berisi energi sisa dan informasi posisinya.

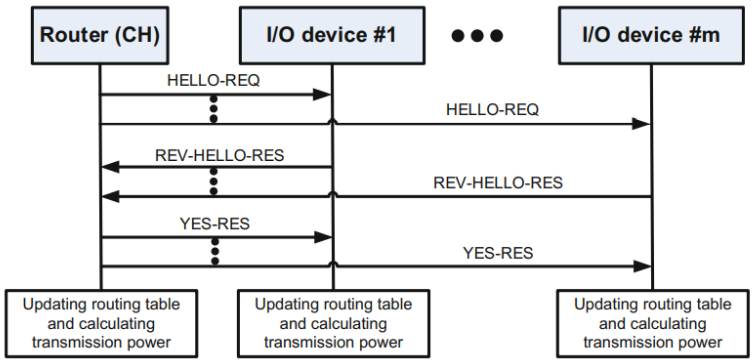
Termasuk energi sisa sA, energi sisa rata-rata semua perangkat I / O di setiap cluster yang dihitung oleh router diberikan oleh

$$\bar{E}_{\text{cluster-res}_j} = \frac{\sum_{i=1}^{|W|} E_{s\text{-res}_i}}{|W|}, \qquad (17.7)$$

dimana $E_{s\text{-res}_i} = E_{\text{init}} - \sum_{\text{round}=1}^{\infty} E_{s_i}$ adalah energi sisa dari perangkat I/O ke-i, dan W adalah himpunan perangkat I/O dalam sebuah cluster. Kemudian, paket JOI-REQ (joining-request) berisi rata-rata energi sisa dan lokasi rD, rE, dan rF dibalas dari tiga router ke s_A.



Gambar 16.3 Distribusi router: satu router dalam jangkauan komunikasi setiap perangkat I/O, dan b tiga router dalam jangkauan komunikasi satu perangkat I/O

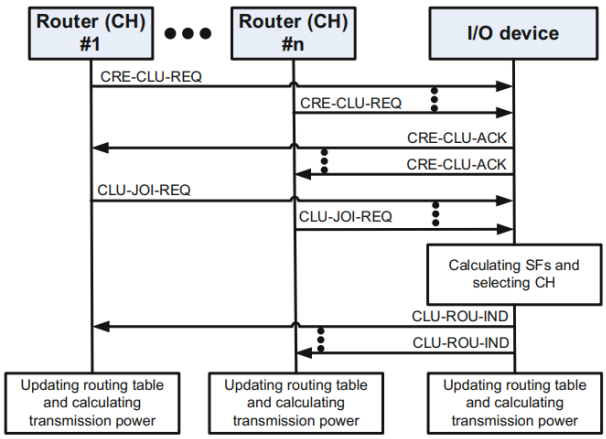


Gambar 16.4 Membuat cluster dengan n = 1

Dengan mempromosikan informasi di JOI-REQ, PI yang dihitung sA untuk setiap router diperoleh dari berikut ini:

$$\mathrm{PI}_{s_k r_j} = \frac{E_{s\text{-res}_k}}{\bar{E}_{\text{cluster-res}_j}} \times \frac{1}{d_{s_k r_j}}, \qquad (17.8)$$

dimana $d_{s_k r_j} = \sqrt{(x_{s_k} - x_{r_j})^2 + (y_{s_k} - y_{r_j})^2}$. Di antara tiga router, sA memutuskan untuk bergabung dengan cluster yang CH-nya memiliki PI terbesar dan menginformasikan rD, rE, dan rF tentang pemilihannya melalui paket SEL-RES (selection-response). Router, sebagai CH potensial, didefinisikan sebagai



Gambar 16.5 Membuat cluster dengan n> 1

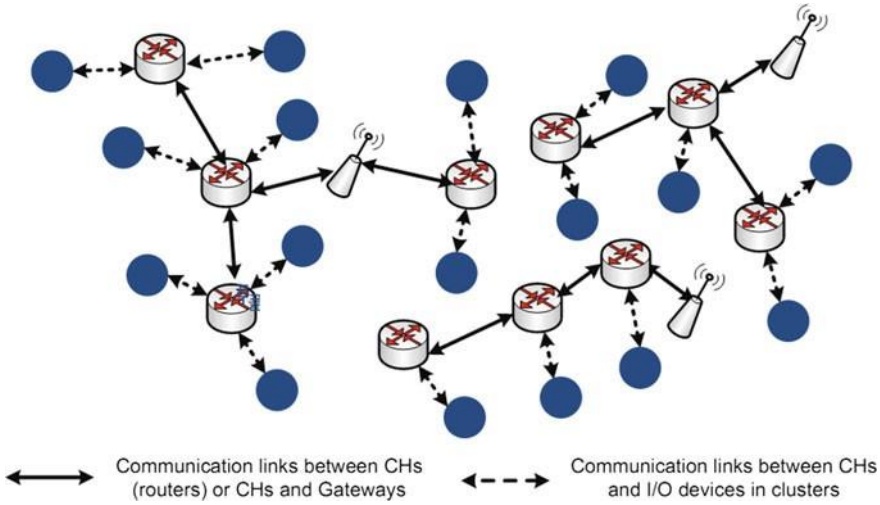
$$\mathrm{CH} = \left\{ r_j \,\middle|\, \arg\min\left\{\mathrm{PI}_{s_k r_j}\right\}, \quad r_j \in \mathcal{R}, \quad s_k \in \mathcal{S} \right\}. \qquad (17.9)$$

Proses pembuatan cluster untuk kasus ini diringkas pada Gambar 17.5.

16.4.2 Skema Perutean

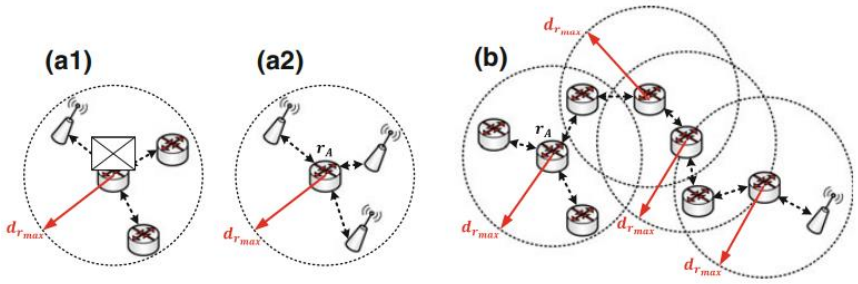
Setelah menyelesaikan proses organisasi klaster, sistem IIoT mencakup klaster yang terbentuk dan CH yang dipilih (router yang dipilih) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 16.6.

$$g_{\text{des}} = \left\{ g_i \,\middle|\, \arg\min_{Z}\{d_{r_A g_i}\}, \quad g_i \in Z, \quad Z \subset \mathcal{G} \right\}, \qquad (17.10)$$



Gambar 16.6 Contoh topologi sistem IIoT dengan cluster dan CH (router) yang dipilih setelah menyelesaikan satu putaran organisasi clustering

Dalam sebuah cluster, setelah menggabungkan data yang ditransmisikan oleh perangkat I / O selama waktu transmisi yang dialokasikan, setiap router menyediakan fungsi perutean waktu-nyata yang sadar energi untuk meneruskan data ke gateway. pesan INI-ROU *(initializing-route)* disebarkan dari router ke tetangganya dalam jangkauan komunikasi drmax. Jika tetangga berhasil menerima INI-ROU, mereka meminta izin untuk meneruskan data dengan mentransmisikan WAIT-ACK pesan yang terdiri dari alamat mereka, jumlah hop, energi sisa, dan informasi posisi.



Gambar 16.7 Distribusi gateway: a gateway terdistribusi dalam jangkauan komunikasi rA, dan b gateway terdistribusi di luar jangkauan komunikasi rA

di mana Z adalah satu set gateway dalam jangkauan komunikasi rA, dan

$$d_{r_A g_i} = \sqrt{\left(x_{r_A} - x_{g_i}\right)^2 + \left(y_{r_A} - y_{g_i}\right)^2}.$$

Dalam hal hanya ada gateway dalam jangkauan komunikasi rA seperti Gambar 16.7a1, data diteruskan langsung dari rA ke gateway secara langsung setelah rA menerima WAIT-ACK dari gateway.Namun, mengenai Gambar 16.7a2, jika several tetangga gateway didistribusikan dalam jangkauan komunikasi rA, algoritma routing menggunakan jarak

transmisi untuk memilih gateway.Untuk menyelesaikan rute, rA hanya mengirimkan data ke gateway terdekat yang ditentukan oleh

$$\bar{d}_{r_A r} = \frac{\sum_{i=1}^{|Q|} d_{r_A r_i}}{|Q|} \qquad (17.11)$$

di mana Q adalah himpunan node tetangga r_A dan $d_{r_A r_i} = \sqrt{\left(x_{r_A} - x_{r_i}\right)^2 + \left(y_{r_A} - y_{r_i}\right)^2}$. Kemudian, energi sisa rata-rata | Q | node tetangga ditentukan oleh

$$\bar{E}_{r\text{-res}} = \frac{\sum_{i=1}^{|Q|} E_{r\text{-res}_i}}{|Q|}, \qquad (17.12)$$

Dimana

$$E_{r\text{-res}_i} = E_{\text{init}} - \sum_{\text{round}=1}^{\infty} E_{r_i}.$$

Karena permintaan untuk meminimalkan energi transmisi dan menjaga keseimbangan sistem IIoT, pada tahap pertama pemilihan forwarder hop berikutnya, skema perutean menggunakan jarak transmisi data dari rA ke tetangganya dan energi sisa setiap tetangga. bahwa jarak transmisinya kurang dari drAr dan energi residunya lebih besar dari Er-res, ia dapat mengambil bagian dalam himpunan yang ditentukan oleh NH sebagai berikut:

$$\mathcal{NH} = \left\{ r_i | d_{r_A r_i} \le \bar{d}_{r_A r} \wedge E_{r\text{-res}_i} \ge \bar{E}_{r-\text{res}}, \quad r_i \in Q, \quad Q \subset \mathcal{R} \right\} \qquad (17.13)$$

Bergantung pada peran jumlah hop yang disajikan dalam Persamaan (17.5), untuk menurunkan konsumsi daya dan penundaan ujung ke ujung di IoT, di antara router di NH, penerus potensial rA secara akurat sebagai berikut:

$$r_{\text{NH}} = \left\{ \{ r_i | \arg\min_{\mathcal{NH}} \{\text{hop counts}\}, \quad r_i \in \mathcal{NH}, \quad \mathcal{NH} \subset \mathcal{R} \right\}. \qquad (17.14)$$

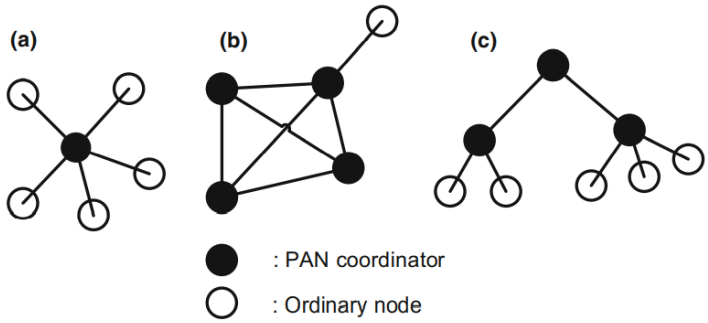
Akhirnya, dalam penyelesaian penentuan hop potensial berikutnya, rA membalas pesan INI-ROU yang dimodifikasi untuk menunjukkan router mana yang mendapat izin untuk meneruskan data. Router berikutnya bertanggung jawab untuk melakukan proses perutean sampai tujuan rA berhasil menerima semua paket data dari dia.

16.5 Evaluasi Kinerja

16.5.1 IEEE 802.15.4a Skema CSMA / CA untuk IIoT

Dengan menggunakan saluran 14/16 pada pita ISM, IEEE 802.15.4a memberikan saluran ke setiap cluster untuk menghindari interferensi antar-cluster.Selain itu, IEEE 802.15.4a juga menyediakan Chirp Spread Spectrum (CSS))) PHY yang digunakan secara luas untuk memecahkan masalah konsumsi energi dalam jaringan skala besar. Berkat mekanisme manajemen daya yang ditentukan oleh IEEE 802.15.4a, mode yang mengaktifkan beacon berpotensi mengurangi daya konsumsi.

Dalam hal pengaksesan saluran, meskipun TDMA digunakan untuk memenuhi persyaratan keandalan dalam aplikasi industri dan IoT, ada beberapa batasan ketat pada durasi slot TDMA, yaitu, yang ditetapkan hingga 10 ms di WirelessHART, dan panjang frame TDMA akan diperpanjang jika ada peningkatan jumlah sensor di IIoT, sehingga tidak sefleksibel IEEE 802.15.4 dalam hal durasi superframe dan interval beacon Selain itu, berdasarkan *Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance* (CSMA / CA IEEE 802.15.4 memberikan beberapa keuntungan yang membuat nyata. Jadi, dalam simulasi ini, elemen IIoT mengoperasikan protokol CSMA / CA IEEE 802.15.4a dengan mode beacon-enable sebagai lapisan MAC sementara CSS diimplementasikan pada lapisan PHY Dengan kata lain, standar IEEE 802.15.4 menyediakan lapisan jaringan dasar yang lebih rendah dari jenis jaringan area pribadi nirkabel (WPAN), yang berkonsentrasi pada biaya rendah, kecepatan rendah, komunikasi di mana-mana antara perangkat. Komponen dasar dalam jaringan IEEE 802.15.4 terdiri dari koordinator PAN dan node. Koordinator PAN bertanggung jawab untuk mengelola seluruh jaringan, sedangkan node biasa berhubungan dengan koordinator untuk berpartisipasi dalam opsi jaringan.Mengenai topologi jaringan, IEEE 802. 15.4 tidak hanya mendukung jaringan bintang sederhana, tetapi juga menggunakan topologi multi-hop, seperti pohon cluster dan mesh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.8. Dalam penelitian ini, kami menerapkan algoritma yang diusulkan dalam topologi cluster-tree dari IEEE 802.15.4 standar untuk mengungkapkan efisiensi algoritma.



Gambar 17.8 Topologi yang didukung oleh IEEE 802.15.4: jaringan bintang, jaringan b mesh, dan pohon cluster c

16.5.2 Model Simulasi

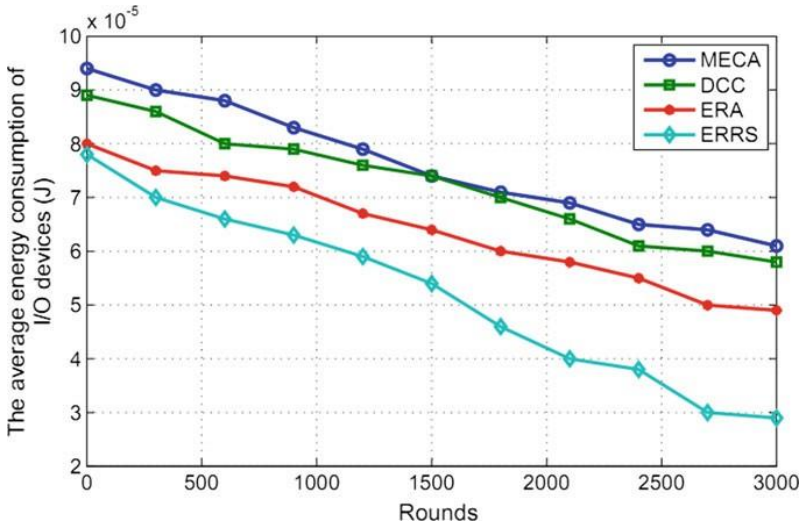
ERRS diverifikasi oleh OPNET Modeler. Sistem IIoT mencakup 300 perangkat I / O, 100 router, dan 50 gateway. Gateway bertindak sebagai koordinator PAN dan router bertindak sebagai koordinator. Sementara itu, semua perangkat I / O bertindak sebagai perangkat akhir yang terkait dengan Semua elemen IIoT dialokasikan secara acak di area seluas 500 500 m2 Tabel 16.3 merinci parameter simulasi utama.

Tabel 16.3 Parameter simulasi

Simbol	Definisi
Ukuran medan IIoT	500 m × 500 m
Distribusi elemen IIoT	Secara acak
| S |	300
| R |	100
| G |	50
*ds*max *, dr*max	[0; 15 m]
lapisan MAC	IEEE 802.15.4a CSMA / CA dengan mode aktifkan suar
Durasi satu slot periode backoff untuk operasi	320 µs
Beacon order (0 ≤ BO ≤ 14)	13
Beacon interval (BI = 15.36 × 2BO)	125.8 s
Superframe order (0 ≤ SO ≤ BO ≤ 14)	7
Active period (SI = 15.36 ×2SO)	1.97 ms
lapisan PHY	CSS
Rentang penginderaan pembawa	30 m
propagasi radio	Two-way ground
Kecepatan data	11 Mbps
Ukuran paket	32 bytes
*E*elec	50 nJ/bit
EDA	5 nJ/bit/signal
*E*init	2J
‹fs	10 pJ/bit/m^2
‹mp	0.0013 pJ/bit/m^4
*d*0	75 m

16.5.3 Hasil Simulasi

Untuk mengungkap peningkatan ERRS, dibandingkan dengan *Minimal Energy Consumption Algorithm (MECA), Distributed Cluster Computing Energy-Efficient Routing Scheme (DCC)*, dan *Energy-Aware Routing (ERA)*, ERRS sangat mirip dengan, terbatas hanya pada Jaringan Sensor Nirkabel, bukan sistem yang lebih besar dan kompleks seperti IIoT.



Gambar 16.9 Konsumsi energi rata-rata perangkat I / O

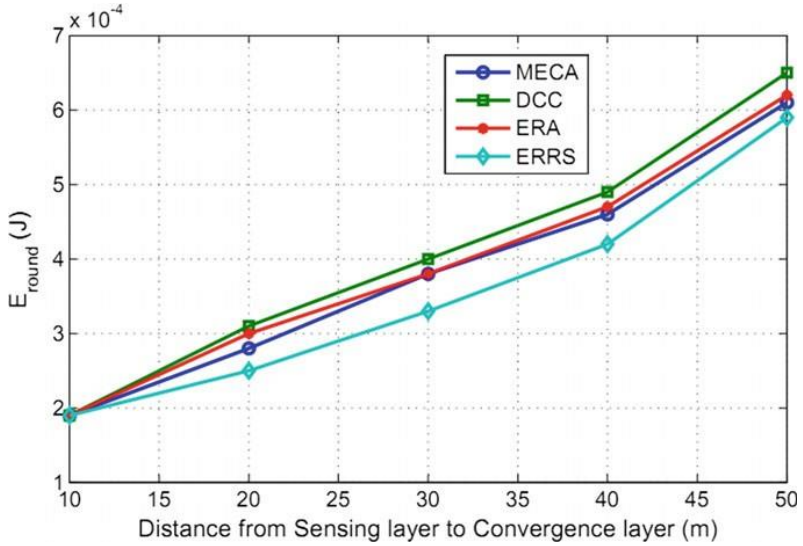
`Sementara itu, MECA dan DCC digunakan. untuk memenuhi syarat batasan daya dalam sistem IoT. MECA menggunakan model optimasi untuk menemukan yang terendah jalur energi dari sumber ke tujuan, sedangkan DCC hanya berfokus pada indikasi bagaimana membentuk cluster menggunakan energi sisa.Namun, penulis MECA dan DCC Berkat routing yang optimal diimplementasikan pada IEEE 802.15.4a CSMA/CA, ERRS mengungguli skema konvensional dalam hal penghematan daya dan penundaan ujung ke ujung.

Konsumsi Energi

Gambar 16.9 menggambarkan energi rata-rata yang dikonsumsi oleh perangkat I/O saat menambah jumlah putaran.

Dari keempat skema perutean yang mengurangi konsumsi energi perangkat I / O, ERRS dapat mencapai disipasi energi terendah, penurunan bertahap dari 7,8 10-5 menjadi 2,9 10-5 J, dibandingkan dengan metode lain.

MECA mencari jalur yang mengkonsumsi energi terendah untuk meneruskan data hanya menggunakan pohon Steiner dan metode pengelompokan K-means sederhana. Jarak transmisi tidak dianggap sebagai metrik untuk membentuk cluster dan rute. Data dengan node penginderaan di MECA adalah yang tertinggi di antara empat skema routing. Penulis DCC dan ERA mempresentasikan metode optimal yang dapat membuat cluster potensial menggunakan energi sisa dan jarak. Namun, DCC menerapkan algoritma dalam topologi yang terdiri dari BS sementara skema di ERA diusulkan di WSN. Oleh karena itu , ketika digunakan dalam sistem IIoT skala besar, jelas, setiap perangkat I / O dalam algoritma di atas tidak dapat menghemat daya sebanyak ERRS.



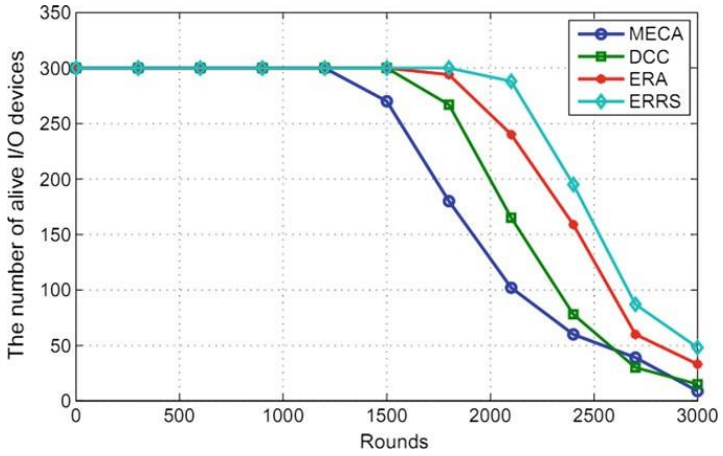
Gambar 16.10 Eround versus jarak antara lapisan penginderaan ke lapisan konvergensi

Karena skala besar sistem IIoT, jarak transmisi menjadi tantangan untuk perutean.Karena meneruskan data langsung ke tujuan alih-alih jalur multi-hop, semua CH di DCC membutuhkan konsumsi daya transmisi lebih banyak daripada ERA dan penerapan algoritma pohon Steiner untuk mencari jalur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.10.

Karena keunggulan IEEE 802.15.4a yaitu daya yang rendah dan jangkauan komunikasi yang jauh, ERRS masih mempertahankan konsumsi energi yang paling rendah, yaitu berkisar antara 1,9 10-4 hingga 5,9 10-4 untuk putaran saat jarak dari Perangkat I / O ke gateway diperpanjang.

Jaringan Seumur Hidup

Masa pakai jaringan dari empat algoritma perutean diilustrasikan dengan jelas pada Gambar 16.11. Dalam bab ini, masa pakai jaringan mengacu pada jumlah node hidup yang tersisa operasional setelah putaran transmisi data. Seperti yang diperkenalkan dalam model sistem, yang pertama Tujuan ERRS adalah mengurangi daya transmisi data perangkat I/O dalam sebuah cluster, sehingga jarak transmisi dan energi sisa dipertimbangkan untuk menciptakan struktur cluster yang optimal. perangkat yang berbeda dalam lapisan, beban lalu lintas jaringan berkurang dan seimbang secara signifikan, yang menghasilkan penghematan daya untuk semua perangkat dalam sistem.

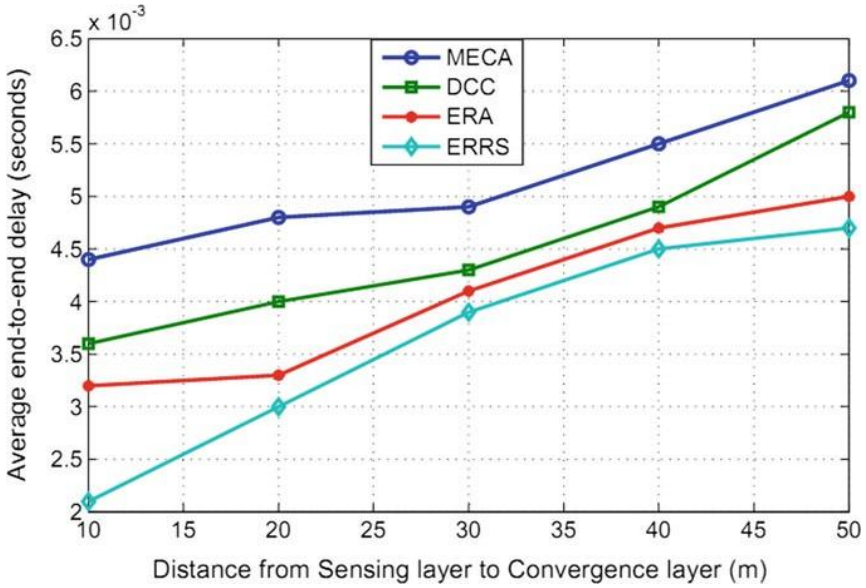


Gambar 17.11 Masa pakai jaringan

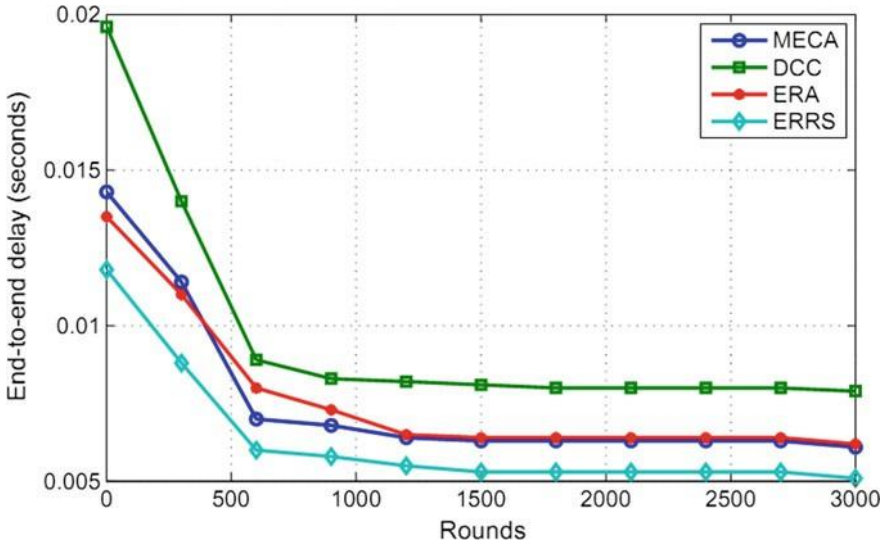
Mengenai pemilihan jalur perutean yang hemat energi, ERRS tidak hanya memilih sink yang paling andal untuk menyelesaikan rute, tetapi juga bertanggung jawab untuk memilih jalur multi-router yang memiliki disipasi energi terendah untuk meneruskan data dari perangkat I/O ke gateway. Selain itu, karena IEEE 802.15.4a dapat menghindari efek negatif dari interferensi dan tabrakan, ERRS mengungguli semua yang terkait dalam memperpanjang masa pakai jaringan.

Rata-rata Penundaan Ujung-ke-ujung

Dalam dua algoritma yang dijelaskan oleh MECA dan DCC, faktor jumlah hop tidak diperhitungkan sebagai syarat untuk membangun rute.Sementara itu, untuk menjamin persyaratan latency untuk sistem IIoT skala besar, ERRS dalam penelitian ini memilih forwarder potensial dengan Dalam jaringan kompleks berskala besar seperti IIoT, selain mengatasi masalah penghematan daya, permintaan untuk mempertahankan penundaan ujung ke ujung terendah telah meningkat.Akibatnya, ERRS memanfaatkan jalur terpendek Selain itu, saat meneruskan data secara bersamaan antar klaster , transmisi yang gagal yang disebabkan oleh tabrakan atau interferensi antar-cluster dimitigasi oleh algoritma CSMA / CA IEEE 802.15.4a.



Gambar 16.12 Rata-rata *delay end-to-end* versus waktu simulasi



Gambar 16.13 Rata-rata penundaan ujung ke ujung versus jarak dari lapisan penginderaan ke lapisan konvergensi

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.12, keterlambatan ujung ke ujung di ERRS tetap stabil pada level terendah mulai dari 0,0118 detik hingga 0,0051 detik jika dibandingkan dengan skema lainnya.

Bahkan ketika jarak antara lapisan penginderaan dan lapisan konvergensi diperpanjang seperti pada Gambar 16.13, pendekatan yang diusulkan masih mencapai hasil terbaik Meskipun penundaan ujung ke ujung rata-rata dari keempat skema perutean tumbuh secara eksponensial, peningkatan dalam penundaan ERRS secara signifikan lebih rendah daripada yang tersisa.

16.6 Kesimpulan

Bab ini mengusulkan pendekatan perutean yang dapat meminimalkan konsumsi energi seluruh IIoT kompleks skala besar. Mengandalkan dua kunci penting jarak transmisi dan energi sisa, pendekatan perutean mengatasi kelemahan dari pekerjaan sebelumnya. Faktor pemilihan digunakan oleh perangkat I / O untuk bergabung dengan cluster yang memenuhi syarat. Selain mengevaluasi efisiensi ERRS, faktor pemilihan digunakan oleh perangkat I / O untuk bergabung dengan cluster yang memenuhi syarat. diperhitungkan sebagai syarat untuk membangun rute data.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ERRS mengungguli skema konvensional dalam hal penghematan daya, masa pakai jaringan, dan rata-rata keterlambatan ujung ke ujung. Sebagai arah penelitian ke depan, efisiensi ERRS akan menjadi diverifikasi dengan penerapan perangkat yang ada di pabrik industri untuk mengatasi masalah praktis memperluas kontribusi bab ini, kami akan menyelidiki ERRS dalam aplikasi militer dan pertanian.

BAB 17
KERANGKA PERSEPSI 3D UNTUK TATA LETAK KONTAINER BERTUMPUK DI INTERNET FISIK

17.1 Pendahuluan

Cara barang dipindahkan menjadi semakin tidak efisien dengan dampak besar terhadap lingkungan. 13 gejala utama dilaporkan untuk menyoroti ketidakberlanjutan sistem logistik saat ini. Menuju visi masa depan, pekerjaan mengklaim bahwa Itulah mengapa semakin banyak inisiatif hijau di tingkat logistik taktis, strategis, dan operasiona. Namun, metrik ini sering tampak terbatas dalam konteks ini, paradigma logistik terintegrasi baru diperlukan dengan menghubungkan ekonomi, ekologi, dan aspek sosial, dan juga termasuk semua tanda.

Internet Fisik menjadi solusi yang sangat menjanjikan untuk tantangan besar keberlanjutan logistik global. Inisiatif ini mendukung ses untuk merancang sistem untuk memindahkan, menangani, menyimpan, mewujudkan, memasok, dan menggunakan objek fisik di seluruh dunia dengan cara yang meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan keberlanjutan secara bersamaan. Pergeseran paradigma ini terutama didasarkan pada jaringan jaringan logistik dan konsep enkapsulasi, dengan cara yang mirip dengan antar-jaringan dan transportasi paket di Internet Digital. Yang terakhir merangkum informasi dalam paket data standar.

Selain itu, semua antarmuka dan protokol dirancang dan dikembangkan secara independen untuk mengeksploitasi Dengan cara ini, paket data dapat diproses oleh peralatan jaringan yang berbeda (misalnya, router atau switch), dan dibawa melalui jaringan yang berbeda menggunakan berbagai jenis media.Dengan analogi, Internet Fisik tidak memanipulasi barang fisik secara langsung, tetapi kontainer modular standar (disebut -containers) yang merangkum barang dagangan fisik, dan containers komposit yang dapat disusun dari satu set kontainerkesatuan dan lebih kecil. Antarmuka dan protokol Internet Fisik dirancang melalui facilities (seperti -hubs, -mover, -carrier, dll.) untuk mendapatkan yang efisien dan berkelanjutan interkonektivitas universal Oleh karena itu, inti dari konsep Internet Fisik adalah penanganan kontainer di seluruh infrastruktur logistik global terbuka.

Visi ini akan membutuhkan pemikiran ulang rantai pasokan global, di mana -kontainer modular akan dimanipulasi dari waktu ke waktu (mengangkut, menyimpan, memuat / membongkar, membangun / membongkar ...) tetapi juga, subbagiannya dapat diubah di antara node yang berbeda dari Jaringan Internet Fisik (misalnya, bongkar/muat sebagian, pemisahan dan penggabungan peti kemas). Komposisi/penguraian kontainer ini merupakan elemen kunci untuk menghasilkan rantai logistik global yang efisien dan berkelanjutan. Selain itu, Internet Fisik diharapkan dapat memanfaatkan kemampuan kontainer pintar sebanyak mungkin, untuk memungkinkan proses pengambilan keputusan di tempat yang akan membuka peluang baru seperti perutean waktu nyata. Misalnya, -kontainer dapat menyesuaikan rencana perutean mereka di setiap -hub, dengan informasi

terkini tentang peluang dan kendala. Akibatnya, tantangan yang signifikan kemudian adalah mempertahankan ketertelusuran kontainerdalam sistem transportasi dan logistik yang sangat dinamis.

Meskipun konstitusi kontainer komposit dapat diasumsikan diketahui secara sempurna ketika dibentuk, banyaknya berbagai proses perutean dan transformasi di Internet Fisik dapat menyebabkan desinkronisasi antara aliran fisik dan informasi. Untuk mengatasi masalah ini , kami mengusulkan sebuah sistem yang dapat menghasilkan dan memelihara secara otomatis tata letak 3D virtual yang mencerminkan distribusi spasial kontainer. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi tetapi di atas segalanya untuk dapat menemukan posisi yang tepat dari item yang ditumpuk. Untuk melakukan ini,

Namun, orisinalitas pendekatan kami adalah untuk tidak bergantung pada kualitas sinyal yang diterima, yang penting dalam lingkungan yang keras dan kondisi operasi yang dihadapi dalam logistik. Selain itu, tidak diperlukan infrastruktur lokalisasi pra-instal. Pendekatan kami didasarkan pada penggunaan smart kontainer menyematkan node sensor nirkabel dan pengetahuan ext dari jaringan spontan yang diperoleh Setelah informasi dikumpulkan, Masalah Kepuasan Kendala (*Constraint Satisfaction Problem*/CSP) dapat dirumuskan, di mana setiap solusi yang layak dari CSP adalah pola pembebanan potensial. Model kontainer komposit yang dihasilkan dapat digunakan untuk menyediakan informasi terkini informasi (persediaan permanen) tetapi juga untuk mendeteksi kesalahan selama proses enkapsulasi, yang mungkin berdampak negatif pada keseluruhan efektivitas dan efisiensi Internet Fisik.

Sisa dari bab ini disusun sebagai berikut: Bagian 17.2 merangkum karya-karya sebelumnya yang terkait dengan teknologi dan teknik pelokalan yang biasa digunakan dalam kegiatan manajemen logistik. Bagian 17.3 secara formal mendefinisikan masalah dan metodologi untuk menghasilkan tata letak 3D virtual dari komposit - kontainer, diikuti dengan rumusan matematis masalah CSP di Bagian 17.4. Sebagai bukti konsep, aplikasi dan hasil diberikan di Bagian 17.5, di mana contoh masalah yang dihasilkan digunakan. Akhirnya, beberapa kesimpulan dan perspektif disediakan di Bagian 17.6.

17.2 Tinjauan Pustaka

Sistem logistik masuk dan keluar biasanya mencakup kegiatan seperti transportasi dan distribusi, inventaris, pergudangan, dan penanganan material. Untuk meningkatkan kinerja dan produktivitas, penggunaan otomatisasi dalam proses rantai pasokan telah berkembang secara dramatis dalam beberapa tahun terakhir. Misalnya, maksimum produktivitas dapat diperoleh dalam penanganan material dengan meminimalkan jumlah dan kompleksitas operasi penanganan.Untuk melakukan ini, diinginkan agar semua gerakan dibuat sesederhana dan seotomatis mungkin. Demikian pula penggunaan ICT (Information and Communication). Technology memberikan lebih banyak ketersediaan dan visibilitas informasi dalam manajemen rantai pasokan untuk pelaksanaan transaksi, kolaborasi / koordinasi dan keputusan. Untuk tujuan itu, ketergantungan pada teknologi identifikasi dan lokalisasi ke dalam proses logistik sangat menonjol.

Teknologi dan perangkat, seperti pembaca kode batang, tag *Radio-Frequency Identification* (RFID), telah merevolusi cara untuk secara otomatis dan terus-menerus mengidentifikasi objek logistik.Sistem identifikasi otomatis ini juga dikenal sebagai teknologi Auto-ID terutama digunakan untuk proses, objek yang diberi tag yang dilengkapi dengan label barcode atau chip RFID dilokalisasi masing-masing ketika mereka berada di dekat pembaca optik atau RF. Meskipun teknologi Auto-ID telah terbukti cukup Keterbatasan ini terutama terkait dengan lingkungan di tag dan pembaca yang berkomunikasi, dan juga cukup untuk pelokalan di beberapa aplikasi logistik, seperti manajemen inventaris, ada banyak aplikasi lain yang tidak dapat memanfaatkan teknologi ini karena beberapa keterbatasan. objek dalam jangkauan. Presisi lokalisasi juga tergantung pada jenis tag (pasif, tag aktif, dan semi-pasif) dan jumlah pembaca yang digunakan.

Hal ini tentu disebabkan oleh penyebaran besar Auto-ID. Untuk mengatasi masalah tentang kurangnya akurasi, beberapa pendekatan telah diusulkan dalam literatur. Kebanyakan dari mereka mengandalkan kombinasi sistem Auto-ID dengan teknologi dan teknik penentuan posisi lainnya. Sebagai contoh, penulis mengusulkan sistem RFID-GPS hybrid untuk mewujudkan pemantauan terus menerus dan lokalisasi yang tepat di terminal kendaraan. Data yang dikumpulkan oleh pembaca RFID digabungkan dengan posisi GPS untuk melacak Ketika sinyal GPS tidak tersedia seperti di lingkungan dalam ruangan, sinyal lain dapat digunakan. Sistem lokasi dalam ruangan yang sangat akurat (*SmartLocator*) menggunakan sinyal inframerah dan RFID.

Solusinya meningkatkan efisiensi operasi input/output gudang dan memungkinkan pemanfaatan ruang penyimpanan yang efektif di gudang yang benar-benar gratis (atau alokasi ruang acak). Thiesse, Fleisch, dan Dierkes dalam pekerjaan, mereka mengusulkan sistem lokalisasi *real-time* (LotTrack) yang menggabungkan sensor RFID dan ultrasonik.Pendekatan mereka berdasarkan metode trilateration (seperti solusi GPS) digunakan untuk meningkatkan visibilitas pelacakan untuk logistik masuk dalam pembuatan chip Dalam pekerjaan sebelumnya, teknik estimasi lokasi digunakan untuk menentukan posisi, khususnya trilaterasi dan kedekatan. Kondisi pengukuran jarak saat ini, penulis telah memperoleh, dengan RFID pasif UHF standar, akurasi yang dapat diterima yang dapat memenuhi persyaratan lokalisasi di lingkungan gudang.

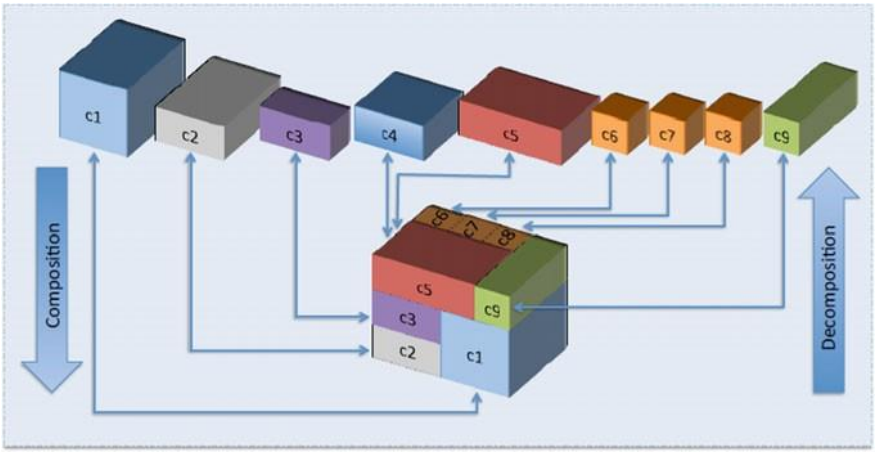
Teknologi lokalisasi lainnya juga telah dicoba seperti Jaringan Sensor Nirkabel.WSN menawarkan sejumlah keunggulan dibandingkan implementasi RFID seperti komunikasi multi-hop, kemampuan penginderaan, dan node sensor yang dapat diprogram. lokalisasi euro-palet dalam gudang teluk tinggi diusulkan di Perangkat sensor berdasarkan teknologi nirkabel 802.15.4 dipasang pada palet dan empat jangkar dipasang. Penulis menggunakan teknik yang sama untuk melacak truk forklift di gudang. Pengukuran jarak diperoleh dengan menggunakan delay propagasi sinyal dan Extended Kalman Filter untuk mengurangi kebisingan dan mendapatkan lokasi yang tepat. Dipelajari dengan lokalisasi luar kontainer pengiriman di pelabuhan dan terminal. Setiap kontainer dilengkapi dengan enam simpul dan menggunakan sisir pengukuran RSS dibatasi dengan batasan geometris untuk menentukan posisi relatif kontainer.

Dari pekerjaan terkait di atas, kami mengusulkan dalam bab ini pendekatan WSN non-konvensional di mana tidak ada pengukuran jarak yang diperlukan.Kami memanfaatkan informasi lingkungan antara node dari Jaringan Sensor Nirkabel. Informasi ini digunakan untuk menentukan tata letak fisik kontainer komposit di Internet Fisik.

17.3 Masalah dan Metodologi

17.3.1 Definisi Masalah dan Pendekatan yang Diusulkan

Seperti disebutkan dalam pendahuluan, Internet Fisik memanipulasi kontainermodular melalui infrastruktur logistik global terbuka, termasuk fasilitas utama seperti -hub. kontainerdiatur ke dalam tiga kategori fungsional: transportasi, penanganan, dan kontainer pengemasan, dengan dimensi modular mereka Meskipun set dimensi modular harus tunduk pada komite standar internasional untuk mendapatkan konsensus maksimum, mitra proyek CELDi PI mengembangkan model matematika untuk menentukan ukuran kontainer terbaik untuk memaksimalkan pemanfaatan ruang.



Gambar 17.1 Contoh komposisi/dekomposisi kontainer PI

Mereka menunjukkan bahwa satu set dimensi eksternal termasuk nilai-nilai berikut dalam meter {0.12, 0.24, 0.36, 0.48, 0.6, 1.2, 2.4, 3.6 , 4.8 , 6, 12}, meningkatkan pemanfaatan ruang pada tingkat beban unit.π -kontainer ini dapat disusun dan saling terkait untuk membangun "komposit" -kontainer dan kemudian didekomposisi menjadi set -kontainer kesatuan, seperti yang digambarkan pada Gambar 17.1 kontaineradalah elemen kunci dari Internet Fisik dan kami mengusulkan dalam bab ini, sistem keterlacakan kontaineruntuk sinkronisasi yang lebih baik dari aliran fisik dan informasi selama proses komposisi / dekomposisi Sistem seperti itu dapat menyediakan ketersediaan informasi dan visibilitas, dan dengan demikian berkontribusi pada efisiensi sistem logistik global terbuka di masa depan.

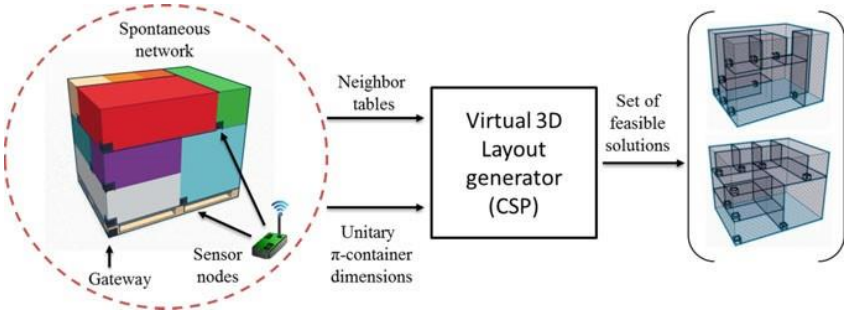
Oleh karena itu, tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk menghasilkan tata letak 3D virtual yang mencerminkan tata letak fisik -kontainer komposit (dengan posisi yang tepat dari kontainer -kontainer bertumpuk). Untuk tujuan itu, kami menganggap bahwa setiap kontainer adalah cerdas Dengan kata lain, kontainerdilengkapi dengan sensor dan perangkat

komunikasi berbiaya rendah untuk dapat merasakan dan mengukur lingkungannya, dan berkomunikasi dengan kontainer pintar lainnya.Contoh integrasi semua kemampuan ini adalah Intelligent Kontainer (jadi - disebut InBin) baru-baru ini dikembangkan oleh Institut Fraunhofer untuk Aliran Material dan Logistik. Kami berasumsi dalam pendekatan kami bahwa node sensor nirkabel terpasang ke salah satu sudut setiap kontainer dan menyimpan informasi tentang kontainer seperti kategori kontainer, pengidentifikasi , dan dimensinya.

Secara konsisten, satu node sensor yang disematkan pada level kontainer komposit, bertindak Node ini juga akan digunakan sebagai referensi mutlak untuk menentukan tata letak 3D virtual Menurut jangkauan transmisi node sensor, komposisi kontainer komposit akan membentuk jaringan nirkabel spontan, seperti yang ditunjukkan di sisi kiri Gambar 18.2 Sebagai hasilnya, setiap kontainerdapat mengumpulkan informasi tentang tetangganya dan menghitung daftar tetangganya Setelah dikumpulkan di gateway, Constraint Satisfaction Problem (CSP) dapat dirumuskan di mana:

Tabel tetangga memberikan batasan posisi antara kontainerkesatuan, tetapi juga dengan komposit kontainer. Ini mewakili pembatasan alokasi dalam masalah CSP.

Ukuran kontainer memberikan batasan geometris dasar. Kontainer kesatuan terletak seluruhnya di dalam kontainer komposit dan tidak tumpang tindih. Masing-masing hanya dapat ditempatkan dengan tepinya sejajar dengan dinding kontainer komposit.



Gambar 17.2 Gambaran umum dari pendekatan yang diusulkan

Juga, setiap solusi yang layak dari CSP adalah pola pemuatan potensial, dan tata letak 3D virtual yang dihasilkan dapat dihasilkan melalui antarmuka pengguna grafis. Gambar menggambarkan pendekatan umum yang diusulkan dalam bab ini.

17.3.2 Metodologi dan Asumsi

Pendekatan yang diusulkan di atas bergantung pada dua prinsip utama. Yang pertama menyangkut node sensor nirkabel yang dapat diprogram dan dapat disinkronkan untuk melaksanakan tugas-tugas tertentu yang mencakup kolaborasi antara tetangga lokal. Gateway dapat memainkan peran koordinator dalam jaringan. Yang kedua Kami menganggap di sini jangkauan transmisi sebagai jarak di mana komunikasi antara dua node dapat diatur, dan di luar itu kualitas komunikasi melebihi stabilitas yang diberikan. Kami berasumsi bahwa setiap node menggunakan satu antena omnidirectional dan dapat mengubah transmisinya. jangkauan misi melalui kontrol tingkat daya transmisi.

Untuk memverifikasi bahwa asumsi ini masuk akal, kami merealisasikan beberapa eksperimen menggunakan platform MICAZ. Node didasarkan pada transceiver RF 2,4 GHz yang sesuai dengan IEEE 802.15.4 yang menawarkan 32 transmisi Jarak komunikasi dari beberapa sentimeter hingga beberapa lusin meter dicapai sesuai dengan kisaran nilai daya RF. Eksperimen telah direalisasikan dalam kondisi yang berbeda (misalnya, garis pandang atau hambatan sensor). ruang lingkup bab, mereka tidak diberikan di sini. Untuk menyimpulkan, setiap kontainerkesatuan (dengan dimensi eksternal yang sebelumnya diberikan dalam Bagian 18.3.1) dapat menyesuaikan jangkauan transmisi dan mendeteksi kedekatan kontainerlain di dalamnya lingkungan, dan berkomunikasi dengan mereka.Akibatnya, batasan posisi antara kontainer kesatuan yang akan digunakan dalam CSP kami, dapat diperoleh setelah beberapa operasi berturut-turut dilakukan dalam kolaborasi di tingkat gateway dan node:

Yang pertama menyangkut identifikasi jumlah kesatuan kontainer yang menyusun komposit kontainer. Hal ini dapat dicapai dengan penerapan mekanisme penemuan untuk menghitung jumlah node dalam jaringan. Tugas ini diprakarsai oleh gateway dilakukan dengan menyiarkan permintaan pengumuman, dan setelah menerimanya, setiap node membalas dengan paket yang berisi pengidentifikasi kontainer. Pengidentifikasi juga dapat digunakan untuk memastikan bahwa kontainer yang terdeteksi milik komposit kontainer. Jika jangkauan transmisi lebih kecil dari dimensi komposit kontainer, semua kontainer tidak dapat ditemukan pada saat yang sama. Di sisi lain, protokol harus disesuaikan dengan algoritma multi-hop yang diperlukan untuk menemukan keseluruhan jaringan.Algoritme dapat diulang pada waktu yang berbeda untuk menoleransi kemungkinan kehilangan paket.

Setelah itu, setiap node mendeteksi dan mengidentifikasi kedekatan node lain. Algoritma penemuan yang sama dapat digunakan untuk mencari tetangga. Sebuah node menyiarkan paket penemuan sehingga mencapai semua node di lingkungan tersebut. Pada langkah ini, kita hanya mengasumsikan Algoritme juga dapat diulang pada waktu yang berbeda agar toleran terhadap kemungkinan gangguan. Hubungan tetangga simetris menyiratkan bahwa node sensor digunakan. Informasi ini penting untuk menghasilkan batasan alokasi terkait untuk CSP kami, sehingga mengurangi jumlah solusi yang layak. Informasi ini sangat penting untuk menghasilkan kendala alokasi terkait untuk CSP kami, sehingga mengurangi jumlah solusi yang layak.Poin akan dibahas di bagian berikut ini.

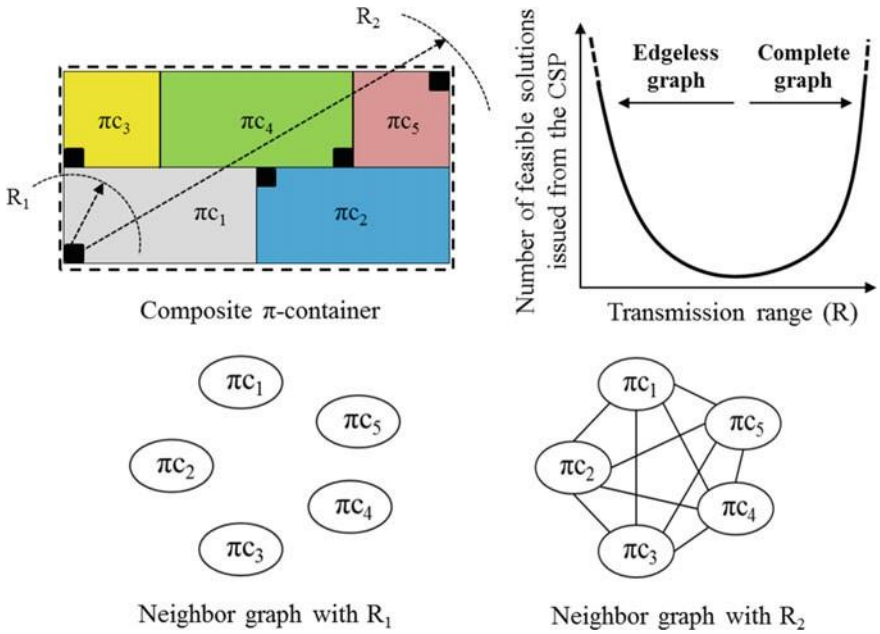
Node yang melekat pada kontainer komposit dapat digunakan sebagai referensi sistem lokalisasi kami. Tergantung, posisi semua kontainer dapat diturunkan dari posisi absolut ini. Mekanisme penerusan berdasarkan perutean multi-hop tree biasanya digunakan di Jaringan Sensor Nirkabel untuk mentransfer data yang dikumpulkan ke seluruh jaringan.Teknik seperti itu digunakan untuk mengumpulkan daftar tetangga lokal di gateway di mana mereka digabungkan bersama untuk menghasilkan daftar tetangga global, sebelum dinyatakan sebagai batasan posisi dalam CSP kami.

Keuntungan dari pendekatan kami adalah bahwa sifat dari sinyal yang diterima, misalnya kekuatan sinyal atau sudut datang, tidak dipertimbangkan dalam operasi berturut-turut untuk melokalisasi wadah . Posisi hanya ditentukan dari informasi geometris dan lingkungan dari -wadah, yang penting dalam lingkungan yang keras dan kondisi operasi yang

dihadapi dalam logistik.Namun, jumlah solusi yang layak dikeluarkan dari pemecah CSP secara langsung terkait dengan relevansi daftar lingkungan global, dan oleh karena itu, pilihan transmisi .jangkauan itu penting.

Memang, dua node bertetangga jika mereka dapat berkomunikasi, yaitu jarak antara mereka kurang dari atau sama dengan jangkauan transmisi Oleh karena itu, dengan jangkauan transmisi lebih kecil dari dimensi terkecil dari -kontainer, banyak node akan Hal ini diilustrasikan pada Gambar 17.3 di mana -kontainer komposit terdiri dari lima -kontainer (πc1, πc2… πc5) Distribusi node sensor (kotak hitam) sesuai dengan susunan yang diperoleh ketika komposit -wadah Daftar tetangga global dimodelkan oleh grafik tidak berarah untuk rentang transmisi yang berbeda Ri. Sebuah simpul mewakili node sensor milik -container, dan tepi, hubungan tetangga di antara mereka.

Grafik tetangga diperoleh dengan rentang transmisi R1, lebih rendah dari dimensi terkecil dari wadah , adalah grafik tanpa tepi (tanpa tepi) Oleh karena itu, tidak mungkin untuk menentukan batasan posisi di CSP kami. Sejumlah solusi yang layak, yaitu, tata letak 3D virtual untuk kontainer komposit, akan sesuai dengan setiap kemungkinan susunan kontainer ke dalam komposit -kontainer. Demikian pula, jika jangkauan transmisi lebih tinggi dari panjang komposit kontainer diagonal, semua node bertetangga satu sama lain Grafik tetangga akan menjadi grafik lengkap, seperti yang digambarkan pada Gambar 17.3 dengan R2. Banyak solusi, di mana kendala posisi akan dipenuhi, dapat ditemukan dari Dengan demikian, jangkauan transmisi harus disesuaikan dengan dimensi wadah untuk mendapatkan batasan posisi yang relevan dan memadai.



Gambar. 17.3 Pengaruh jangkauan transmisi pada jumlah solusi

17.4 Rumusan Matematika dari Soal CSP

Asumsikan bahwa satu set -container dengan dimensi modular saat ini ditumpuk dalam -container komposit dengan dimensi eksternal yang diberikan.Sistem koordinat

Cartesian dipasang pada Front-Left Bottom corner (FLB) dari komposit -container dan Kami juga menetapkan sudut FLB dari setiap -container sebagai asal dari sistem koordinatnya sendiri. Posisi ini tetrahydrofuran orientasi dari -container, dan sesuai dengan Lokasi awal dari node sensor nirkabel. Satu set hubungan ketetanggaan didefinisikan dari grafik tetangga global untuk nilai tertentu dari jangkauan transmisi. Selain itu, kami menganggap bahwa -kontainer dapat secara bebas diputar ke orientasi yang berbeda. Tujuan dari masalah CSP adalah untuk menemukan koordinat absolut dan orientasi masing-masing -container, sambil memenuhi serangkaian batasan berikut:

- Setiap kontainer ditumpuk dalam kontainer komposit.
- Setiap wadah harus ditempatkan secara ortogonal ke dalam wadah. Tumpang tindih antar wadah dilarang.
- Semua hubungan lingkungan tentang kesatuan -wadah dan wadah komposit harus dihormati.
- Semua hubungan lingkungan tentang kesatuan -wadah dan wadah komposit harus dihormati.

Sebuah solusi untuk CSP adalah tugas lengkap yang memenuhi semua kendala. Bagian berikut memberikan ringkasan parameter dan variabel, dan termasuk model matematika dari Masalah Kepuasan Kendala. Model ini didasarkan pada rumusan matematika yang diusulkan oleh Chen et al untuk merumuskan masalah pemuatan peti kemas umum.Model ini telah diadaptasi untuk mempertimbangkan kendala tetangga.

17.4.1 Parameter dan Variabel

Parameter

n = Jumlah total -container kesatuan yang ditumpuk dalam -container komposit (ditentukan dari algoritma penghitungan yang diberikan pada Bagian 18.3.2).

πci = -kontainer set, di mana i {0,…, n} dan c0 adalah komposit -wadah.

(x_o, y_o, z_o) = Asal sistem koordinat kartesius, dengan xo yo zo 0.

(L_i, W_i, H_i) = Dimensi eksternal nonnegatif yang menunjukkan panjang, lebar, dan tinggi ci.

(L_c, W_c, H_c) = Dimensi eksternal nonnegatif yang menunjukkan panjang, lebar, dan tinggi wadah komposit.

R = Jangkauan transmisi node sensor.

V = i × j matriks dengan i dan j {0,…, n}

Elemen matriks V ij multiplexer hubungan tetangga antara kontainer ci dan c j. V ij sama dengan 0 jika i = j. Elemen matriks V yang tersisa dideduksi dari daftar tetangga global dengan: V ij sama dengan 1 jika ci dan cj bertetangga; jika tidak, sama dengan 1.

17.4.1.2 Variabel

(x_i, y_i, z_i) = Variabel kontinu yang menunjukkan koordinat sudut FLB wadah ci.

(x_{ni}, y_{ni}, z_{ni}) = Variabel kontinu yang menunjukkan koordinat node sensor yang ditetapkan ke wadah ci.

(l_{xi}, l_{yi}, l_{zi}) = Variabel biner yang menunjukkan apakah panjang wadah ci sejajar dengan sumbu X, sumbu Y, atau sumbu Z. Nilai lxi sama dengan 1 jika panjang wadah ci sejajar terhadap sumbu X; jika tidak, sama dengan 0.

(w_{xi}, w_{yi}, w_{zi}) = Variabel biner yang menunjukkan apakah lebar wadah ci sejajar dengan sumbu X, sumbu Y, atau sumbu Z. Nilai wxi sama dengan 1 jika lebar wadah ci sejajar terhadap sumbu X; jika tidak, sama dengan 0.

(h_{xi}, h_{yi}, h_{zi}) = Variabel biner yang menunjukkan apakah tinggi wadah ci sejajar dengan sumbu X, sumbu Y, atau sumbu Z. Nilai hxi sama dengan 1 jika tinggi wadah ci sejajar terhadap sumbu X; jika tidak, sama dengan 0.

Jelas bahwa variabel biner, l_{xi}, l_{yi}, l_{zi}, w_{xi}, w_{yi}, w_{zi}, h_{xi}, h_{yi}, dan h_{zi}, saling bergantung dan menentukan orientasi wadah ci.Misalnya jika panjang (L_i), lebar (W_i), dan tinggi (H_i) dari ci masing-masing sejajar dengan sumbu X, Y, dan Z, maka l_{xi}, w_{yi} dan h_{zi} sama dengan 1 dan semua variabel lainnya adalah nol.

Untuk setiap pasangan -container (πc_i, c_j), terdapat enam variabel biner ($Right_{ij}$, $Left_{ij}$, $Behind_{ij}$, $Front_{ij}$, $Below_{ij}$, dan $Above_{ij}$) yang mendefinisikan posisi relatifnya dalam komposit -container. menjadi 1 jika wadah cj masing-masing berada di sebelah kanan, di kiri, di belakang, di depan, di bawah, atau di atas wadah ci; jika tidak, 0. Variabel-variabel ini akan digunakan untuk memastikan bahwa wadah tidak tumpang tindih.

17.4.2 Formulasi

Dari parameter-parameter dan variabel-variabel yang telah dijelaskan di atas, maka kendala-kendala dari permasalahan CSP adalah sebagai berikut:

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Right}_{ij} \cdot [x_j - (x_i + l_{xi} \cdot L_i + w_{xi} \cdot W_i + h_{xi} \cdot H_i)] \ge 0 \quad (18.1)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Left}_{ij} \cdot [x_i - (x_j + l_{xj} \cdot L_j + w_{xj} \cdot W_j + h_{xj} \cdot H_j)] \ge 0 \quad (18.2)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Behind}_{ij} \cdot [y_j - (y_i + l_{yi} \cdot L_i + w_{yi} \cdot W_i + h_{yi} \cdot H_i)] \ge 0 \quad (18.3)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Front}_{ij} \cdot [y_i - (y_j + l_{yj} \cdot L_j + w_{yj} \cdot W_j + h_{yj} \cdot H_j)] \ge 0 \quad (18.4)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Below}_{ij} \cdot [z_j - (z_i + l_{zi} \cdot L_i + w_{zi} \cdot W_i + h_{zi} \cdot H_i)] \ge 0 \quad (18.5)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Above}_{ij} \cdot [z_i - (z_j + l_{zj} \cdot L_j + w_{zj} \cdot W_j + h_{zj} \cdot H_j)] \ge 0 \quad (18.6)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Right}_{ij} + \text{Left}_{ij} + \text{Behind}_{ij} + \text{Front}_{ij} + \text{Below}_{ij} + \text{Above}_{ij} \ge 1 \quad (18.7)$$

$$\forall i, \ 1 \le i \le n : x_i + l_{xi} \cdot L_i + w_{xi} \cdot W_i + h_{xi} \cdot H_i \le L_c \quad (18.8)$$

$$\forall i, \ 1 \le i \le n : y_i + l_{yi} \cdot L_i + w_{yi} \cdot W_i + h_{yi} \cdot H_i \le W_c \quad (18.9)$$

$$\forall i, \ 1 \le i \le n : z_i + l_{zi} \cdot L_i + w_{zi} \cdot W_i + h_{zi} \cdot H_i \le H_c \quad (18.10)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : ((x_i + l_{xi} \cdot L_i + w_{xi} \cdot W_i + h_{xi} \cdot H_i) - x_{ni}) \cdot (x_i - x_{ni}) = 0 \quad (18.11)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : ((y_i + l_{yi} \cdot L_i + w_{yi} \cdot W_i + h_{yi} \cdot H_i) - y_{ni}) \cdot (y_i - y_{ni}) = 0 \quad (18.12)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : ((z_i + l_{zi} \cdot L_i + w_{zi} \cdot W_i + h_{zi} \cdot H_i) - z_{ni}) \cdot (z_i - z_{ni}) = 0 \quad (18.13)$$

$$\forall i, j,\ 0 \le i, j \le n : V_{ij} \sqrt{((x_{ni} - x_{nj})^2 + (y_{ni} - y_{nj})^2 + (z_{ni} - z_{nj})^2)} \le V_{ij} R \quad (18.14)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : l_{xi} + l_{yi} + l_{zi} = 1 \quad (18.15)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : w_{xi} + w_{yi} + w_{zi} = 1 \quad (18.16)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : h_{xi} + h_{yi} + h_{zi} = 1 \quad (18.17)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : l_{xi} + w_{xi} + h_{xi} = 1 \quad (18.18)$$

$$\forall i, 1 \le i \le n : l_{yi} + w_{yi} + h_{yi} = 1 \quad (18.19)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : l_{zi} + w_{zi} + h_{zi} = 1. \quad (18.20)$$

Kita dapat membedakan kendala yang terkait dengan hubungan ketetanggaan antara node dan yang terkait dengan kondisi kelayakan geometrik untuk menempatkan wadah Kendala (18.1) – (18.7) adalah kondisi yang tidak tumpang tindih dan menyatakan bahwa wadah tidak tumpang tindih. 18.8) – (18.10) memastikan bahwa semua wadah berada dalam wadah komposit Batasan (18.11) – (18.13) mewakili relaksasi antara koordinat sudut FLB dan simpul sensor. ditempatkan di salah satu dari delapan sudut -container menurut -containers dapat diputar secara bebas. Constraint (18.14) menyatakan bahwa semua hubungan tetangga telah dihormati. Terakhir, constraint (18.15) – (18.20) memastikan bahwa variabel biner yang menentukan posisi -kontainer dikontrol dengan benar untuk mencerminkan posisi praktis Model ini mengarah untuk menemukan koordinat absolut dan orientasi setiap -kontainer, yang memenuhi ne hubungan ighbor antara node sensor.

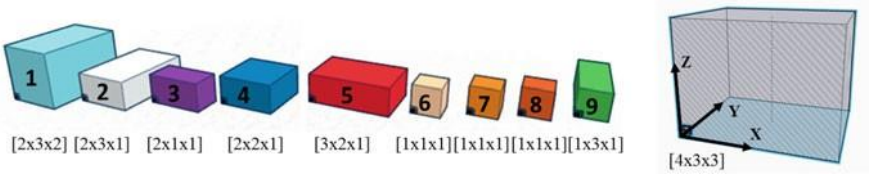
17.5 Aplikasi dan Hasil

17.5.1 Pengaturan Eksperimental

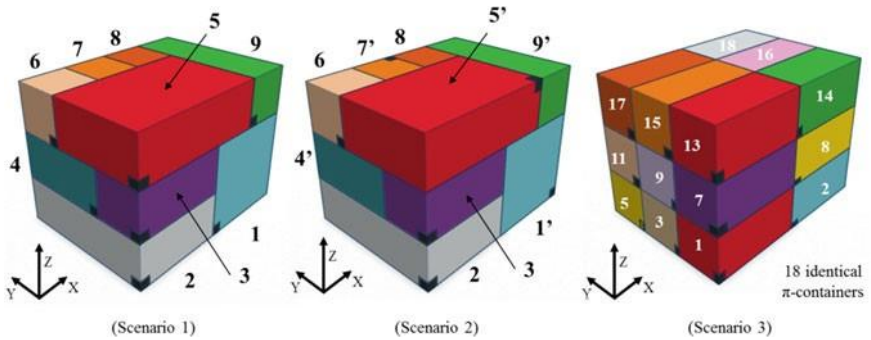
Untuk memvalidasi pendekatan dan model di atas, kami mempertimbangkan skenario yang mewakili komposisi nyata dari komposit -container. Tujuannya adalah untuk menemukan distribusi spasial dari stake -container. Sebagai bukti konsep, satu set sembilan modular -kontainer disajikan Seperti disebutkan dalam Bagian 3.1, dimensi eksternal -kontainer mewakili skala nilai yang besar untuk mencakup semua fungsi, yaitu transportasi, penanganan, dan pengemasan. transmisi. Itulah mengapa satu set nilai yang dinormalisasi {1, 2, 3, 4} untuk dimensi wadah digunakan, seperti yang ditunjukkan Gambar 18.4. Node sensor (kotak hitam) awalnya dipasang di depan- sudut kiri bawah wadah , dan asal sistem koordinat Cartesian kami ditentukan oleh simpul dari wadah komposit . Kami mendefinisikan skenario yang berbeda di mana semua wadah ditumpuk sehingga t mereka sangat cocok dengan volume wadah komposit dengan dimensi. Mereka berbeda dalam jumlah, heterogenitas, dan orientasi akhir wadah yang ditumpuk dalam wadah komposit.

Skenario diilustrasikan pada Gambar 17.5. Kumpulan 9 --containers yang sangat heterogen digunakan dalam skenario 1 dan 2, tidak seperti skenario 3, yang menganggap 18

-container identik dengan dimensi [2 × 1 × 1]. Dalam skenario No rotasi Artinya, xi, yi, dan zi masing-masing sama dengan xni, yni, dan zni. Batasan ini akan mengurangi ruang penelitian dan kompleksitas waktu CSP. Skenario 2 mempertimbangkan rotasi beberapa -container, ditransfeksi dengan simbol prima (r) pada Gambar 17.5. Mereka telah diputar 90 ° atau 180 ° pada bidang horizontal (atau vertikal) dan koordinat sudut FLB mereka berbeda dari node sensor. Tabel 18.1 memberikan untuk setiap skenario Sudut FLB dan koordinat node sensor nat.



Gambar 17.4 Dimensi dari sembilan wadah kesatuan dan komposit



Gambar 17.5 Tiga wadah komposit yang digunakan untuk memvalidasi pendekatan yang diusulkan

Untuk setiap skenario, grafik tetangga global (untuk rentang transmisi tertentu R) dapat diproses oleh node sensor nirkabel menggunakan operasi berturut-turut, dijelaskan dalam Bagian 3.2. Tujuan dari masalah CSP adalah untuk menemukan semua solusi yang memenuhi lingkungan dan batasan dimensi Untuk mengevaluasi dampak rentang transmisi dalam hal jumlah solusi dan waktu komputasi, kami menggunakan nilai R yang berbeda, antara dimensi ternormalisasi terkecil dan terbesar dari wadah kesatuan.

17.5.2 Hasil dan Diskusi

Model matematika CSP dikodekan menggunakan MATLAB, berjalan pada prosesor Intel 2,4 GHz quad-core dengan RAM 8 GB. Hasil numerik dirangkum dalam Tabel 17.2. Ini termasuk waktu komputasi (dalam detik) dan jumlah solusi yang mungkin yang memenuhi semua kendala masalah, untuk nilai R yang berbeda. Diamati bahwa kita hanya memperoleh satu solusi untuk skenario 1 dan 2 (Gbr. 18.6a, b) ketika R masing-masing sama dengan 2,25 dan 2,5. kasus, Layout 3D virtual ini mencerminkan komposisi nyata dari komposit -container yang ditentukan pada Gambar 18.5. Waktu berjalan yang lebih rendah dari 5 detik

menunjukkan bahwa metode yang kami usulkan menghasilkan hasil yang cepat dan memuaskan.

Tabel 17.1 Koordinat sudut FLB dan node sensor untuk setiap scenario

	Dimensi wadah		Sudut FLB dan koordinat node sensor			
	Skenario 1 dan 2	Skenario 3	Skenario 1 dan 3		Skenario 2	
πci	(*Li* × *Wi* × *Hi*)		(*xi, yi, zi*) = (*xni, yni, zni*)		(*xi, yi, zi*)	(*xni, yni, zni*)
1	2 × 3 × 2	2 × 1 × 1	(2,0,0)	(0,0,0)	(2,0,0)	(4,0,0)
2	2 × 3 × 1	2 × 1 × 1	(0,0,0)	(2,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
3	2 × 1 × 1	2 × 1 × 1	(0,0,1)	(0,1,0)	(0,0,1)	(0,0,1)
4	2 × 2 × 1	2 × 1 × 1	(0,1,1)	(2,1,0)	(0,1,1)	(2,1,1)
5	3 × 2 × 1	2 × 1 × 1	(0,0,2)	(0,2,0)	(0,0,2)	(3,0,3)
6	1 × 1 × 1	2 × 1 × 1	(0,2,2)	(2,2,0)	(0,2,2)	(0,2,2)
7	1 × 1 × 1	2 × 1 × 1	(1,2,2)	(0,0,1)	(1,2,2)	(2,3,3)
8	1 × 1 × 1	2 × 1 × 1	(2,2,2)	(2,0,1)	(2,2,2)	(2,2,2)
9	1 × 3 × 1	2 × 1 × 1	(3,0,2)	(0,1,1)	(3,0,2)	(4,3,2)
10		2 × 1 × 1		(2,1,1)		
11		2 × 1 × 1		(0,2,1)		
12		2 × 1 × 1		(2,2,1)		
13		2 × 1 × 1		(0,0,2)		
14		2 × 1 × 1		(2,0,2)		
15		2 × 1 × 1		(0,1,2)		
16		2 × 1 × 1		(2,1,2)		
17		2 × 1 × 1		(0,2,2)		
18		2 × 1 × 1		(2,2,2)		

Tabel 17.2 Hasil komputasi

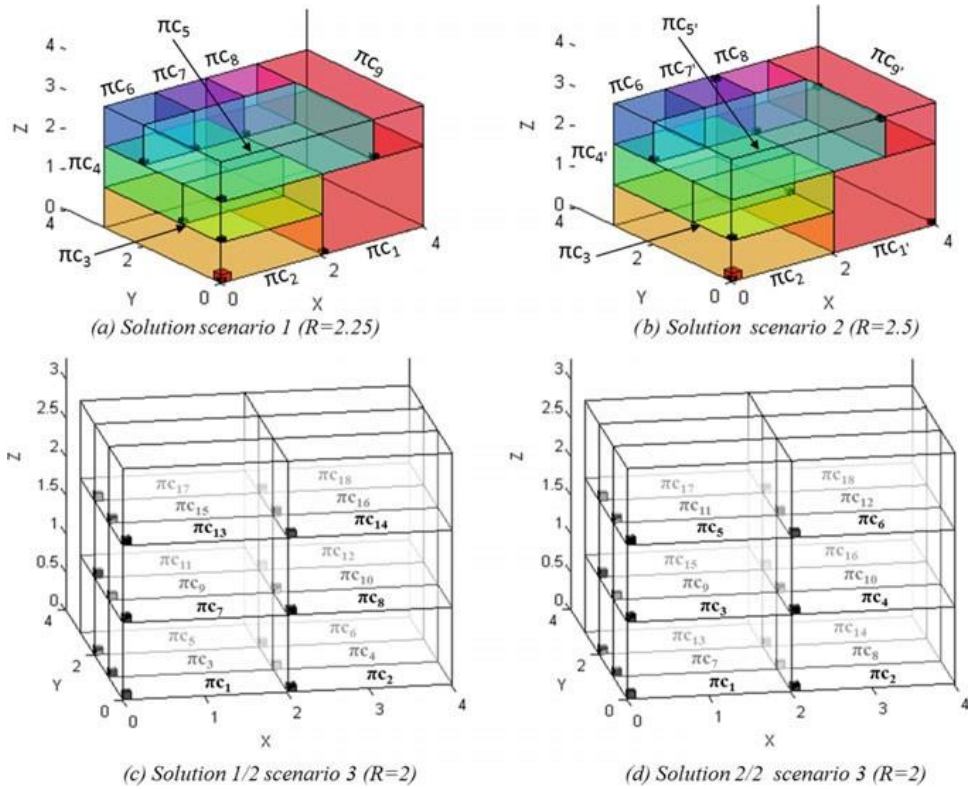
	Jumlah solusi / waktu (s)		
R	skenario 1	skenario 2	skenario 3
1	492/236	2776/575	720/5894
1.5	24/37	720/288	248/1985
2	2/0.8	12/8.6	**2/15.5**
2.25	**1/0.5**	4/7.1	2/2953
2.5	4/2.9	**1/4.9**	5688/18,232
3	180/75.8	322/187	–/–

Untuk skenario 3, kami memperoleh minimal dua tata letak (Gambar 17.6c, d) dengan R = 2 dan waktu komputasi lebih rendah dari 15 detik.Waktunya memuaskan tetapi

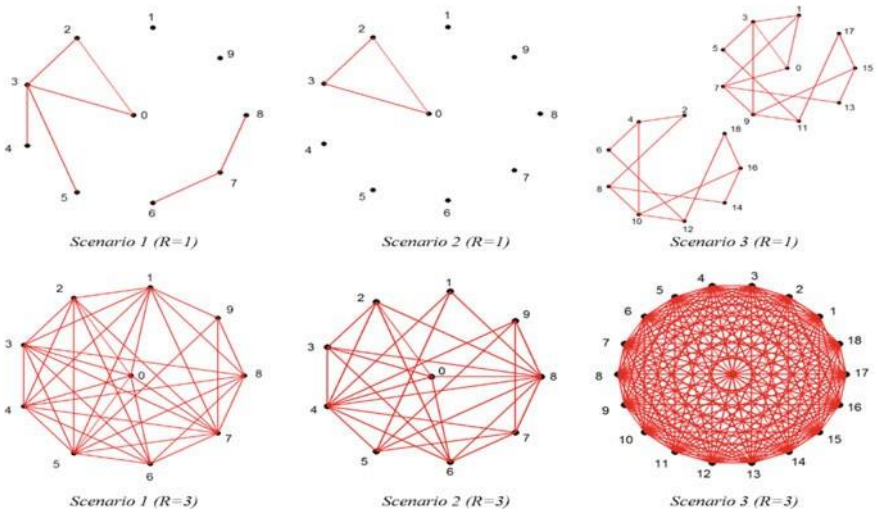
informasi lingkungan tidak cukup untuk menentukan tata letak yang unik Meskipun Gambar 18.6c menunjukkan komposisi sebenarnya dari wadah komposit, himpunan kendala yang sama dihormati dengan susunan yang diperoleh Gambar 17.6d Hal ini dapat dijelaskan oleh himpunan homogenitas wadah dan kendala orientasi. opsi berturut-turut (dijelaskan dalam Bagian 3.2) dieksekusi dua kali untuk mendapatkan lingkungan baru. Yang mengarah ke distribusi node sensor sebagai grid biasa.

Untuk mengatasi masalah ini, penyaringan domain dikembangkan untuk mengidentifikasi tata letak yang unik. grafik. Hal ini dapat dicapai dari node gateway dengan jangkauan transmisi yang berbeda, atau dengan menggunakan gateway kedua yang dipasang pada wadah komposit . Informasi tersebut digunakan untuk menyaring ruang solusi yang memungkinkan di mana setiap solusi harus sesuai dengan h dua grafik tetangga Misalnya, gerbang kedua di sudut kiri-depan-atas dari -container komposit (skenario 3) dapat digunakan untuk menghasilkan batasan tetangga baru antara gateway dan -container 13. Oleh karena itu solusi 2 (Gambar 17.6d) akan dihilangkan dan tata letak yang unik akan diperoleh tanpa menambah waktu komputasi.

Dari Tabel 17.2, waktu komputasi dan jumlah solusi meningkat dengan R mendekati 1 atau 3. Hal ini dapat dijelaskan ketika kita mengamati grafik tetangga yang dihasilkan dari jangkauan transmisi, seperti yang digambarkan pada Gambar 17.7 Pada kasus pertama (R = 1), graf tetangga terputus. Banyak simpul terisolasi (tanpa sisi terhubung) pada skenario 1 dan 2. Skenario 3 menunjukkan graf terputus dengan 2 komponen terhubung. dari R = 3. Untuk nilai-nilai ini dari R, grafik tetangga tidak relevan untuk mengurangi ruang penelitian, sehingga meningkatkan jumlah solusi dan waktu berjalan.



Gambar 17.6 Tata letak virtual 3D diperoleh untuk setiap scenario



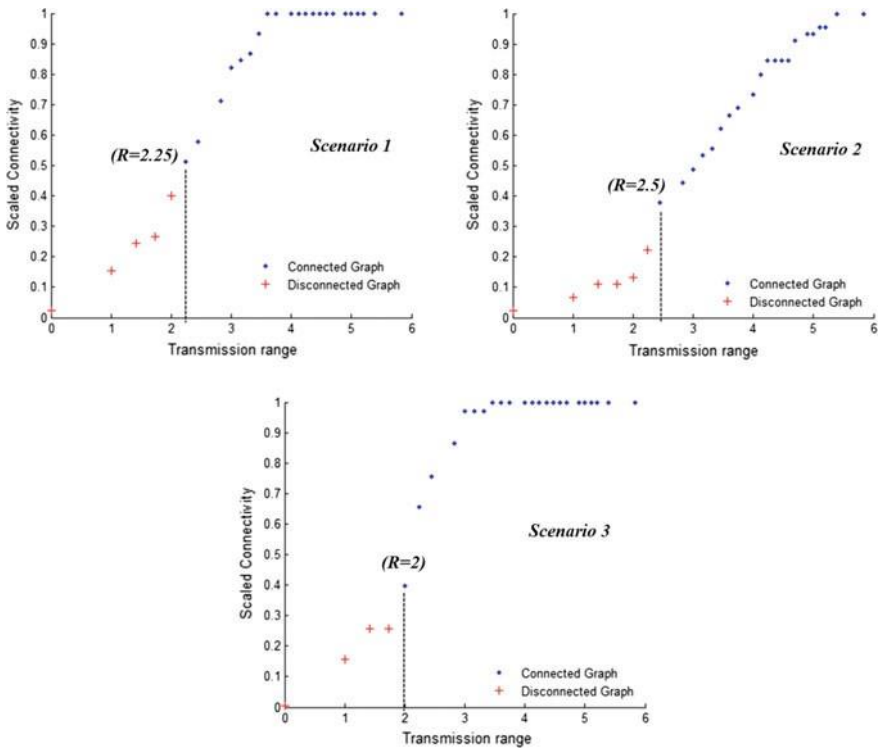
Gambar 17.7 Grafik tetangga diperoleh dari R = 1 dan R = 3

Kita dapat mengamati bahwa hasil terbaik.Gambar 17.8 mengilustrasikan konektivitas berskala dan sifat konektivitas (yaitu, terhubung atau terputus) dari grafik lingkungan untuk rentang transmisi yang berbeda. Hasil menarik ini dapat dimanfaatkan dalam pendekatan kami untuk menciptakan lingkungan yang relevan dan memadai kendala, dan menyimpulkan tata letak 3D virtual dari -container komposit. Sebelum mengeksekusi CSP, gateway dapat memvalidasi relevansi grafik tetangga global dan memutuskan untuk memutar ulang operasi berturut-turut dengan nilai transmisi baru (R) jika diperlukan.

17.6 Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan

Internet Fisik adalah sistem transportasi dan logistik yang sangat dinamis, di mana -kontainer komposit dapat dengan cepat diatur dan / atau dimodifikasi untuk memanfaatkan peluang baru yang mengarah pada peningkatan keberlanjutan rantai logistik global. Identifikasi dan lokalisasi -container bertumpuk dalam -container komposit dapat membantu menjaga informasi ketertelusuran, dan dengan demikian berkontribusi pada kontrol Internet Fisik.

Dalam bab ini, sistem lokalisasi -container diperkenalkan untuk secara dinamis menghasilkan dan memelihara tata letak 3D virtual dari -container komposit. Sistem ini didasarkan pada penggunaan jaringan sensor nirkabel dan hubungan lingkungan antar node. Hal ini memungkinkan kita untuk mendapatkan posisi relatif antara -kontainer.



Gambar 18.8 Konektivitas grafik dan jangkauan transmisi

Informasi ini digunakan sebagai jenis kendala baru dalam masalah CSP di mana setiap solusi mewakili kemungkinan pengaturan wadah . Sebagai bukti konsep, pendekatan dan model yang diusulkan telah divalidasi melalui eksperimen komputasi. menunjukkan bahwa tata letak 3D virtual yang mencerminkan distribusi spasial dapat diperoleh dalam waktu yang wajar ketika informasi lingkungan relevan dan menggunakan penyaringan domain. Pendekatan ini dapat diterapkan untuk memberikan informasi terkini (inventaris permanen), serta mendeteksi kesalahan apa pun selama proses enkapsulasi, yang mungkin berdampak negatif pada efektivitas dan efisiensi Internet Fisik secara keseluruhan.

Pekerjaan di masa depan akan fokus pada teori grafik untuk secara formal memvalidasi relevansi grafik tetangga global.Meskipun protokol hemat energi untuk mekanisme penemuan dan penerusan dapat digunakan, studi tentang konsumsi energi dari node sensor juga akan dilakukan. , peluang untuk mengembangkan CSP yang dinamis dan terdesentralisasi juga akan dipelajari.

BAB 18
KERANGKA INFORMASI LAYANAN INTERNET OF THINGS

18.1 Pendahuluan

Sistem logistik saat ini masih diakui tidak berkelanjutan dalam hal ekonomi, lingkungan, dan masyarakat meskipun beberapa paradigma logistik inovatif yang menyertai proyek telah diusulkan dan dilakukan untuk mengamankan situasi. Logistik cerdas mengeksploitasi konsep intelijen berkat integrasi informasi canggih dan teknologi komunikasi (ICR) untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan secara signifikan dalam hal keamanan, manajemen aliran fisik, otomatisasi proses. Salah satu faktor kunci dari visi logistik tersebut adalah sistem transportasi barang cerdas yang menggunakan teknologi, infrastruktur, dan layanan serta metode operasi, perencanaan, dan kontrol untuk mengangkut barang secara efisien.

Sistem tersebut merupakan solusi efektif untuk masalah terkait transportasi yang signifikan seperti kemacetan, konsumsi energi, dan lingkungan. Simple Links1 adalah kerangka kerja alternatif dari logistik cerdas. Pelaksanaan proyek ed by the consumer good forum bertujuan untuk membuat, mengelola, dan menganalisis tautan digital antara item dan wadahnya sebagai hierarki dinamis, kemudian menyimpulkan informasi pelacakan dan pemantauan tingkat item untuk item apa pun berdasarkan penelusuran hierarki untuk jalur terbaik yang tersedia, memantau dan memprediksi data pada waktu tertentu. Tujuan proyek dimungkinkan oleh prinsip dasar yang membuat item dan wadahnya berkomunikasi bersama untuk berbagi informasi di sepanjang tautan logistik dengan menggunakan teknologi identifikasi berbiaya rendah (yaitu, kode QR). Hasil demonstrasi utama dari proyek ini berimplikasi pada dampak positif dan nilai ekonomis secara end-to-end.Untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh cara kegiatan logistik yang tidak efisien, proyek Intelligent Cargo project (iCargo)2 yang didanai oleh Uni Eropa diharapkan dapat memberikan solusi potensial.

Sangat bergantung pada TIK, iCargo mampu mengidentifikasi diri, deteksi konteks, akses layanan, pemantauan status, dan pendaftaran. Dengan demikian, visibilitas end-to-end aliran pengiriman ditingkatkan dengan sistem pelacakan kargo menangkap informasi real-time yang berkaitan dengan lokasi, waktu, dan status Dengan cara ini, proses logistik seperti aset manajemen, jalur perutean kargo dapat dioptimalkan untuk menghindari truk kosong atau kemacetan. Visi logistik lain yang disebut sebagai logistik hijau menunjukkan metode yang menggunakan teknologi canggih dan peralatan inovatif untuk mengatasi. Masalah lingkungan seperti emisi gas rumah kaca (GRK), kebisingan, dan kecelakaan terutama disebabkan oleh operasi logistik yang tidak efisien.

Untuk menjadikan logistik global hijau, aspek lingkungan diperhatikan sebagai prioritas utama dalam semua operasi logistik khususnya, transportasi, pergudangan, dan operasi inventaris dilakukan dalam serangkaian penelitian dan diselidiki dalam model

Operation Research (OR). r misalnya, untuk meminimalkan emisi GRK dari transportasi, operasi dilakukan dengan mengoptimalkan empat pilihan penting, yaitu pilihan moda (pesawat, kapal, truk, kereta api, tongkang atau jaringan pipa), penggunaan angkutan antar moda. (yaitu, jenis kontainer), pilihan peralatan (yaitu, jenis dan ukuran unit transportasi) dan pilihan bahan bakar (misalnya, bensin, bahan bakar nabati, listrik, dll.) Saat pemilihan optimal peralatan penanganan ini dimulai, emisi minimum diperoleh, sehingga kelestarian lingkungan dihasilkan.

Baru-baru ini, Internet Fisik (PI, atau) adalah paradigma baru yang sangat diharapkan untuk mencapai secara bersamaan tiga dimensi keberlanjutan: ekonomi, lingkungan, dan masyarakat dalam skala global. sebagai metafora PI dibangun menuju sistem logistik global terbuka yang didirikan terutama pada interkonektivitas fisik, digital, dan operasi melalui seperangkat wadah modular standar (π kontainer s), protokol kolaboratif (π -protocols), dan antarmuka cerdas (simpuls) , Diistilahkan untuk pusat distribusi peti kemas) untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Dengan demikian, PI tidak memanipulasi barang fisik secara langsung tetapi kontainer yang merangkum barang dagangan fisik di dalamnya. kontainer adalah standar dunia, cerdas, dan berisi hijau dan modular.

Ekonomi, mereka dicirikan oleh modularitas dan standarisasi di seluruh dunia dalam hal dimensi, fungsi, dan perlengkapan. ting logistik dan rantai pasokan keragaman merek dan jenis produk dengan berbagai ukuran dan berat mengarah ke kisaran ukuran kotak karton yang hampir tak terbatas. pemanfaatan ruang di tingkat palet dan sebagai konsekuensinya juga di tingkat truk. Untuk melepaskan masalah tersebut, konsep standarisasi peti kemas dari PI bertujuan untuk menentukan satu set terbatas dimensi wadah modular yang tunduk pada semua persyaratan khusus. Dengan demikian, memiliki sejumlah kecil kontainer seperti itu akan memudahkan barang untuk digulirkan dari simpul dan ke -trucks dan --trains. kontainer s, simpul, dan penggeraks (dilambangkan untuk material penanganan peralatan) untuk memaksimalkan efisiensi operasinya. Selain itu, simpul dan penggerak dirancang dan Misalnya, dimensi fisik penggerak seperti -pallet atau -trucks harus bersifat modular dan dapat disesuaikan agar sesuai dengan berbagai ukuran kontainer komposit.

Dengan cara ini, fasilitasi proses logistik seperti pemindahan , penyimpanan, penanganan, pengangkutan unit beban memungkinkan sistem untuk mendapatkan efisiensi dan keberlanjutan yang sangat besar.Pekerjaan di membuktikan bahwa standarisasi kontainer meningkatkan pemanfaatan ruang truk dan peralatan penanganan material.Dalam penelitian serupa, evaluasi Kinerja PI diperkenalkan di menunjukkan bahwa pengangkutan pengiriman di jaringan PI berkontribusi untuk mengurangi biaya persediaan dan sistem logistik total berkat fasilitasi konsolidasi kontainer standar tersebut.karena pendekatan konsolidasi pengiriman terbukti mengurangi limbah karbon dan energi secara efektif di tradisional sistem logistik.

Sebuah proyek telah dilakukan oleh CELDi (Pusat Keunggulan dalam Logistik dan Distribusi) untuk memeriksa dampak PI yang lebih komprehensif terhadap kinerja sistem logistik yang ada di AS. Hasil demonstrasi utama yang dinyatakan dalam menyiratkan berbagai dampak positif dari PI pada ketiga aspek berkelanjutan Secara konkret, jika PI

diluncurkan pada 25% arus di AS, dampaknya akan mewakili penghematan 100 miliar USD, pengurangan 200 juta ton emisi CO2, dan penurunan 75% dalam omset jarak jauh untuk pengemudi kendaraan yang mengendarai barang berat Proyek lain yang dipimpin dalam CIRRELT (Pusat Penelitian Antar Universitas tentang Jaringan Perusahaan, Logistik dan Transportasi) adalah memperkirakan potensi keuntungan energi, lingkungan dan keuangan untuk satu produsen industri barang-barang manufaktur yang memanfaatkan jaringan distribusi terbuka Hasil simulasi dari beberapa skenario yang diperkenalkan pada [9] menunjukkan dampak PI dengan keuntungan berlipat ganda termasuk peningkatan tingkat pengisian kendaraan (misalnya, truk, kereta api, dll.), penghematan energi (menghemat jutaan liter solar per tahun), dan pengurangan biaya logistik secara keseluruhan.

PI adalah visi jangka panjang untuk jaringan logistik global end-to-end, dan beberapa aliansi seperti MHI3 dan ALICE4 telah mengadopsi dan kemudian mempromosikan konseptualisasi dan praktik PI. mewujudkan konsep PI pada tahun 2050. Untuk mencapai PI penuh, banyak faktor yang perlu diperhitungkan secara bersamaan, termasuk objek fisik seperti kontainer , penggerak, dan - simpul serta abstrak informal termasuk -protocol dan Sistem Manajemen Internet Fisik (PIMS) Dengan demikian, PI akan mengarah pada pengembangan sistem logistik terbuka untuk menghubungkan objek fisik ke Internet global.

Konsep ini menunjukkan evolusi organisasi yang signifikan, di mana objek logistik diharapkan menjadi cerdas dan otonom karena mereka adalah saluran komunikasi dan stok informasi pada saat yang sama.Dalam konteks ini, PI adalah pemain kunci yang siap untuk mendapatkan keuntungan. dari *Internet of Things (IoT)* bergema karena jutaan kontainer dipindahkan, dilacak, dan disimpan oleh berbagai simpul dan penggerak setiap hari.

Dengan menanamkan kemampuan cerdas seperti penginderaan, komunikasi, dan pemrosesan data ke dalam komponen PI, IoT memungkinkan interkoneksi yang mulus dari perangkat heterogen dan untuk mendapatkan visibilitas operasional yang lengkap dan memungkinkan keputusan real-time terbaik dalam proses logistik. arsitektur untuk PI dan parti. Namun, banyak literatur PI dan IoT, hingga saat ini, sebagian besar telah terputus-putus tanpa banyak penekanan pada teori atau penerapan praktis Bab ini membahas tren aplikasi IoT di PI dan mengungkap berbagai masalah yang harus ditangani untuk mengubah teknologi logistik melalui inovasi IoT.

Dalam hal ini, kontribusi utama bab dirangkum sebagai berikut:

- Paradigma PI yang menyertai perkembangan mutakhir dari proyek terkait disorot. Selain itu, desain proposisi untuk komponen PI diperkenalkan ke aplikasi IoT di PI. simpul.
- Kerangka informasi diusulkan berdasarkan pemanfaatan IoT yang tertanam dalam perangkat fisik PI dan interaksi aktifnya.
- Arsitektur berorientasi layanan (SOA) diusulkan dan dijelaskan untuk IoT yang diterapkan untuk PI. SOA tersebut kemudian mengeksploitasi kerangka kerja informasi untuk membuat dan memberikan layanan IoT untuk PIMS.

- Dengan mengadaptasi kerangka kerja yang diusulkan, sebuah studi kasus yang bertujuan untuk mengembangkan layanan IoT disajikan untuk menggambarkan layanan manajemen operasi logistik yang efisien di PI.

Sisa bab ini disusun sebagai berikut: Bagian 18.2 menjelaskan infrastruktur utama yang memungkinkan PI dan desain proposisi kami untuk membuat IoT di jaringan PI. Dalam Bagian 18.3, kami mengusulkan SOA, yang dirancang untuk beradaptasi dengan lingkungan logistik untuk menyediakan layanan logistik IoT. Setelah itu, Bagian 18.4 memperkenalkan studi kasus yang menggunakan arsitektur IoT yang diusulkan serta arsitektur SOA yang diusulkan untuk membuat dan memberikan layanan nilai tambah untuk manajemen PI. Akhirnya, Bagian 18.5 menyimpulkan bab dan mengusulkan perkembangan lebih lanjut.

18.2 Infrastruktur IoT untuk Internet Fisik

Di bagian ini, kami akan menyajikan elemen kunci termasuk kontainer s, simpuls, dan penggerak serta desain proposisi canggih yang memungkinkan IoT untuk Internet Fisik.

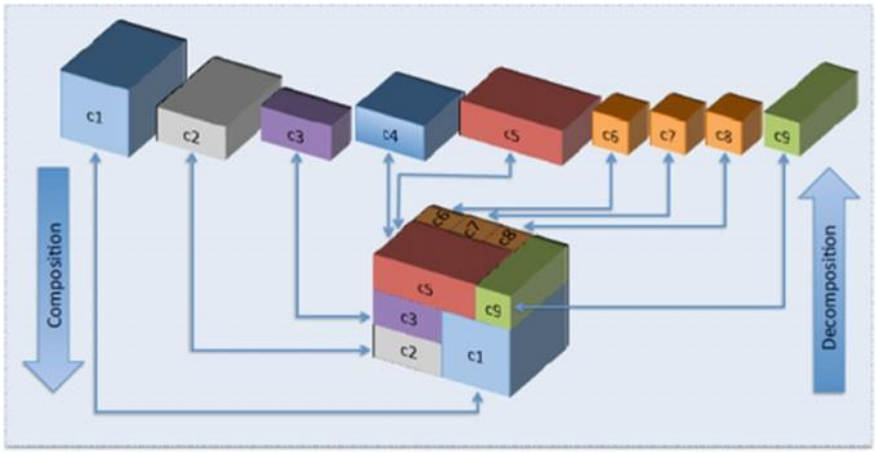
18.2.1 Kontainer

Kontainer adalah elemen kunci yang memungkinkan keberhasilan operasi PI. Kontainer diklasifikasikan ke dalam tiga kategori fungsional: kontainer transportasi, penanganan, dan pengemasan (masing-masing disebut sebagai kontainer T / H / P) dengan korelasinya. menanggapi dimensi modular . Proposisi diperkenalkan untuk merancang ukuran modular wadah ini. Meskipun himpunan dimensi modular harus tunduk pada komite standar internasional, mitra proyek CELDi PI mengembangkan model matematika untuk menentukan ukuran kontainer terbaik untuk memaksimalkan pemanfaatan ruang.Secara paralel, proyek MODULUSHCA5 yang didanai oleh kerangka kerja ke-7 Program komisi Eropa adalah proyek pertama yang merancang dan mengembangkan kontainer (disebut sebagai M - kotak dalam proyek ini) yang didedikasikan untuk barang-barang konsumen yang bergerak cepat (FMCG). Secara umum, FMCG mencakup barang-barang bekas konsumen sehari-hari dengan berbagai ukuran kecil / menengah seperti farmasi, elektronik konsumen, Kotak-M berukuran dan dirancang dengan proses rekayasa metodologis yang diperkenalkan dalam penelitian.

Mereka menunjukkan bahwa satu set dimensi eksternal wadah termasuk nilai berikut dalam meter {0.12, 0.24, 0.36, 0.48, 0.6, 1.2, 2.4, 3.6, 4.8, 6, 12} meningkatkan pemanfaatan ruang pada tingkat beban unit yang berbeda Dengan modularitas dan struktur interlocking, konsep enkapsulasi diterapkan untuk menciptakan beban unit yang efisien yang memfasilitasi proses penanganan material seperti pemindahan, pemuatan, atau penyimpanan Gambar 18.1 mengilustrasikan konsep tersebut yang diwujudkan dengan menyusun sembilan kontainer yang lebih kecil untuk membuat kontainer komposit sebagai unit beban yang efisien.

Perhatikan bahwa, enkapsulasi fisik diterapkan dalam tiga jenis wadah . Dengan demikian, wadah P yang berisi langsung beberapa barang pasif ditempatkan di wadah H, itu sendiri terkandung dalam wadah T. Memang, sejumlah yang lebih kecil kontainer dioptimalkan seperti blok komposisinya (composite kontainer) sangat cocok dengan ruang internal kontainer yang besar.

Selain itu, PI menekankan pentingnya enkapsulasi informasi dan komunikasi. Hal ini dicapai dengan menerapkan IoT dan menyematkan teknologi yang menyertainya seperti RFID, jaringan sensor nirkabel (WSNs).Dengan integrasi ICT seperti itu, kontainer menjadi pintar Objek IoT memiliki kemampuan dasar seperti identifikasi, penginderaan ambien, komputasi, dan komunikasi.Karena kontainer dimanipulasi di seluruh dunia oleh semua jaringan, informasi yang berkaitan dengan status fisik dan konteksnya harus ditangkap, dikodekan, dilindungi, dan ditransfer secara akurat.



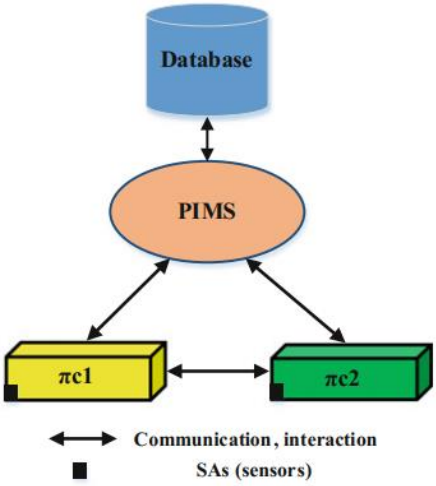
Gambar 18.1 Contoh konsep enkapsulasi yang menyusun sembilan kontainer untuk menghasilkan unit load yang efisien

Standar global EPC memberikan solusi yang memungkinkan identifikasi kontainer secara unik. Secara konkret, kode kontainer dibuat sesuai dengan tag RFID dengan standar EPC. Jadi, ketika kode dimasukkan ke dalam layanan, informasi diumpankan ke Layanan Informasi EPC (EPCIS) 6 dibagi antar operator. Sementara itu, kemampuan penginderaan simpul sensor memungkinkan kondisi lingkungan sekitar wadah dipantau secara berkala. Dengan kemampuan tersebut, wadah dapat mengidentifikasi statusnya dan melaporkannya, membandingkan keadaannya dengan yang diinginkan, dan mengirim informasi (misalnya, peringatan) ketika kondisi tertentu terpenuhi.

Selanjutnya, terintegrasi dengan memori, simpul sensor dapat menyimpan dan memelihara data yang relevan. Menerapkan untuk jaringan PI, karena kontainers setara dengan paket data yang mengalir di jaringan Internet Digital, informasi yang berkaitan dengan spesifikasi dasar kontainer harus disimpan dalam memori seperti pengidentifikasi kontainer, uang receh kontainer nsion, kategori container. Selain itu, untuk mendukung protokol routing secara efektif, informasi routing (yaitu alamat tujuan sebelumnya / berikutnya / akhir) dari kontainer yang disediakan oleh PIMS juga ditambahkan ke memori sensor.

Lebih penting lagi, masalah apa pun Dalam proses logistik di sepanjang rantai pasokan akan direkam dalam memori simpul sensor nirkabel, sehingga informasi tersebut dapat diperiksa menggunakan perangkat apa pun seperti komputer, tablet, atau bahkan ponsel. Kemampuan pemrosesan memungkinkan simpul untuk melakukan tugas tertentu

dan menyediakan fungsionalitas tambahan yang sesuai untuk container. Sementara itu, diaktifkan oleh transceiver nirkabel terintegrasi, kontainer dapat berkomunikasi dengan sistem pendukung yang berbeda (misalnya, sistem manufaktur, rantai pasokan, sistem pemeliharaan, PIMS) dan kontainer aktif lainnya untuk mengaktifkan IoT serta layanan IOT.

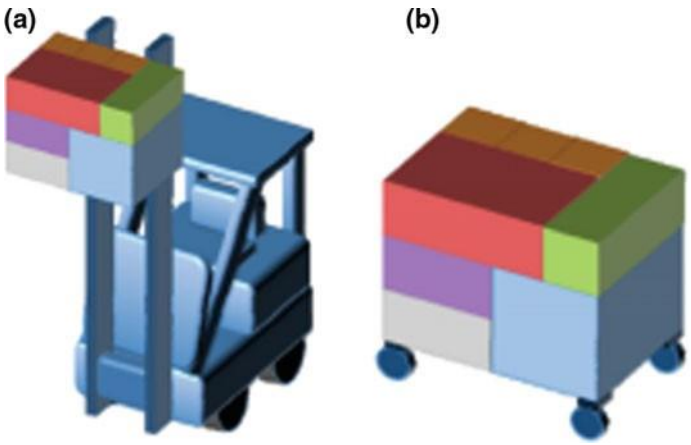


Gambar. 18.2 Sensor nirkabel atau tag pintar yang tertanam diwadah sebagai agen mereka memungkinkan interaksi antara mereka dan dengan PIMS secara aktif

Secara praktis, contoh integrasi semua kemampuan ini dalam Wadah Cerdas yang disebut InBin7 baru-baru ini berkembang ed oleh Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics untuk mendukung pengangkutan produk makanan yang mudah rusak secara efisien. Proyek lain bernama TRAXENS8 telah mengembangkan wadah multi-modal pintar (yaitu, wadah T setara dalam PI) yang dapat mencapai keuntungan besar dalam efisiensi, layanan, dan perlindungan planet ini karena visibilitas kontainer kargo diperoleh secara waktu sebenarnya.

Dengan integrasi TIK seperti itu, setiap kontainer cerdas diwakili oleh agen cerdas yang sesuai (misalnya, tag cerdas, sensor nirkabel, dll.) Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18.2. Setiap agen adalah sebagai saluran komunikasi yang diaktifkan oleh nirkabel teknologi komunikasi dan menyimpan stok informasi penting yang berkaitan dengan produk dan statusnya. Selain itu, ini membantu memastikan identifikasi, integritas, perutean, pengkondisian, pemantauan, keterlacakan, dan keamanan setiap kontainer.

Ini juga memungkinkan distribusi penanganan, penyimpanan, dan otomatisasi perutean. Melalui PI, sensor dapat mengakses data yang diperlukan dengan berinteraksi dengan agen. Namun, berdasarkan peran pemohon, data yang lebih terbatas mungkin diperlukan dan diakses untuk memastikan keamanan dan privasi data Model data umum Modulusca yang terdiri dari empat tipe data: data bisnis, data pengiriman, data jaringan, dan data publik, yang dapat diakses oleh aktor terkait dengan hak yang diberikan untuk mendukung pertukaran informasi di antara para mitra PI.



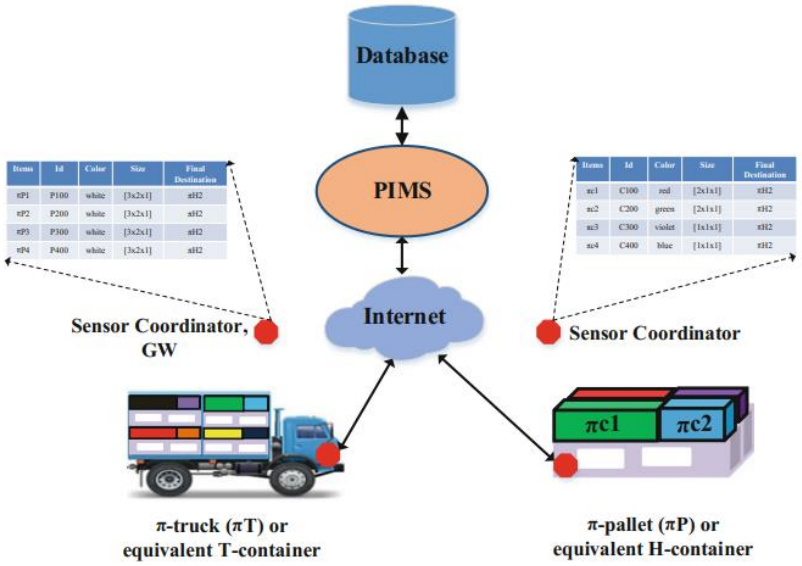
Gambar 1.3 Ilustrasi konseptual Penggerak yang dirancang untuk memanfaatkan modularitas kontainer.
a -truk-angkat b – Penggerak

18.2.2 Penggerak

Di Internet Fisik, kontainer secara umum dipindahkan oleh penggerak. Pindah digunakan di sini sebagai padanan generik untuk kata kerja seperti mengangkut, menyampaikan, menangani, mengangkat, dan memanipulasi. Jenis utama Penggerak termasuk - transporter, konveyer, dan -handler. Yang terakhir adalah manusia yang memenuhi syarat untuk memindahkan kontainer. Semua penggerak dapat menyimpan kontainer untuk sementara meskipun ini bukan misi utama mereka.

Karena penggerak dimanipulasi secara langsung dengan kontainer, mereka dirancang untuk memanfaatkan sebaik mungkin karakteristik kontainer Dari perspektif fisik, dimensi penggerak diinovasi untuk tunduk pada standar modularitas kontainer Gambar 19.3 mengilustrasikan model konseptual penggerak yang dirancang untuk mengeksploitasi modularitas kontainer Gambar 19.3 mengilustrasikan model konseptual penggerak yang dirancang untuk memanfaatkan modularitas kontainer.

Berkenaan dengan perspektif informasi, adopsi teknologi IoT secara luas memungkinkan inventaris cerdas dan manajemen aset. Secara khusus, penggerak dapat bertindak sebagai agen aktif, yang dapat berinteraksi dengan kontainers dan PIMS untuk berbagi informasi dan mengelolanya sementara di Selain itu, status kontainer dan juga penggeraks dipantau secara real time, misalnya, PIMS dapat diperingatkan ketika -truck sedang digunakan secara berlebihan atau ketika -pallet yang menganggur harus ditugaskan untuk melakukan tugas lain Gambar 19.4 mengilustrasikan contoh yang menunjukkan keaktifan penggerak (π -pallet (π) P) dan -truck (π T)) yang diaktifkan oleh sensor atau gateway nirkabel yang dilengkapi.



Gambar 18.4 Layanan logistik IoT yang disediakan oleh infrastruktur IoT dari internet fisik seperti T dan P aktif yang diaktifkan oleh sensor atau gateway nirkabel yang dilengkapi

18.2.3 Simpul

Dalam visi PI, simpul adalah lokasi yang berperan sebagai antarmuka cerdas untuk memungkinkan mewujudkan interkonektivitas universal di tingkat operasional. Misalnya, -gateways memungkinkan masuknya kontainer ke PI secara efisien dan terkendali serta keluarnya dari PI Umumnya, simpul mencakup -penggerak dan / atau simpul tertanam lainnya secara permanen atau sementara, yang dikolaborasikan untuk tujuan bersama penanganan material (misalnya, menyusun kontainer, memindahkan komposit kontainer, menyimpan kontainer komposit, dll.) Tabel 19.1 merangkum kunci simpul yang dirancang untuk jaringan PI Sebagai pusat distribusi kontainer, hampir semua aktivitas logistik dilakukan dan ditransformasikan di sini secara dinamis. Jadi, simpul harus dirancang sedemikian rupa Di bagian selanjutnya, PIMS terdistribusi aktif untuk antarmuka pintar ini diusulkan untuk memungkinkan kelancaran. aliran fisik smart kontainer.

Tabel 18.1 Kunci simpul dengan fungsi spesifiknya di PI

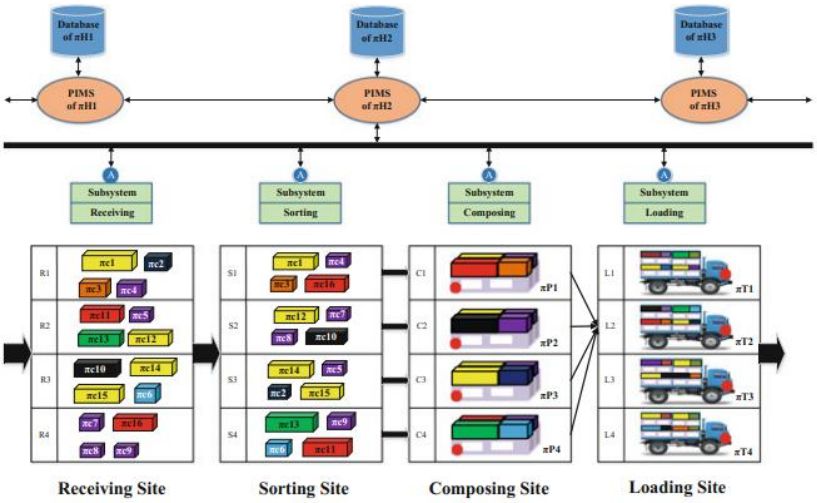
π-simpul	Kegunaan
π-transit	Mentransfer -carrier dari -vehicles masuk ke -vehicles keluar
π-beralih	Transfer unimodal dari kontainer dari -penggerak yang masuk ke -penggerak yang berangkat
π-jembatan	Transfer multimodal satu-ke-satu dari kontainer dari -penggerak yang masuk ke -penggerak yang berangkat
π-penyortir	Menerima kontainer dari satu atau beberapa titik masuk dan harus menyortirnya untuk mengirim masing-masing dari titik keluar tertentu, berpotensi dalam urutan tertentu
π-komposer	Membangun -wadah komposit dari set wadah . yang ditentukan

π-toko	Menyimpan -wadah dalam durasi waktu tertentu
π-gerbang	Terima kontainer dan lepaskan sehingga mereka dan kontennya dapat diakses di jaringan pribadi
π-hub	Pemindahan kontainer dari -penggerak masuk ke kontainer keluar

18.2.4 PIMS Terdistribusi Aktif untuk simpul

Karena tingginya dinamika dan kompleksitas struktural jaringan PI, perencanaan pusat dan pengendalian proses logistik menjadi semakin sulit.Kesulitan tersebut diperkuat oleh kebutuhan manajemen yang efisien dari sejumlah besar kontainer dan aset logistik di setiap simpul. Oleh karena itu, kontrol dan manajemen proses logistik yang terdistribusi dan otonom diperlukan dalam konteks PI. Dengan kata lain, PIMS harus dirancang secara terdistribusi yang memungkinkan pengelolaan fasilitas dan aset logistik secara efisien. Selain itu, PIMS Yang dimaksud dengan "keaktifan" adalah kemampuan PIMS dalam memantau status aset logistik secara real time dan berdasarkan penjadwalan informasi ini, proses direncanakan secara fleksibel dan efektif sehingga pemanfaatan aset dapat dioptimalkan. Bagian ini menjelaskan usulan sistem terdistribusi aktif yang dirancang untuk mengaktifkan IoT untuk PI dalam perspektif aliran informasi dan fisik.

Dengan sistem terdistribusi aktif, proses logistik dipantau dan dikendalikan secara efektif, sehingga kesalahan atau kesalahan niat dapat dilacak dan proses yang tepat yang menyebabkan masalah tersebut dapat ditemukan berkat keaktifan PIMS untuk memperbaikinya. simpuls adalah untuk memastikan kontainer mentransfer secara efisien dan berkelanjutan dari inbound penggerak membawa kontainers ke outbound penggerak.



Gambar 18.5 Sebuah PIMS terdistribusi tipikal untuk mengelola kontainer masuk dan keluar dan aset logistik di H2

Selain itu, diaktifkan oleh IoT, aset logistik dapat terhubung ke PIMS. Oleh karena itu, semua simpul tidak hanya dapat mengelola kontainer yang masuk dan keluar yang berpartisipasi dalam proses logistik tetapi juga aset logistik mereka secara real time.

Gambar 18.5 mengilustrasikan PIMS seperti itu di -hub yang didistribusikan ke dalam subsistem aktif, yang bertanggung jawab untuk fungsi tunggal atau layanan terkait.

Dengan cara yang sama, subsistem yang berkembang spesifik -wadah dan fasilitas yang ditugaskan oleh PIMS mengelola dan mengambil fungsinya.Subsistem aktif bertanggung jawab untuk mengelola satu set aset PI, inventaris (yaitu, -wadah, penggerak) dalam periode yang dijadwalkan untuk menyelesaikan tugas spesifiknya.

Seperti yang didefinisikan pada Tabel 18.1 pertukaran kontainer dari operator ke yang lain adalah aktivitas inti dari -hub (π H).Berikut ini menunjukkan proses pertukaran tersebut baik dalam aliran fisik dan informasi dengan integrasi IoT.Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18.5, proses logistik di H2 dibagi dalam empat sub-proses yang dikelola oleh empat subsistem aktif yang sesuai.

Menerima

Di situs penerima, semua penggerak, dan kontainer yang masuk didaftarkan, diverifikasi, dan dipindai untuk keperluan validasi dan keamanan. terhadap informasi yang ditransmisikan dari H1. Setelah melewati proses awal tersebut, kontainer diarahkan ke lokasi yang sesuai untuk proses berikutnya yang terlibat. Biasanya, memindahkan kontainer didukung oleh konveyer atau -carrier tergantung pada Untuk menghindari tabrakan dan keseimbangan beban, kontainer dialokasikan untuk masuk jalur input yang berbeda.Misalnya, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18.5, setiap empat kontainer dijadwalkan dan dipindahkan dalam satu jalur (tujuan berikutnya dan proses selanjutnya. yaitu, R1, R2, R3, R4) untuk memastikan kelancaran aliran waktu dan jendela ruang Tabel 19.2 menggambarkan status detail kontainer yang dijadwalkan oleh subsistem penerima di lokasi penerima Jadwal dikirim ke subsistem penyortiran tem yang bertanggung jawab untuk menyortir kontainers yang terdaftar.

Tabel 18.2 Jadwal ruang dan waktu untuk kontainer di lokasi penerima

Status -wadah di situs penerima

πc	Digerakkan oleh (π-penggerak)	Lokasi (jalur)	Waktu keluar (min, maks)	Proses selanjutnya	Hub Berikutnya
πc1	π konveyor	R1	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH3
πc2	πkonveyer	R1	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH4
πc3	πkonveyer	R1	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH3
πc4	πkonveyer	R1	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH3
πc5	πkonveyer	R2	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH4

Penyortiran

Keluar dari tempat penerima, kontainer yang diterima dan dipilih menuju ke tempat penyortiran yang bertujuan untuk mengurutkan kontainer tersebut menurut beberapa aturan sebagai berikut

- Π kontainer memiliki tujuan akhir yang sama,
- Atau mereka mungkin memiliki tujuan akhir yang berbeda tetapi dijadwalkan untuk transit di simpul berikutnya yang sama.

Tabel 18.3 mengilustrasikan contoh status dan jadwal kontainer di lokasi penyortiran.

Dalam contoh ini, kontainer, c1 c3, dan c4 yang memiliki tujuan akhir (π H3) diurutkan dan dipindahkan di jalur S1, sedangkan c2 dan c5 dipindahkan di jalur S3 sejak tujuan akhirnya. adalah H4 Seperti disebutkan sebelumnya, misi penyortiran dicapai oleh -sorter yang menggabungkan jaringan -conveyor dan / atau -sorters tertanam lainnya.

Menulis

Di lokasi pembuatan, kontainer yang disortir disusun menjadi kontainer komposit, yang merupakan beban efisien dengan ukuran berbeda yang sesuai dengan ukuran kontainer H / T. Selain itu, urutan penyusunannya harus diperhitungkan karena beberapa kontainer dapat didekomposisi di simpul berikutnya, sehingga harus ditempatkan di lokasi terluar dari kontainer komposit. Dengan kata lain, kesalahan dalam mengalokasikan kontainer dapat menyebabkan ketidakefisienan proses logistik berikut. , tugas penyusunan diselesaikan oleh -komposer dalam kombinasi dengan penggerak yang telah ditetapkan sebelumnya seperti -pallet atau kontainer yang lebih besar untuk dibawa.

Tabel 18.4 mengilustrasikan contoh status dan jadwal kontainer di lokasi pembuatan.

Setelah kontainer disusun menjadi kontainer komposit, enkapsulasi informasi diterapkan. Oleh karena itu, koordinator atau gateway yang disematkan ke -pallet bertanggung jawab untuk mengelola penampung kontainernya secara langsung alih-alih subsistem penyusunnya. Ini didistribusikan manajemen memungkinkan PIMS mengurangi biaya pengelolaan dan penyimpanan data terkait.

Tabel 18.3 Jadwal ruang dan waktu untuk kontainer di lokasi penyortiran

Status -wadah di tempat penyortiran

πc	Digerakkan oleh (π-penggerak)	Lokasi (jalur)	Waktu keluar (min, maks)	Proses selanjutnya	Hub Berikutnya
πc1	πkonveyer	S1	(07:03, 07:04)	Menulis	πH3
πc2	πkonveyer	S3	(07:03, 07:04)	Menulis	πH4
πc3	πkonveyer	S1	(07:03, 07:04)	Menulis	πH3
πc4	πkonveyer	S1	(07:03, 07:04)	Menulis	πH3
πc5	πkonveyer	S3	(07:03, 07:04)	Menulis	πH4

Tabel 18.4 Jadwal ruang dan waktu untuk kontainer di lokasi penyusunan Status -wadah di situs penulisan

πc	Digerakkan oleh (π-penggerak)	Lokasi (jalur)	Waktu keluar (min, maks)	Proses selanjutnya	Hub Berikutnya
πc1	πP1	C1	(07:04, 07:05)	Memuat	πH3
πc2	πP3	C3	(07:04, 07:05)	Memuat	πH4
πc3	πP1	C1	(07:04, 07:05)	Memuat	πH3
πc4	πP1	C1	(07:04, 07:05)	Memuat	πH3
πc5	πP3	C3	(07:04, 07:05)	Memuat	πH4

Memuat

Proses loading berhubungan dengan kontainer komposit atau H / Tkontainer untuk memuatnya ke -transporter dan kemudian memindahkannya ke simpul berikutnya.Serupa dengan proses composing, proses loading harus mengikuti aturan signifikan sebagai berikut:

Tabel 18.5 Jadwal ruang dan waktu untuk kontainer di lokasi pemuatan Status kontainer di lokasi pemuatan

πc	Digerakkan oleh (π-penggerak)	Lokasi (jalur)	Waktu keluar (min, maks)	Proses selanjutnya	Hub Berikutnya
πP1	πT2	L2	(07:05, 07:06)	mengangkut	πH3
πP2	πT2	L2	(07:05, 07:06)	mengangkut	πH3
πP3	πT3	L2	(07:05, 07:06)	mengangkut	πH3
πP4	πT4	L2	(07:05, 07:06)	mengangkut	πH3

- Jumlah kontainer komposit termasuk Hkontainer dioptimalkan sehingga pengaturan spasialnya dalam -transporter memaksimalkan pemanfaatan ruang,
- Karena kontainer komposit mungkin memiliki tujuan akhir yang berbeda tetapi tujuan berikutnya yang sama, urutan pemuatannya harus diperhitungkan untuk memfasilitasi proses pembongkaran di tujuan berikutnya. Dalam hal ini, last-in-first-out (LIFO) aturan diterapkan.

Tabel 18.5 mengilustrasikan contoh status dan jadwal kontainer di lokasi pembuatan.

Dalam contoh, empat -pallet dipindahkan dan berkumpul di jalur L2 dari situs pemuatan, di mana mereka dimuat ke T2 yang telah ditentukan sebelumnya.Pada perspektif informasi, koordinator atau gateway atau perangkat IoT dipasang di T2 untuk sementara mengelola kontainer yang dimuat sampai mereka ditangani dalam proses berikutnya.

18.3 Arsitektur Berorientasi Layanan untuk IOT

Karena tidak ada konsensus tunggal tentang arsitektur untuk IoT yang disepakati secara universal, arsitektur yang berbeda telah diusulkan oleh para peneliti. Dengan banyak hal yang bergerak secara dinamis dalam skenario PI, arsitektur adaptif diperlukan untuk membantu perangkat berinteraksi secara dinamis dengan hal-hal lain dalam Selain itu, sifat IoT yang terdesentralisasi dan heterogen mengharuskan arsitektur menyediakan kemampuan event-driven yang efisien IoT serta layanan sesuai permintaan. , handal, standar, dan arsitektur berbiaya rendah. Selanjutnya, tuntutan bisnis yang selalu berubah dan kebutuhan pengguna akhir yang berbeda harus dipenuhi dengan menyediakan fungsionalitas kustomisasi kepada pengguna akhir dan organisasi di bawah SOA yang fleksibel. Jadi SOA dianggap sebagai metode yang efisien untuk mencapai interoperabilitas antara perangkat heterogen dalam banyak cara. Selain itu, SOA dianggap cocok untuk rantai logistik yang digerakkan oleh permintaan. Secara khusus, SOA dapat mengintegrasikan proses dan informasi logistik; dan berbagi informasi tersebut dapat membantu menciptakan lingkungan yang lebih baik untuk kolaborasi waktu nyata, nyata -sinkronisasi waktu, dan visibilitas waktu nyata di seluruh rantai logistik.

Bagian ini menjelaskan SOA yang diusulkan untuk membuat layanan logistik IoT di PI. Arsitekturnya terdiri dari empat lapisan: lapisan fisik, lapisan jaringan, lapisan layanan, dan lapisan antarmuka. Dalam subbagian berikut, lapisan ini disajikan untuk beradaptasi dengan IoT dari PI.

18.3.1 Lapisan Fisik

Lapisan fisik melibatkan persepsi karakteristik fisik benda atau lingkungan sekitarnya.Proses ini diaktifkan oleh beberapa teknologi identifikasi dan penginderaan seperti RFID, WSN. Misalnya, dengan menanamkan sensor cerdas ke kontainer , kondisi lingkungan (misalnya, suhu, kelembaban, dll.) di sekitarnya dapat dirasakan dan dipantau secara real time. Selain itu, karena komunikasi diaktifkan oleh sensor ini, wadah dapat bertukar informasi dan mengidentifikasi satu sama lain.

Selain itu, lapisan ini bertugas mengubah informasi menjadi sinyal digital, yang lebih nyaman untuk transmisi jaringan. Namun, beberapa objek mungkin tidak dapat dirasakan secara langsung. Dengan demikian, microchip akan ditambahkan ke objek ini untuk menyempurnakannya dengan penginderaan. Dan bahkan kemampuan pemrosesan. Memang, teknologi nano, materi komunikasi dan kecerdasan tertanam akan memainkan peran kunci dalam lapisan fisik. Yang pertama akan membuat chip cukup kecil untuk disematkan ke objek yang digunakan dalam kehidupan kita sehari-hari Yang kedua akan meningkatkannya dengan kemampuan pemrosesan yang dibutuhkan oleh aplikasi masa depan.

Pada lapisan paling bawah dari arsitektur, lapisan fisik menyediakan kumpulan informasi secara berkala atau dalam mode pasif. Dengan aktivitas logistik yang masif, tingkat informasi harus dikategorikan dan distandarisasi. Misalnya, informasi yang digunakan untuk mewujudkan empat kelas keaktifan kontainer dapat diklasifikasikan menjadi empat level yang sesuai :

- Informasi pasif: dikumpulkan dari data statis atau dinamis yang disimpan dalam tag atau sensor RFID. Informasi tersebut berkaitan dengan spesifikasi kontainer dan lokasi untuk menyediakan fungsi pelacakan dan ketertelusuran.
- Informasi pemicu: Informasi ini dirasakan dari penginderaan dan pendeteksian oleh sensor yang memadai. Oleh karena itu, masalah yang terdeteksi dikirim ke PIMS sebagai pesan peringatan. Informasi tersebut menyediakan fungsi pemantauan.
- Informasi proses pengambilan keputusan: Informasi ini diperoleh melalui interaksi dan komunikasi antara proximity kontainers Pengelolaan ketidakcocokan antara kontainers adalah contoh layanan yang dilayani oleh informasi tersebut.
- Informasi yang diatur sendiri: kontainer yang aktif mandiri dan mampu memberikan layanan berdasarkan informasi yang diperoleh dari -infrastructure di kelas sebelumnya.

Tabel 18.6 Pertimbangan desain untuk aplikasi IIoT (diadaptasi dari)

Tujuan desain	Keterangan
Energi	Berapa lama perangkat IoT dapat beroperasi dengan catu daya terbatas?
Latensi	Berapa banyak waktu yang dibutuhkan untuk propagasi dan pemrosesan pesan?
throughput	Berapa jumlah maksimum data yang dapat disinter melalui jaringan?
Skalabilitas	Berapa banyak perangkat yang didukung?
Topologi	Siapa yang harus berkomunikasi dengan siapa?
Keamanan & keselamatan	Seberapa aman dan amankah aplikasi tersebut?

18.3.2 Lapisan Jaringan

Peran lapisan jaringan adalah untuk menghubungkan semua hal yang heterogen bersama-sama dan memungkinkan mereka untuk berbagi informasi dengan hal-hal lain yang terhubung. Selain itu, lapisan jaringan mampu menggabungkan informasi dari infrastruktur TI yang ada yang mendukung proses logistik (yaitu), penggerak, -facilities). Dalam SOA-IoT, layanan yang disediakan oleh IoT atau sekelompok perangkat kolektif biasanya digunakan dalam jaringan heterogen dan semua hal terkait dibawa ke layanan Internet untuk selanjutnya mengakses dan berbagi .

Karena, lapisan jaringan terutama menyediakan informasi yang dikumpulkan dari lapisan fisik ke lapisan layanan, manajemen QoS, penemuan dan pengambilan layanan, pemrosesan data dan sinyal, keamanan, dan privasi sesuai dengan kebutuhan pengguna / aplikasi adalah beberapa hal yang signifikan. Di sisi lain, perubahan dinamis topologi jaringan karena meninggalkan atau bergabung dengan perangkat IoT dapat menyebabkan jaringan tidak kuat. karena jaringan adalah tulang punggung untuk mewujudkan IoT, merancangnya harus mempertimbangkan tantangan signifikan berikut yang tercantum dalam Tabel 18.6.

18.3.3 Lapisan Layanan

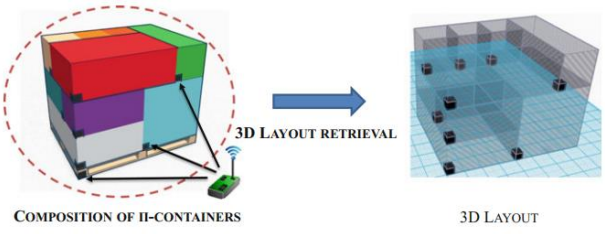
Layanan ini pada gilirannya dieksploitasi untuk mendukung proses logistik subsistem aktif serta pengguna akhir untuk memantau atau melacak Lapisan ini bergantung pada perangkat menengah untuk mengintegrasikan berbagai sumber informasi heterogen yang disediakan oleh perangkat IoT heterogen untuk menciptakan layanan yang berharga Perintah mereka Lapisan ini bertanggung jawab untuk mengidentifikasi dan mewujudkan layanan yang dapat memanfaatkan infrastruktur IoT untuk melayani operasi dalam layanan logistik. Fungsi penelusuran atau pelacakan dasar, pemantauan, penjadwalan, perutean adalah layanan khas dalam operasi logistik. Selain itu , semua masalah berorientasi layanan termasuk pertukaran dan penyimpanan informasi, manajemen basis data, mesin pencari (pencarian basis data, pencarian layanan), dan protokol komunikasi antar layanan diselesaikan oleh lapisan .

18.3.4 Lapisan Antarmuka

Di IoT, karena sejumlah besar perangkat IoT dibuat oleh pabrikan/vendor yang berbeda dan mereka tidak selalu mengikuti standar/protokol yang sama, ada banyak masalah interaksi dengan pertukaran informasi, komunikasi antar benda, dan pemrosesan kejadian kooperatif di antara yang berbeda. Oleh karena itu, misi dari lapisan antarmuka adalah untuk memungkinkan layanan diakses dan digunakan oleh manajer. Oleh karena itu, misi lapisan antarmuka adalah untuk memungkinkan layanan diakses dan digunakan oleh manajer. atau pengguna akhir. Layanan Web adalah teknologi yang mengintegrasikan seperangkat standar dan protokol untuk bertukar data antara aplikasi yang dikembangkan dalam bahasa pemrograman yang berbeda dan mereka dapat berjalan di platform apa pun. Oleh karena itu, Layanan Web dapat digunakan untuk bertukar data. Interoperabilitas dicapai dengan membuka standar yang diusulkan oleh organisasi seperti OASIS dan W3C.

18.4 Manajemen Komposit kontainer: Studi Kasus

Kontainer komposit yang terdiri dari kumpulan kontainer yang lebih kecil yang ditentukan adalah unit beban yang efisien, yang mutlak penting dalam meningkatkan efisiensi pengangkutan, penyimpanan, dan penanganan di seluruh jaringan PI. Dengan memanfaatkan modularitas dan struktur interlocking dari - kontainer, unit beban memiliki ukuran yang berbeda yang disesuaikan agar sesuai dengan ukuran yang berbeda dari sistem penanganan material seperti -pallet (lihat Gambar 18.6). Selanjutnya, set -pallet tersebut, yang pada gilirannya, dimuat ke dalam -truk sedemikian rupa sehingga ruang truk yang digunakan dimaksimalkan sebelum diangkut seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18.5.



Gambar 18.7 Pengambilan layout 3D dari kontainer . komposit

Karena pertukaran kontainer adalah kegiatan inti yang berlangsung terus-menerus di PI, frekuensi proses transformasi yang tinggi dapat Misalnya, wadah yang tidak terduga dapat ditempatkan pada -pallet selama proses pembuatan Selain itu, dalam proses cadangan (yaitu, penguraian atau pembongkaran) bagian kontainer kesatuan dapat didekomposisi (yaitu, de-palletized) secara otomatis di tujuan akhir atau untuk pengambilan pesanan di tujuan berikutnya. posisi dan orientasi kontainer yang tersusun tersedia.

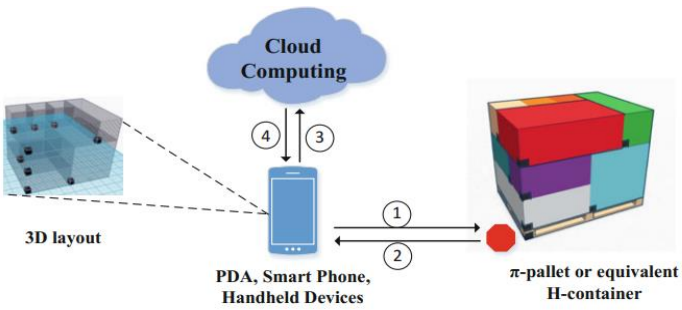
18.4.1 Arsitektur

Arsitektur jaringan yang diusulkan dari IoT yang ditunjukkan pada Gambar 18.8 berisi infrastruktur tetap dan seluler.

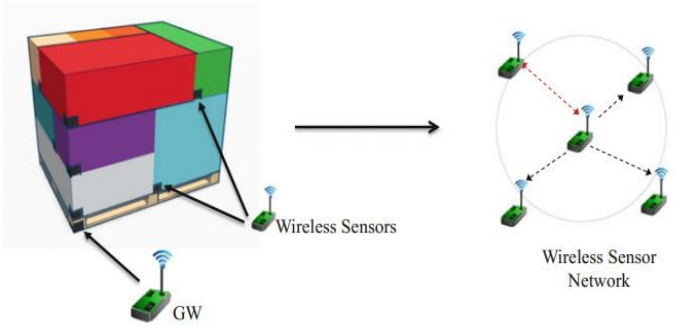
Menerapkan arsitektur yang diusulkan, arsitektur IoT empat lapis terdiri dari elemen-elemen berikut. Pada lapisan penginderaan, setiap node sensor yang dilengkapi dengan masing-masing kontainer berisi informasi yang terkait dengan spesifikasi wadahnya serta pengiriman yang terkandung. kondisi ambien seperti suhu, kelembaban dirasakan dan disimpan dalam sensor. Sebuah gateway (GW) yang ditempatkan di sudut -pallet bertanggung jawab untuk mengkoordinasikan jaringan yang dibentuk oleh sensor tersebut dan mengelola kontainer yang tersusun. Pada lapisan jaringan , sensor dan GW berkomunikasi pada tautan IEEE 802.15.4 untuk membentuk jaringan ad hoc yang dikoordinasikan oleh GW (lihat Gambar 19.9).

Infrastruktur seluler biasanya mencakup PDA, ponsel pintar, atau perangkat yang ditangani. Perangkat IoT ini meminta informasi dari GW / koordinator (alur 1 pada Gambar 18.8). Setelah menerima data yang diminta (alur 2), kemudian mengirimkannya ke cloud untuk meminta layanan (alur 3). Akhirnya, perangkat menerima se layanan dan menampilkan tata letak (alur 4).

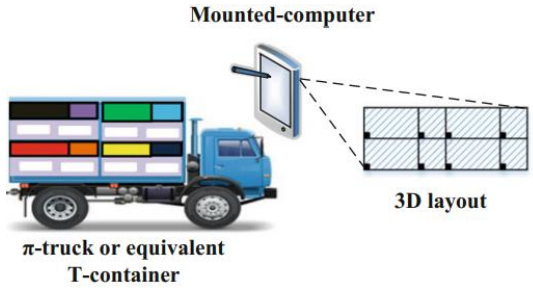
Pada lapisan layanan, GW mengumpulkan informasi dari sensor untuk mencapai tata letak 3D wadah komposit , yang selanjutnya dieksploitasi untuk menyediakan layanan penting (lihat Gambar 18.10).



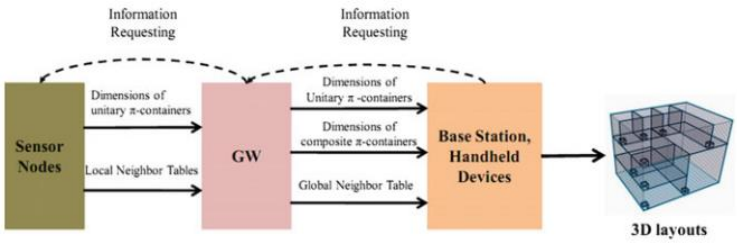
Gambar 18.8 Arsitektur IoT untuk pengambilan tata letak 3D di tingkat wadah-H



Gambar 18.9 Pada lapisan jaringan, jaringan ad hoc dibentuk oleh sembilan sensor nirkabel dan dikoordinasikan oleh GW



Gambar 18.10 Arsitektur IoT untuk pengambilan tata letak 3D di level Tkontainer



Gambar 18.11 Pertukaran informasi antar sensor, GW dan pemrosesan

18.4.2 Kerangka Alur Informasi untuk Mengambil Tata Letak 3D

Dalam kerangka ini (lihat Gambar 18.11), informasi yang diperlukan mencakup dimensi -wadah dan informasi kedekatan yang diperoleh dari hubungan ketetanggaan antara node sensor.Untuk memvalidasi kerangka kerja, metode berbasis simulasi telah dibuat dan dijelaskan dalam pekerjaan penelitian kami sebelumnya.

Dengan metodologi sederhana untuk mengambil tata letak 3D dari kontainer komposit, layanan IoT bernilai tambah dapat dikembangkan untuk mendukung proses logistik di PI. Di subbagian berikutnya, layanan tersebut diperkenalkan.

18.4.3 Layanan Nilai Tambah Diaktifkan oleh Tata Letak 3D yang Diperoleh

Tata letak 3D yang dicoba memberikan tampilan 3D yang tepat dari distribusi spasial dari kontainer tersusun di bloknya. Selain itu, lokasi node sensor yang dilengkapi juga tersedia. Dengan demikian, fungsi penginderaan menawarkan distribusi komponen lingkungan di dalam blok ini. Dengan cara ini , status kontainer dipantau terus menerus

untuk mencegah masalah secara real time. Seperti, kontainer yang dilengkapi dengan sensor yang memadai dapat mendeteksi masalah (misalnya, suhu tinggi yang tidak normal), memeriksa integritas deteksi dengan - kontainer jika relevan, dan mengirim pesan peringatan ke agen mereka atau langsung ke PIMS. Dalam contoh lain, kedekatan kontainer yang membawa kargo tidak kompatibel satu sama lain (misalnya, produk kimia yang dapat mencemari satu sama lain atau menyebabkan ledakan) dapat dideteksi dan dihindari ketika kontainer tiba di -hub, ia mengirimkan ke PIMS daftar elemen yang tidak sesuai dengan kargonya.

18.5 Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan

Dengan perkembangan pesat dalam teknologi IoT yang muncul, bab ini mengusulkan kerangka desain pengembangan SOA untuk Internet Fisik menggunakan IoT, yang sebenarnya termotivasi dan sangat dituntut dari manajer logistik karena mereka membutuhkan penyediaan layanan untuk mengelola dan mengontrol proses logistik secara efisien. Dalam konteks ini, kami menjelaskan infrastruktur utama dan desain proposisi yang sebagian besar didasarkan pada inovasi TIK canggih untuk memungkinkan IoT untuk layanan logistik semacam itu, menyediakan tata letak 3D dari wadah komposit disajikan sebagai studi kasus untuk menyoroti penggunaan praktis dan manfaat kerangka kerja yang kami usulkan.

PI adalah konsep inovatif dalam logistik. Beberapa penelitian dan studi sejak 2011 telah berkontribusi untuk mendemonstrasikan dan memberikan bukti konsep. Melihat roadmap masa depan, sasaran di 2020 adalah mewujudkan interoperabilitas antara jaringan dan aplikasi TIK untuk logistik. Jelas, aplikasi Dengan kata lain, IoT memungkinkan PI mencapai tujuan keberlanjutan globalnya. Namun, penerapan dan realisasi teknologi logistik ini sebagian besar menghadapi tantangan signifikan dari perspektif teknis.

Misalnya, karena fasilitas fisik PI dilengkapi dengan perangkat pintar (mis. RFID, sensor) biasanya ditenagai oleh baterai, menghemat energi mereka untuk memperpanjang masa operasinya adalah penting. Perangkat IoT ini dapat diminta kapan saja untuk memberikan informasi ke Lapisan yang lebih tinggi di SOA untuk mengembangkan layanan. Dengan demikian mereka dapat selalu aktif. Untuk mengurangi konsumsi daya yang akan dilakukan oleh node WSN tertidur (mode daya rendah) sebagian besar waktu dan hanya akan bangun untuk memperoleh data sensor atau untuk berbicara dengan node lain. Beberapa masalah penting seperti standarisasi, jenis jaringan, kualitas layanan, dan perlindungan data logistik adalah diharapkan dapat memberikan dasar untuk penelitian lebih lanjut tentang layanan logistik berbasis IoT.

DAFTAR ISI

Abbate S, Avvenuti M, Corsini P, Vecchio A (2009) Localization of shipping containers in ports and terminals using wireless sensor networks. In: International conference on computational science and engineering, pp 587-592

Agha KA, Bertin MH, Dang T, Guitton A, Minet P, Val T, Viollet JB (2009) Which wireless technology for industrial wireless sensor networks? The development of OCARI technology. IEEE Trans Industr Electron 56(10):4266-4278

Akyildiz I, Kasimoglu I (2004) A protocol suite for wireless sensor and actor networks. In: IEEE radio and wireless conference, Sept 2004, pp 11–14

Akyildiz I, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E (2002) A survey on sensor networks. IEEE Commun Mag 40(8):102–114

Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M, Ayyash M (2015) Internet of things: a survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Commun Surv Tutor 17(4):2347-2376

Alliance Z (2008) Zigbee specification. Zigbee Document 053474r13, Zigbee alliance, May 2008

Amgoth T, Jana PK (2015) Energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks. Comput Electr Eng 41:357-367

Anastasi G, Conti M, Di Francesco M (2011) A comprehensive analysis of the MAC unreliability problem in IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. IEEE Trans Industr Inf 7(1):52-65

Anastasi G, Conti M, Francesco MD, Neri V (2010) Reliability and energy efficiency in multi-hop IEEE 802.15.4/ZigBee wireless sensor networks. In: 2010 IEEE symposium on computers and communications (ISCC), June 2010, pp 336-341

Andrn F, Strasser T, Zoitl A, Hegny I (2012) A reconfigurable communication gateway for distributed embedded control systems, pp 3720-3726. https://doi.org/10.1109/iecon.2012. 6389299

At90can128 Data Sheet (2013) http://www.atmel.com (accessed 7/3/2015)

Athanasiou G (2012) Cooperative management of wireless mesh networks. In: Wireless Days (WD), 2012 IFIP, pp 1-6

Atzori L, Iera A, Morabito G (2010) The internet of things: a survey. Comput Netw 54(15):2787-2805

Bai Y, Zhou Z, Chen J (1996) The implementation of MIL-STD-1553B processor. In: ASIC 2nd international conference, pp 8/1–8/7, 21–24 Oct 1996

Ballot E, Montreuil B, Meller R (2014) The physical internet: the network of the logistics networks. La Documentation Française, Paris

Basagni S, Conti M, Giordano S, Stojmenovic I (2004) Mobile ad hoc networking. Wiley, San Francisco, CA, USA

Batalin MA, Sukhatme GS (2004) Using a sensor network for distributed multi-robot task allocation. In: Proceedings IEEE international conference on robotics and automation, vol 1, 158–164

Behroozi H, Alajaji F, Linder T (2008) On the optimal power-distortion region for asymmetric Gaussian sensor networks with fading. In: IEEE international symposium on information theory, July 2008, pp 1538–1542

Ben Arbia D, Alam M, Kadri A, Ben Hamida E, Attia R (2017) Enhanced IoT-based end-to-end emergency and disaster relief system. J Sens Actuator Netw 6(3):19

Ben Arbia D, Alam MM, Attia R, Ben Hamida E (2017) ORACE-Net: a novel multi-hop body-to-body routing protocol for public safety networks. Peer-to-Peer Netw Appl 10(3):726-749

Berge J (2001) Fieldbuses for process control: engineering, operation, and maintenance. ISA: Research Triangle Park, NC, USA

Bettendorf B (2004) Which industrial network for you (Industrial Networking). Putman Media Publications, p 34

Bisdikian C (2001) An overview of the bluetooth wireless technology. IEEE Commun Mag 39(12):86-94

Boterenbrood H (2000) Canopen high-level protocol for CAN-bus. NIKHEF, Amsterdam, 20 Mar 2000

Brooks P (2001) Ethernet/IP: industrial protocol. Retrieved 10 Jan 2005, from http://literature.
rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/enet-wp001_-en-p.pdf

Bunzel S (2011) Autosar-the standardized software architecture. Informatik-Spektrum 34(1):79-83

CAN Protocol Specification (2013). http://www.can-cia.org. Accessed 13 Feb 2015

Cao H, Ma J, Zhang G, Zhang J, Ren G (2010) Marine main engine remote control system with redundancy can bus based on distributed processing technology, in: 2010 International Conference on Intelligent Control and Information Processing, ICICIP, pp 638-640. http://dx. doi.org/10.1109/ICICIP.2010.5564343

Cavalieri S, Monforte S, Tovar E, Vasques F (2002) Multi-master profibus-DP modelling and worst-case analysis based evaluation. In: Proceedings of the 15th IFAC world congress on automatic control, Barcelona, Spain, 2002

Cavalieri S, Panno D (1998) A novel solution to interconnect Fieldbus systems using IEEE Wireless Lan technology. Comput Standards Interfaces 20(1):9–23

Chang J-Y (2015) A distributed cluster computing energy-efficient routing scheme for internet of things systems. Wirel Pers Commun 82(2):757-776

Chang-kun H (1996) A distributed control system of ship diesels, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT'96, pp 1-5. http://dx.doi.org/10.1109/ ICIT.1996.601528

Chao H, Chen Y, Wu J (2011) Power saving for machine to machine communications in cellular networks. In: 2011 IEEE GLOBECOM workshops (GC Wkshps), Dec 2011, pp 389-393

Chen C, Lee S, Shen Q (1995) An analytical model for the container loading problem. Eur J Oper Res 80(1):68-76

Chen D, Nixon M, Mok A (2010) WirelessHART: real-time mesh network for industrial automation, 1st edn. Springer Publishing Company, Incorporated

Chen D, Xia L, Wang H (2008) Modeling and Simulation of Monitor-Control Network in Ship Power Station, pp 384-388. http://dx.doi.org/10.1109/PEITS.2008.97

Chen MND, Mok A (2010) WirelessHART: real-time mesh network for industrial automation, 1st edn. Springer Publishing Company, Incorporated

Cheng YC, Robertazzi TG (1988) Distributed computation with communication delay (distributed intelligent sensor networks). IEEE Trans Aerosp Electron Syst 24(6):700-712. https:// doi.org/10.1109/7.18637

Choi D, Kim DS (2008) Wireless fieldbus for networked control systems using lr-wpan, Int J Control Autom Syst 6(1):119

Choi D-H, Lee JI, Kim D-S, Park WC (2006) Design and implementation of wireless Fieldbus for networked control systems. In: SICE-ICASE, IEEE international joint conference, 2006, pp 1036–1040

Civerchia F, Bocchino S, Salvadori C, Rossi E, Maggiani L, Petracca M (2017) Industrial internet of things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications. J Ind Inf Integr

Colson S, Hoff H (2005) Ultra-wideband technology for defence applications. In: IEEE international conference on ultra-wideband, pp 615-620, Sept 2005

Colson S, Hoff H (2005) Ultra-wideband technology for defence applications. In: IEEE international conference on ultra-wideband, pp 615-620, Sept 2005

Corrigan S (2002) Introduction to the controller area network (CAN). Texas Instruments Appli- cation Report, SLOA101

Cramer R-M, Win M, Scholtz R (1998) Impulse radio multipath characteristics and diversity reception. IEEE Int Conf Commun 3:1650-1654

Crowley K, Frisby J, Edwards S, Murphy S, Roantree M, Diamond D (2004) Wireless temperature logging technology for the fishing industry. In: Proceedings IEEE sensors, Oct 2004, pp 571–574

Cucej Z, Gleich D, Kaiser M, Planinsic P (2004) Industrial networks. In: 46th international symposium electronics in Marine, 2004, pp 59–66

Cui S, Madan R, Goldsmith A, Lall S (2005) Joint routing, MAC and link layer optimization in sensor networks with energy constraints. In: IEEE international conference on communications, ICC 2005, vol 2, May 2005, pp 725-729

Culler D, Estrin D, Srivastava M (2004) Guest editors' introduction: overview of sensor networks. Computer 37(8):41–49

D.C.W.A. Engineer for Transceivers (2014) Can Bit Timing to Optimize Performance, vol 48, September 2014 (URL http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/48-09/CAN_ bit_timing.html)

DDC Corporation (1999) MIL-STD-1553 designer's guide

De Pellegrini F, Miorandi D, Vitturi S, Zanella A (2006) On the use of wireless networks at low level of factory automation systems. IEEE Trans Ind Inform 2(2):129–143

Decotignie J-D (1999) Some future directions in Fieldbus research and development, In: Field- bus technology, Springer, Berlin, pp 308–312

Decotignie J-D (2002) Wireless Fieldbusses–a survey of issues and solutions. In: Proceedings 15th IFAC world congress on automatic control (IFAC), 2002

Department of defense interface standard for digital time division command/response multiplex data bus (l975)

Dhondge K, Shorey R, Tew J (2016) HOLA: heuristic and opportunistic link selection algorithm for energy efficiency in industrial internet of things (IIoT) systems. In: 2016 8th international conference on communication systems and networks (COMSNETS), Jan 2016, pp 1-6

Ding J, Sivalingam K, Kashyapa R, Chuan LJ (2003) A multi-layered architecture and protocols for large-scale wireless sensor networks. In: IEEE 58th vehicular technology conference, vol 3, Oct 2003, pp 1443-1447

Ding S, Murakami N, Tomiyama H, Takada H (2005) A GA-based scheduling method for FlexRay systems. In: Proceedings of the 5th ACM international conference on embedded software, ser. EMSOFT '05, ACM, New York, USA, pp 110-113

Ding S, Tomiyama H, Takada H (2008) An effective ga-based scheduling algorithm for Flexray systems. IEICE Trans Inf Syst E91-D(8):2115-2123

Dinh NQ, Kim D-S (2012) Performance evaluation of priority CSMA-CA mechanism on ISA100.11a wireless network. Comput Stand Interface 34(1):117–123. ISSN: 0920-5489

Djiev S. Industrial networks for communication and control. https://data.kemt.fei.tuke.sk/SK_ rozhrania/en/industrial%20networks.pdf

Dong X, Ergen M, Varaiya P, Puri A (2003) Improving the aggregate throughput of access points in IEEE 802.11 wireless LANs. In: 28th annual IEEE international conference on local computer networks, pp 682-690, Oct 2003

Du W, Navarro D, Mieyeville F (2015) Performance evaluation of IEEE 802.15.4 sensor networks in industrial applications. Int J Commun Syst 28(10):1657-1674

El-Hoiydi A (2002) Spatial TDMA and CSMA with preamble sampling for low power ad hoc wireless sensor networks. In: Seventh international symposium on computers and communications, pp 685-692

Elloy J-P, Simonot-Lion F et al. (2002) An architecture description language for in-vehicle embedded system development. In: 15th IFAC world congress, Barcelona, Spain, 2002

Endres E, Mller C, Shadrin A, Tverdyshev S (2010) Towards the formal verification of a distributed real-time automotive system. In: NASA formal methods, ser. NASA conference proceedings, NASA/CP-2010-216215, pp 212-216

Fantoni D (1999) A never-ending story: the Fieldbus standardization. Automazione e Strumen- tazione 47(11):69–75

Farsi M, Barbosa M (2000) CANopen implementation: application to industrial networks. Research Studio Press ltd

Feuerstein MJ, Blackard KL, Rappaport TS, Xia H (1994) Path loss, delay spread, and outage models as functions of antenna height for microcellular system design. IEEE Trans Veh Technol 43(3):487–498

Fontana R (2004) Recent system applications of short-pulse ultra-wideband (UWB) technology. IEEE Trans Microw Theory Tech 52(9):2087-2104

Fontana R (2004) Recent system applications of short-pulse ultra-wideband (UWB) technology. IEEE Trans Microw Theory Tech 52(9):2087-2104

Galloway B, Hancke G (2013) Introduction to industrial control networks. IEEE Commun Surveys Tutorials 15(2):860–880

Galloway B, Hancke GP (2013) Introduction to industrial control networks. IEEE Commun Surv Tutorials 15(2):860-880

Gereziher WA, Dong-Seong K (2017) Distributed control system for ship engines using dual fieldbus, Computer Standards & Interfaces, vol 50, pp 83-91

Goliya A (2003) Dynamic adaption of DCF and PCF mode of IEEE 802.11 WLAN. Ph.D. dissertation, School of Information Technology, Indian Institute of Technology, Bombay

Guerrero C, Rodriguez-Navas G, Proenza J (2002) Hardware support for fault tolerance in triple redundant can controllers, in: 9th International Conference on Electronics, Circuits and Systems, vol 2, pp 457-460. http://dx.doi.org/10.1109/ICECS.2002.1046195

Guohuan L, Hao Z, Wei Z (2009) Research on designing method of can bus and modbus protocol conversion interface. In: International conference on future biomedical information engineering, pp 180–182, Dec 2009

Haehniche J, Rauchhaupt L (2000) Radio communication in automation systems: the R-Fieldbus approach. In: IEEE international workshop on factory communication systems, 2000, pp 319–326

Hao Q, Brady D, Guenther BD, Burchett J, Shankar M, Feller S (2006) Human tracking with wireless distributed pyroelectric sensors. IEEE Sens J 6(6):1683–1696

Hashimoto N, Isshiki N, Iguchi M, Morisaki M, Ishii K (2006) Assets location management solution based on the combination of SmartLocator and RFID. NEC Tech J 1:92-96

Hayashi H, Hasegawa T, Demachi K (2009) Wireless technology for process automation. In: ICCAS-SICE, Aug 2009, pp 4591–4594

He X, Wang Q, Zhang Z (2011) A survey of study of Flexray systems for automotive net. In: International conference on electronic and mechanical engineering and information technology (EMEIT), vol 3, pp 1197-1204

Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H (2002) An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Trans Wirel Commun 1(4):660-670

Hoa TD, Kim D-S (2013) Data forwarding algorithm over lossy links in wireless sensor networks. IEICE Commun Expr 2(10):453–458. ISSN: 2187-0136

Hochmuth P (2005) GM cuts the cords to cut costs. Mobility wirel Art Techworld

Huang J, Meng Y, Gong X, Liu Y, Duan Q (2014) A novel deployment scheme for green internet of things. IEEE Internet Things J 1(2):196-205

Immoreev I, Fedotov P (2002) Ultra wideband radar systems: advantages and disadvantages. In: IEEE conference on ultra wideband systems and technologies, pp 201-205, May 2002

Immoreev I, Fedotov P (2002) Ultra wideband radar systems: advantages and disadvantages. In: IEEE conference on ultra wideband systems and technologies, pp 201-205, May 2002

International Organization for Standardization (2003) Road vehicles: controller area network: part 1: data link layer and physical signalling, ISO 11898-1

International Organization for Standardization (2003) Road vehicles: controller area network: part 2: high-speed medium access unit, ISO 11898-2

International Organization for Standardization (2003) Road vehicles: controller area network: part 3: low-speed, fault-tolerant, medium dependent interface, TC 22/SC 3/WG 1, ISO/PRF 11898-3

International Organization for Standardization (2004) Road vehicles: controller area network: part 4: time-triggered communication, ISO 11898-4

J K-W, L J-W, P J-H, K SY, H-C Park, J-S Lee (2010) Development of network platform for integrated information exchange on shipboard, in: IJCSNS Int J Comput Sci Netw Secur 10 Jan 2010

Jamieson K, Balakrishnan H, Tay YC (2003) SIFS: a MAC protocol for event-driven wireless sensor networks. Technical report

Jessen J, Peter Schwefel NH, Hamdan A (2007) Markov chain-based performance evaluation of Flexray dynamic segment. In: 6th international workshop on real time networks (RTN 07)

Ji Jao S (2004) Design of 1553B decoder based on FPGA. In: Microcontroller & embedded system, pp 42–44

Johansson KH, Törngren M, Nielsen L (2005) Vehicle applications of controller area network

Juanole G (2002) Quality of service of communication networks and distributed automation: Models and performances. In: Proceedings of 15th triennial IFAC world congress, 2002

Karapistoli E, Pavlidou F-N, Gragopoulos I, Tsetsinas I (2010) An overview of the IEEE 802.15.4a standard. IEEE Commun Mag 48(1):47-53

Kay S, Michels J, Chen H, Varshney P (2006) Reducing probability of decision error using stochastic resonance, IEEE Signal Process. Lett. 13(11):695-698. http://dx.doi.org/10.1109/ LSP.2006.879455

Kevan T (2005) Wireless sensors. Sensors Magazine online, Aug 2005

Kim B, Park K (2009) Probabilistic delay model of dynamic message frame in Flexray protocol. IEEE Trans Consum Electron 55(1):77-82

Kim D-S, Choi D-H, Mohapatra P (2009) Real-time scheduling method for networked discrete control systems. Control Eng Pract 17(5):564-570

Kim D-S, Lee YS, Kwon WH, Park HS (2003) Maximum allowable delay bounds of networked control systems. Control Eng Pract 11(11):1301-1313. https://doi. org/10.1016/s0967-0661(02)00238-1 (URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0967066102002381)

Kim D-S, Lee YS, Kwon WH, Park HS (2003) Maximum allowable delay bounds of networked control systems. Control Eng Practice 11(11):1301–1313

Kopetz H (1991) Event-triggered versus time-triggered real-time systems. In: Lecture notes in computer science, operating systems of the 90s and beyond, vol 563. Springer, Heidelberg, Germany, pp 87-101

Kruger CP, Hancke GP (2014) Implementing the internet of things vision in industrial wireless sensor networks. In: 12th IEEE international conference on industrial informatics (INDIN) 2014, July 2014, pp 627-632

Kshetrimayum R (2009) An introduction to UWB communication systems. IEEE Potentials 28(2):9-13

Kulkarni S (2004) TDMA service for sensor networks. In: 24th international conference on distributed computing systems workshops, Mar 2004, pp 604-609

Laha A, Cao X, Shen W, Tian X, Cheng Y (2015) An energy efficient routing protocol for device-to-device based multihop smartphone networks. In: 2015 IEEE international conference on communications (ICC), June 2015, pp 5448-5453

Lahaie IJ (ed) (1992) Ultrawideband radar: SPIE proceedings, vol 1631, Jan 1992

Lawrenz W (1997) CAN system engineering: from theory to practical applications. Springer

Lee D, Allan J, Thompson HA, Bennett S (2001) PID control for a distributed sys- tem with a smart actuator, Control Eng Pract 9(11):1235-1244. http://dx.doi.org/10.1016/ S0967-0661(01)00069-7 (pID control. URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0967066101000697)

Lee H, Yi DK, Lee JS, Park G-D, Lee JM (2010) Marine engine state monitoring system using distributed precedence queue mechanism in CAN networks, in: Proceedings of the Third International Conference on Intelligent Robotics and Applications, ICIRA 2010, Shanghai, China, November 10-12, 2010, Part I, Springer, Berlin, Heidelberg, pp 237-245. http://dx.doi. org/10.1007/978-3-642-16584-9_22

Lee J, Lee J (2010) Scheduling of can-based network for marine engine state monitoring, in: The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2010

Levitt LJ, Fundamental communication range limitation of UWB communications for military application. Aviation and Missile Research, Development, and Engineering Center Redstone Arsenal, AL 35898-5000

Li H, Zhou Y, Tian L, Wan C (2010) Design of a hybrid RFID/GPS-based terminal system in vehicular communications. In: 6th international conference on wireless communications networking and Mobile Computing (WiCOM), pp 1-4

Li S, Xu LD, Zhao S (2015) The internet of things: a survey. Inf Syst Front 17(2):243-259

Lin C-Y, Tseng Y-C, Lai T (2006) Message-efficient in-network location management in a multi-sink wireless sensor network. In: International conference on sensor networks, ubiqui- tous, and trustworthy computing, vol 1, no 2, pp 8–14, June 2006

Lin P, Qiao C, Wang X (2004) Medium access control with a dynamic duty cycle for sensor networks. In: IEEE wireless communications and networking conference, vol 3, Mar 2004, pp 1534-1539

Lin Qing YX et al (1999) Field bus and network integration, test control technique

Lin Y, Meller R, Ellis K, Thomas L, Lombardi B (2014) A decomposition-based approach for the selection of standardized modular containers. Int J Prod Res 52(15):4660-4672

Lingqi L, Hanasaki K, Xiangyu W, Yanbin P, Zheng L, Youhua W (1999) Integration of fieldbus into DCS. In: 38th annual conference proceedings of the SICE 1999, pp 1043-1046. http://dx. doi.org/10.1109/SICE.1999.788695

Liu L, Hua C, Chen C, Guan X (2015) Relay selection for three-stage relaying scheme in clustered wireless networks. IEEE Trans Veh Technol 64(6):2398-2408

Long NB, Nhon T, Kim DS (2016) Rate-estimation-based relay selection scheme for large-scale wireless networks. IET Commun 10(12):1501-1507

Lu G, Krishnamachari B, Raghavendra C (2004) An adaptive energy-efficient and low-latency mac for data gathering in wireless sensor networks. In: Proceedings of 18th international parallel and distributed processing symposium, Apr 2004

Luo T, Motani M, Srinivasan V (2009) Cooperative asynchronous multichannel mac: design, analysis, and implementation. IEEE Trans Mob Comput 8(3):338-352

Lynch A, Genello B, Wicks C (2007) UWB perimeter surveillance. IEEE Aerosp Electron Syst Mag 22(1):8-10

Lynch A, Genello B, Wicks C (2007) UWB perimeter surveillance. IEEE Aerosp Electron Syst Mag 22(1):8-10

Matkurbanov P, Lee S, Kim D-S (2006) A survey and analysis of wireless Fieldbus for industrial environments. In: SICE-ICASE, international joint conference, IEEE, 2006, pp 5555–5561

McFarlane D, Sheffi Y (2003) The impact of automatic identification on supply chain operations. Int J Logist Manag 14(1):1-17

McKinnon A, Browne M, Whiteing A, Piecyk M (eds) (2015) Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics. Kogan Page Publishers, UK

Meller R, Lin Y, Ellis K (2012) The impact of standardized metric physical internet contain- ers on the shipping volume of manufacturers. In: Proceedings of 14th IFAC symposium on information control problems in manufacturing, Bucharest, Romania, pp 364-371

Miorandi D, Vitturi S (2004) Analysis of master-slave protocols for real-time industrial communications over IEEE 802. 11 WLANS. In: 2nd IEEE international conference on industrial informatics, INDIN'04, 2004, pp 143–148

Modbus application protocol specification V1.1a. Available at http://www.modbus.org, June 2004

Modbus messaging on TCP/IP: implementation guide V1.0a. Available at http://www.modbus.org, June 2004

Modbus Over Serial Line (2013) http://www.modbus.org. (accessed 20/5/2015)

Modbus over serial line: specification and implementation guide V1.0. Available at http://www.modbus.org, Dec 2002

Modbus Protocol Specification (2013) http://www.can-cia.org (accessed 2/3/2015)

Modi A (2013) Novel design of directive ultra wide band right angle triangular sheet antenna. In: International conference on microwave and photonics (ICMAP), pp 1-3, Dec 2013

Modi A, Gehani A (2012) Novel design of ultra wideband vertical slotted triangular (vst) sheet antenna. In: 5th international conference on computers and devices for communication (CODEC), pp 1-3, Dec 2012

Montreuil B (2011) Toward a physical internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. Logist Res 3(2-3):71-87

Montreuil B, Ballot E, Tremblay W (2015) Modular design of physical internet transport, handling and packaging containers. In: Smith et al (ed) Progress in material handling research vol 13, MHI, Charlote, NC, USA, to appear

Montreuil B, Meller R, Ballot E (2010) Towards a physical internet: the impact on logistics facilities and material handling systems design and innovation. In: Gue K et al (eds) Progress in material handling research. Material Handling Industry of America, USA

Morel P, Croisier A (1995) A wireless gateway for Fieldbus. In: Sixth IEEE international symposium on, vol 1. IEEE, 1995, pp 105–109

Morel P, Croisier A, Decotignie J-D (1996) Requirements for wireless extensions of a FIP Fieldbus. In: Emerging technologies and factory automation, EFTA'96. Proceedings, vol 1, pp 116–122

Murakami HTMK, Liyama S, Hosotani I (2007) A static scheduling method for distributed automotive control systems. IPSJ Trans Adv Comput Syst 48:203-215

Murdork JR, Koenig JR (2001) Open systems avionics network to replace MIL-STD-1553. IEEE AESS Syst Mag, 34–36

Nekoogar F, Farid D (2012) Characteristics and limitations of conventional RFIDs. In: Ultra-wideband radio frequency identification systems. Springer, Boston, MA, pp 25-49

Nessa A, Kadoch M, Hu R, Rong B (2012) Towards reliable cooperative communications in clustered ad hoc networks. In: Global communications conference (GLOBECOM), 2012 IEEE, Dec 2012, pp 4090-4095

Neumann P (1999) Locally distributed automation–but with which Fieldbus system? Assembly Autom 19(4):308–312

Neumann P (2007) Communication in industrial automation what is going on? Control Eng Prac 15(11):1332–1347

Neumann P, Diedrich C, Simon R (2002) Engineering of field devices using device descriptions. In: Proceedings IFAC world congress, 2002

Noh DH, Kim DS (2014) Message scheduling on can bus for large-scaled ship engine systems, IFAC Proc. 47(3):7911-7916

Nugroho DA, Prasetiadi A, Kim D-S (2014) Male-silkmoth-inspired routing algorithm for large-scale wireless mesh networks. J Commun Netw (JCN). IF: 0.747, ISSN: 1976-5541

Open DeviceNet Vendors Association (ODVA). https://www.odva.org/

Palattella MR, Accettura N, Vilajosana X, Watteyne T, Grieco LA, Boggia G, Dohler M (2013) Standardized protocol stack for the internet of (important) things. IEEE Commun Surv Tutorials 15(3):1389-1406. Third 2013

Pan M, Yue H, Li P, Fang Y (2012) Throughput maximization of cooperative wireless mesh networks using directional antennas. In: 1st IEEE international conference communications in China (ICCC), pp 10-14

Park H-S, Kim D-S, Kwon W-H (2002) A scheduling method for network-based control systems. IEEE Trans Control Syst Technol 10(3):318-330. IF: 2.521, ISSN: 1063-6536

Partner R, THOB T, NTU D. D B3. 5-specification of residential gateway enhancements

Patni ML (2004) Ultra-wideband: the next generation personal area network technology. Computer Systems Limited, Feb 2004

Pielli C, Biason A, Zanella A, Zorzi M (2016) Joint optimization of energy efficiency and data compression in TDMA-based medium access control for the IoT. In: 2016 IEEE GLOBECOM workshops (GC Wkshps), Dec 2016, pp 1-6

Pizzica S, Raytheon Company (2001) Open systems architecture solutions for military avionics testing. IEEE AESS Syst Mag, 45–47 No. 301 Institute of Aeronautics and Astronautics, Application note for MIL-HDBK-1553 multiple data bus

Pop T, Pop P, Eles P, Peng Z, Andrei A (2006) Timing analysis of Flexray communication protocol. In: 18th euromicro conference on real-time systems, pp 11, 216

Quang PTA, Kim D-S (2014) Throughput-aware routing for industrial sensor networks: application to ISA100.11a. IEEE Trans Industr Inf 10(1):351-363

Quang PTA, Kim D-S (2015) Clustering algorithm of hierarchical structures in large-scale wireless sensor and actuator networks. J Commun Netw 17(5):473-481

Quang PTA, Kim D-S (2015) Clustering algorithm of hierarchical structures in large-scale wireless sensor and actuators networks. J Commun Netw. IF: 0.747, ISSN: 1976-5541

Quang PTA, Kim D-S (2015) Clustering algorithm of hierarchical structures in large-scale wireless sensor and actuators networks. J Commun Netw. ISSN: 1976–5541

Ran P, Wang B, Wang W (2008) The design of communication convertor based on CAN bus, in: IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2008, pp 1-5. http://dx.doi. org/10.1109/ICIT.2008.4608607

Rauchhaupt L (2002) System and device architecture of a radio based Fieldbus—the R-Fieldbus system. In: IEEE international workshop on factory communication systems, 2002, pp 185–192

Robb S (1999) CAN bit timing requirements. Motorola Semiconductor Application Note, AN1798

Robert Borsh GmbH (1991) CAN Specification Version 2.0, Part A. Stuttgart, Germany

Röhrig C, Spieker S (2008) Tracking of transport vehicles for warehouse management using a wireless sensor network. In: International conference on intelligent robots and systems, pp 3260-3265

Rugin R, Mazzini G (2004) A simple and efficient MAC-routing integrated algorithm for sensor network. In: IEEE international conference on communications, vol 6, June 2004, pp 3499-3503

Safwat A, Hassanein H, Mouftah H (2003) ECPS and E2LA: new paradigms for energy efficiency in wireless ad hoc and sensor networks. In: IEEE global telecommunications conference GLOBECOM'03, vol 6, Dec 2003, pp 3547-3552

Sakkila L, Rivenq A, Tatkeu C, El-Hillali Y, Ghys J-P, Rouvaen JM (2010) Methods of target recognition for UWB radar. In: IEEE intelligent vehicles symposium (IV), pp 949-954, June 2010

Sallez Y, Montreuil B, Ballot E (2015) On the activeness of physical internet containers. In: Borangiu T, Thomas A, Trentesaux D (eds) Service orientation in holonic and multi-agent manufacturing, vol 594. Springer, New York, pp 259-269

Sarraj R, Ballot E, Pan S, Montreuil B (2014) Analogies between internet network and logistics service networks: challenges involved in the interconnection. J Intell Manuf 25(6):1207-1219

Schmidt E, Schmidt K (2009) Message scheduling for Flexray protocol: the dynamic segment. IEEE Trans Veh Technol 58(5):2160-2169

Schmidt K, Schmidt E (2009) Message scheduling for Flexray protocol: the static segment. IEEE Trans Veh Technol 58(5):2170-2179

Shavazi A, Abzari M, Mohammadzadeh A (2009) A research in relationship between ICT and SCM. Eng Technol 50:92-101

Shenhua Y, Minjie Z, Xinghua W, Chunsen C (2010) Design and implementation of intelligent monitoring system for ship-hull status based on CAN bus 1 384-388. http://dx.doi.org/10. 1109/ICOIP.2010.217

Shi C, Zhao H, Garcia-Palacios E, Ma D, Wei J (2012) Distributed interference-aware relay selection for ieee 802.11 based cooperative networks. IET Netw 1(2):84-90

Silva FA (2014) Industrial wireless sensor networks: applications, protocols, and standards [book news]. IEEE Ind Electron Mag 8(4):67-68

Simonot-Lion F (1999) Une contribution a la modelisation et´ a la validation d'architectures temps reel, HDR thesis, INPL, Nancy, France, 1999

Singh S, Motani M (2012) Cooperative multi-channel access for 802.11 mesh networks. IEEE J Sel Areas Commun 30(9):1684-1693

Siwiak K (2001) Ultra-wide band radio: introducing a new technology, In: VTS 53rd IEEE vehicular technology conference, vol 2, pp 1088-1109

Siwiak K (2001) Ultra-wide band radio: introducing a new technology. In: IEEE VTS 53rd vehicular technology conference, vol 2, pp 1088-1093

Solano WM, Junell J, Schmalzel JL, Shummard KC (2004) Implementation of wireless and intelligent sensor technologies in the propulsion test environment. In: Proceedings IEEE con- ference on sensor for industry, Jan 2004, pp 135–138

Son ND, Tan DD, Kim D-S (2012) Backoff algorithm for time critical sporadic data in industrial wireless sensor networks. In: International conference on advanced technologies for commu- nications (ATC), 2012, Oct 2012, pp 255-258

Song Y, Zhang C, Fang Y (2007) Throughput maximization in multi-channel wireless mesh access networks. In: IEEE international conference on network protocols, pp 11-20

Spieker S, Röhrig C (2008) Localization of pallets in warehouses using wireless sensor networks. In: 16th mediterranean conference on control and automation, pp 1833-1838

Stenerson J (1999) Industrial networks. In: Stewart CE (ed) Sensors and communications fundamentals of programmable logic controllers (2nd edn). Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp 367-392

Suzuki T, Tasaka S (2001) Performance evaluation of priority-based multimedia transmission with the PCF in an IEEE 802.11 standard wireless LAN. In: 12th IEEE international symposium on personal, indoor and mobile radio communications, vol 2, pp 70-77

Tan DD, Kim D-S (2014) Dynamic traffic-aware routing algorithm for multi-sink wireless sensor networks. Wirel Netw 20(6):1239-1250. IF: 1.055, ISSN: 1572-8196

Tan DD, Kim D-S (2014) Dynamic traffic-aware routing algorithm for multi-sink wireless sensor networks. Wirel Netw 20(6):1239–1250. IF: 1.055, ISSN: 1572-8196

Tan DD, Kim D-S (2015) Interference-aware relay assignment scheme for multi-hop wireless networks for wireless networks. Wirel Netw 1-13. IF: 1.055, ISSN: 1570-8705

Tang C, Song L, Balasubramani J, Wu S, Biaz S, Yang Q, Wang H (2014) Comparative investigation on CSMA/CA-based opportunistic random access for internet of things. IEEE Internet Things J 1(2):171-179

Tavakoli H, Miic J, Naderi M, Miic V (2013) Energy-efficient clustering in IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. In: 33rd IEEE international conference on distributed computing systems workshops (ICDCSW), July 2013, pp 262-267

Tay YC, Jamieson K, Balakrishnan H (2004) Collision-minimizing CSMA and its applications to wireless sensor networks. IEEE J Sel Areas Commun 22(6):1048-1057

Technology@Intel Magazine (2005) Expanding usage models for wireless sensor networks, Aug 2005, pp 4–5

Temple C (2003) Protocol overview. In: FlexRay international workshop, Detroit

Thiesse F, Dierkes M, Fleisch E (2006) LotTrack: RFID-based process control in the semiconductor industry. IEEE Pervasive Comput 5:47-53

Thomesse JP (1999) Fieldbuses and interoperability. Control Eng Pract 7(1):81–94

Thomesse JP (2000) Radio communication in automation systems: the R-Fieldbus approach. In: IEEE international workshop on factory communication systems, 2000, pp 319–326

Thomesse J-P (2002) Fieldbuses and quality of service. In: 5th Portuguese conference on automatic control-controlo, pp 10–14

Tindell K, Burns A, Wellings A (1995) Calculating controller area network (can) message response times. Control Eng Pract 3(8):1163–1169

Tran M-P, Minh Thu PT, Lee H-M, Kim D-S (2015) Effective spectrum handoff for cognitive UWB industrial networks. In: ETFA WIP, Luxembourg, 8-11 Sept 2015

Tubaishat M, Madria S (2003) Sensor networks: an overview. IEEE Potentials 22(2):20–23

US Department of Energy (2004) Sensors and automation: Eaton wireless sensor network for advanced energy management solutions, June 2004

Vakil S, Dong M, Liang B (2010) Effect of cluster size selection on the throughput of multi-hop cooperative relay. In: Vehicular technology conference fall (VTC 2010-Fall), 2010 IEEE 72nd, Sept 2010, pp 1-5

van Dam T, Langendoen K (2003) An adaptive energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks. In: Proceedings of the 1st international conference on embedded networked sensor systems, series. SenSys'03, pp 171-180

Verdone R (2008) Wireless sensor networks. In: Proceedings of the 5th European conference, Bologna, Italy

Voss W The future of CAN/CANopen and the industrial ethernet challenge. ESD Electronics, Inc., USA. http://www.rtcgroup.com/whitepapers/files/TheFutureofCAN.pdf

W. W. Group (2008) Draft standard ISA100. 11a. International Society of Automation, May 2008

Wang K, Peng D, Song L, Zhang H (2014) Implementation of modbus communication protocol based on arm coretx-m0, in: 2014 IEEE International Conference on System Science and Engineering, ICSSE, pp 69-73. http://dx.doi.org/10.1109/ICSSE.2014.6887907

Wang K, Wang Y, Sun Y, Guo S, Wu J (2016) Green industrial internet of things architecture: an energy-efficient perspective. IEEE Commun Mag 54(12):48-54

Wang Z (2006) Research of bus communications in integrated avionics system based on MIL-STD-1553B. NanJing University of Science and Technology

Willig A, Kubisch M, Hoene C, Wolisz A (2002) Measurements of a wireless link in an industrial environment using an IEEE 802.11—compliant physical layer. IEEE Trans Ind Electron 49(6):1265–1282

Willig A, Matheus K, Wolisz A (2005) Wireless technology in industrial networks. Proc IEEE 93(6):1130-1151

Willig A, Matheus K, Wolisz A (2005) Wireless technology in industrial networks. Proc IEEE 93(6):1130–1151

Winance M (2007) Being normally different changes to normalization processes: from alignment to work on the norm. Disabil Soc 22(6):625–638

Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std., 2012

Xie M, Wang X (2008) An energy-efficient TDMA protocol for clustered wireless sensor networks. In: CCCM'08. ISECS international colloquium on computing, communication, control, and management, vol 2, Aug 2008, pp 547-551

Xu LD, He W, Li S (2014) Internet of things in industries: a survey. IEEE Trans Industr Inf 10(4):2233-2243

Yang D, Gidlund M, Shen W, Xu Y, Zhang T, Zhang H (2013) CCA embedded TDMA enabling acyclic traffic in industrial wireless sensor networks. Ad Hoc Netw 11(3):1105-1121

Yang F, Wang Z, Hung YS, Gani M (2006) H infinity control for networked systems with random communication delays. IEEE Trans Autom Control 51(3):511-518. https://doi.org/10. 1109/TAC.2005.864207

Yang J (1995) The system of modem military aviation electronic communications. Aeronaut Comput Tech, 11–15

Yang Y, Cao S (2014) Multiplex TDMA link assignment with varying number of sensors in industrial wireless sensor networks. In: 2014 international conference on identification, information and knowledge in the internet of things, Oct 2014, pp 242-247

Ye W, Heidemann J, Estrin D (2004) Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks. IEEE/ACM Trans Netw 12(3):493-506

Yoo S, Chong PK, Kim D, Doh Y, Pham ML, Choi E, Huh J (2010) Guaranteeing real-time services for industrial wireless sensor networks with IEEE 802.15.4. IEEE Trans Ind Electron 57(11):3868-3876

Yook JK, Tilbury DM, Soparkar NR (2002) Trading computation for bandwidth: reducing communication in distributed control systems using state estimators. IEEE Trans Control Syst Technol 10(4):503-518. https://doi.org/10.1109/tcst.2002.1014671

Youssef M, Vasan A, Miller R (2002) Specification and analysis of the DCF and PCF protocols in the 802.11 standard using systems of communicating machines. In: 10th IEEE international conference on network protocols, pp 132-141, Nov 2002

Zeng H, Di Natale M, Ghosal A, Sangiovanni-Vincentelli A (2011) Schedule optimization of time-triggered systems communicating over Flexray static segment. IEEE Trans Industr Inf 7(1):1-17

Zhai C, Zou Z, Chen Q, Xu L, Zheng L-R, Tenhunen H (2016) Delay-aware and reliability- aware contention-free MF-TDMA protocol for automated RFID monitoring in industrial IoT. J Ind Inf Integr 3:8-19

Zhang B (2006) On the formal verification of flexray communication protocol. In: Merz S, Nipkow T (eds) Automatic verification of critical systems, Nancy/France, pp 184-189

Zhang D, Li G, Zheng K, Ming X, Pan ZH (2014) An energy balanced routing method based on forward-aware factor for wireless sensor networks. IEEE Trans Industr Inf 10(1):766-773

Zhang D, Wang X, Song X, Zhang T, Zhu Y (2015) A new clustering routing method based on PECE for WSN. EURASIP J Wirel Commun Netw 2015(1):162

Zhang D, Zheng K, Zhang T, Wang X (2015) A novel multicast routing method with minimum transmission for WSN of cloud computing service. Soft Comput 19(7):1817-1827

Zhang D, Zhu Y, Zhao C, Dai W (2012) A new constructing approach for a weighted topology of wireless sensor networks based on local-world theory for the internet of things (IOT). Comput Math Appl 64(5):1044-1055 (Advanced Technologies in Computer, Consumer and Control)

Zhang J, Orlik PV, Sahinoglu Z, Molisch AF, Kinney P (2009) UWB systems for wireless sensor networks. IEEE

Zhang Y, He S, Chen J (2016) Data gathering optimization by dynamic sensing and routing in rechargeable sensor networks. IEEE/ACM Trans Netw 24(3):1632-1646

Zheng D, Ge W, Zhang J (2009) Distributed opportunistic scheduling for ad hoc networks with random access: an optimal stopping approach. IEEE Trans Inf Theory 55(1):205-222

Zheng L (2010) Industrial wireless sensor networks and standardizations: the trend of wireless sensor networks for process automation. In: Proceedings of SICE annual conference, Aug 2010, pp 1187–1190

Zhou J, Zhang H, Zhou H (2015) Localization of pallets in warehouses using passive RFID system. J Central South Univ 22(8):3017-3025

Zorzi M (2004) A new contention-based mac protocol for geographic forwarding in ad hoc and sensor networks. In: IEEE international conference on communications, vol 6, June 2004, pp 3481-3485

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
KATA PENGANTAR ..... **iii**
DAFTAR ISI ..... **iv**
BAGIAN I JARINGAN KONTROL INDUSTRI 1
BAB 1 GAMBARAN UMUM JARINGAN KONTROL INDUSTRI 2
1.1 Pendahuluan 2
1.2 Arsitektur Jaringan Kontrol Industri 3
1.3 Persyaratan Jaringan Kontrol Industri 5
1.4 Teknologi Komunikasi untuk Jaringan Kontrol Industri 7
1.5 Tren dan Isu 13
1.6 Kesimpulan 14
BAB 2 PROTOKOL FLEXRAY: TUJUAN DAN FITUR 16
2.1. Pendahuluan 16
2.2. Sistem FlexRay 17
2.3. Penjadwalan Pesan untuk Sistem FlexRay 19
2.4. Verifikasi dan Validasi 23
2.5. Perangkat Lunak dan Perangkat Keras 24
2.6. Kesimpulan 26
BAB 3 KOMUNIKASI MENGGUNAKAN CONTROLLER AREA NETWORK PROTOKOL 27
3.1. Pendahuluan 27
3.2. Ikhtisar Protokol CAN 28
3.3. Fitur Utama 34
3.4. Kesimpulan 36
BAB 4 SISTEM KONTROL TERDISTRIBUSI MENGGUNAKAN DUAL FIELDBUS 37
4.1. Pendahuluan 37
4.2. Sistem Kontrol Terdistribusi Redundan 40
4.3. Implementasi dan Uji Eksperimental 48
4.4. Kesimpulan 53
BAB 5 MENERAPKAN MODBUS DAN ANTARMUKA KONVERSI PROTOKOL CAN BUS 55
5.1. Pendahuluan 55
5.2. Modbus dan CAN Bus 56
5.3. Desain Antarmuka Konversi 60
5.4. Kesimpulan 61
BAB 6 PROTOKOL MIL-STD-1553 DALAM APLIKASI KECEPATAN DATA TINGGI 62
6.1. Pendahuluan 62
6.2. Pekerjaan Terkait 62

6.3. Infrastruktur Protokol Jaringan MIL-STD-1553 64
6.4. Analisis Perbandingan Teknologi Bus Data Berkecepatan Tinggi 68
6.5. Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan 74
BAB 7 PENELITIAN DAN DESAIN UNIT KONTROL BUS PROTOKOL 1553B **.....** 76
7.1 Pendahuluan 76
7.2 1553B Protokol 76
7.3 Desain BCU 78
7.4 Emulasi Logika 82
7.5 Kesimpulan 83
BAGIAN II JARINGAN SENSOR NIRKABEL INDUSTRI 84
BAB 8 GAMBARAN UMUM TENTANG JARINGAN SENSOR NIRKABEL 85
8.1 Pendahuluan 85
8.2 Jaringan Sensor Nirkabel 86
8.3 Topologi Jaringan dari Jaringan Sensor Nirkabel 87
8.4 Aplikasi WSN 89
8.5 Fitur Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel 92
8.6 Teknologi dan Aplikasi yang Ada 94
8.7 Kesimpulan 95
BAB 9 Fieldbus Nirkabel untuk Jaringan Industri 96
9.1 Pendahuluan 96
9.2 Teknologi Fieldbus Nirkabel 99
9.3 Masalah di Jaringan Fieldbus Nirkabel 103
9.4 Kesimpulan 104
BAB 10 JARINGAN SENSOR NIRKABEL UNTUK APLIKASI INDUSTRI 105
10.1. Pendahuluan 105
10.2. Jaringan Sensor Nirkabel Industri 106
10.3. Standar Industri 107
10.4. Jaringan Sensor Nirkabel untuk Aplikasi Industri 112
10.5. Kesimpulan 115
BAB 11 PROTOKOL MAC UNTUK JARINGAN SENSOR NIRKABEL HEMAT ENERGI 117
11.1. Pendahuluan 117
11.2. Properti Jaringan Sensor Terkait Lapisan MAC 117
11.3. Pertimbangan Akses Ganda dalam Properti Jaringan Sensor 119
11.4. Protokol Lapisan MAC yang Diusulkan 123
11.5. Masalah Terbuka dan Kesimpulan 130
BAB 12 AKSES MULTI-SALURAN KOPERASI UNTUK JARINGAN NIRKABEL INDUSTRI BERBASIS STANDAR 802.11 132
12.1. Pendahuluan 132

12.2. Peningkatan Throughput 132
12.3. Penundaan Akses 137
12.4. Mengurangi Dampak Interferensi Antar-simpul 140
12.5. Kesimpulan 141
BAB 13 KONTROL AKSES MENENGAH 802.11 DCF DAN PCF 142
13.1. Pendahuluan 142
13.2. Protokol Akses Media IEEE 802.11 142
13.3. Perbandingan Kinerja 145
13.4. Kesimpulan 146
BAB 14 TEKNOLOGI ULTRA-WIDEBAND DAN APLIKASINYA 148
14.1. Pendahuluan 148
14.2. Sejarah dan Latar Belakang 148
14.3. Konsep UWB 150
14.4. Teknologi UWB 152
14.5. Teknologi dan Standar 154
14.6. Aplikasi UWB 158
14.7. Kesimpulan 160
BAB 15 TEKNOLOGI ULTRA-WIDEBAND UNTUK APLIKASI MILITER 161
15.1. Pendahuluan 161
15.2. Tinjauan Teknis Sistem Ultra-Wideband 162
15.3. Teknologi Ultra-Wideband untuk Aplikasi Militer 162
15.4. Kesimpulan 166
BAB 16 PERUTEAN REAL-TIME SADAR ENERGI UNTUK INTERNET OF THINGS INDUSTRI SKALA BESAR 168
16.1. Pendahuluan 168
16.2. Karya Terkait 170
16.3. Model Sistem 172
16.4. Skema Perutean Waktu Nyata Sadar Energi (ERRS) 175
16.5. Evaluasi Kinerja 180
16.6. Kesimpulan 186
BAB 17 KERANGKA PERSEPSI 3D UNTUK TATA LETAK KONTAINER BERTUMPUK DI INTERNET FISIK 187
17.1. Pendahuluan 187
17.2. Tinjauan Pustaka 188
17.3. Masalah dan Metodologi 190
17.4. Rumusan Matematika dari Soal CSP 193
17.5. Aplikasi dan Hasil 196
17.6. Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan 200

BAB 18 KERANGKA INFORMASI LAYANAN INTERNET OF THINGS 202
18.1. Pendahuluan 202
18.2. Infrastruktur IoT untuk Internet Fisik 205
18.3. Arsitektur Berorientasi Layanan untuk IOT 214
18.4. Manajemen Komposit kontainer: Studi Kasus 216
18.5. Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan 219
DAFTAR PUSTAKA 220

BAGIAN I
JARINGAN KONTROL INDUSTRI

Jaringan kontrol industri memainkan peran penting dalam kontribusi sistem kontrol pada industri karena memungkinkan semua komponen dalam sistem saling berhubungan serta dapat memantau dan mengontrol peralatan secara fisik di lingkungan industri. Perkembangan teknologi elektronik membuat seluruh sistem kontrol mekanis digantikan oleh sistem kontrol digital yang mengadopsi dari mikroprosesor daya dan pengontrol digital. Pergerakan sistem digital ini membutuhkan teknologi komunikasi dan protokol komunikasi dan unit pengontrolyang sesuai secara inheren. Pada buku ini dibahas tentang inti jaringan kontrol industri, yang terdiri dari protokol fieldbus dalam standar IEC 61158 sebagai serial digital, multi-drop, bus data untuk dapat berkomunikasi dengan unit kontrol industri dan perangkat instrumentasi lainnya.

Bagian I dari buku yang berjudul Jaringan Kontrol Industri ini mencakup enam proposal penelitian yang mencakup jaringan kontrol fieldbus utama (yaitu, CAN, FlexRay, dan Modbus). Pada bagian ini, teknologi fieldbus tersebut ditinjau untuk menunjukkan kinerja utama dan tantangan ketika menerapkan teknologi komunikasi tersebut dalam sistem kontrol industri. Tantangan tersebut membuka potensi penelitian untuk menemukan solusi terobosan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas layanan sistem. Salah satunya dijelaskan dalam proposal penelitian kami, yang mengusulkan untuk menggunakan teknologi bus medan ganda, CAN, dan Modbus untuk memenuhi penundaan waktu yang signifikan untuk sistem kontrol terdistribusi mesin kapal.

BAB 1
GAMBARAN UMUM JARINGAN KONTROL INDUSTRI

1.1 Pendahuluan

Secara umum, industri dapat dibagi menjadi dua kategori: proses, dan sektor manufaktur. Industri proses berurusan dengan proses yang melibatkan aliran material yang sangat besar baik secara kontinu, atau terputus-putus dan seringkali memiliki persyaratan keselamatan yang ketat (misalnya, pembangkit listrik, tanur semen, produksi petrokimia), sedangkan industri manufaktur berkaitan dengan produksi diskrit. Mencapai *throughput* maksimum barang yang diproduksi, biasanya, aspek yang sangat penting dalam sektor industri tersebut. Secara praktis, sistem industri harus diinovasi untuk meningkatkan pemantauan produksi dan kontrol kualitas dan pada saat yang sama menjaga biaya operasi serendah mungkin.

Inovasi ini telah terjadi dalam beberapa dekade terakhir karena kemajuan teknologi informasi dan komunikasi yang memungkinkan sistem industri untuk menyesuaikan dengan kebutuhan tersebut. Inovasi tersebut telah mengurangi secara signifikan tenaga kerja manual yang digantikan dengan mesin otomatis yang lebih cepat dan lebih andal, peralatan di sebagian besar operasi industri.

Hal ini juga memberikan baik pabrik maupun pabrik dengan pemantauan yang diperlukan yang mereka berdua cari untuk pengawasan dan kontrol kualitas yang lebih baik. Memperkenalkan semua jumlah unit otomatis ini ke dalam pabrik membutuhkan metode yang efisien untuk menghubungkan mereka bersama-sama, untuk berkomunikasi satu sama lain, dan untuk mentransfer berbagai data pengawasan ke monitor. Hal ini menyebabkan pengenalan jaringan komunikasi ke sektor industri.

Berdasarkan fungsi khusus, jaringan industri terdiri dari tiga komponen kontrol utama yang meliputi *Programmable Logic Controllers (PLC), Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), dan Distributed Control System (DCS)*. PLC tidak lain adalah komputer digital yang dapat bekerja di lingkungan industri yang berbahaya. Sistem berbasis prosesor tersebut mengambil input dari perangkat pembangkit data seperti sensor dan mengomunikasikannya dengan seluruh unit produksi dan kemudian menampilkan output ke HMI (*Human-Machine Interfaces*). PLC dapat mengontrol seluruh proses manufaktur sambil memastikan kualitas layanan (QoS) yang diperlukan dan fungsi kontrol presisi yang hebat. Sistem SCADA terutama digunakan untuk penerapan sistem pemantauan dan kontrol suatu peralatan atau pabrik di beberapa industri seperti pembangkit listrik, penyulingan minyak dan gas, pengendalian air dan limbah, telekomunikasi, dll.

Dalam sistem ini, pengukuran dilakukan di bawah lapangan atau tingkat proses di pabrik dengan jumlah unit terminal jarak jauh dan kemudian data ditransfer ke komputer host pusat SCADA sehingga informasi proses atau manufaktur yang lebih lengkap dapat diberikan dari jarak jauh. Sistem ini menampilkan data yang diterima tentang jumlah HMI

dan menyampaikan kembali tindakan kontrol yang diperlukan ke unit terminal jarak jauh di pabrik proses. DCS terdiri dari sejumlah besar pengontrol lokal di berbagai bagian area kontrol pabrik dan terhubung melalui jaringan komunikasi berkecepatan tinggi. Dalam sistem kontrol DCS, akuisisi data, dan fungsi kontrol dilakukan melalui sejumlah pengontrol DCS yang merupakan unit berbasis mikroprosesor yang didistribusikan secara fungsional dan geografis di atas pabrik dan terletak di dekat area di mana fungsi kontrol atau pengumpulan data dilakukan.

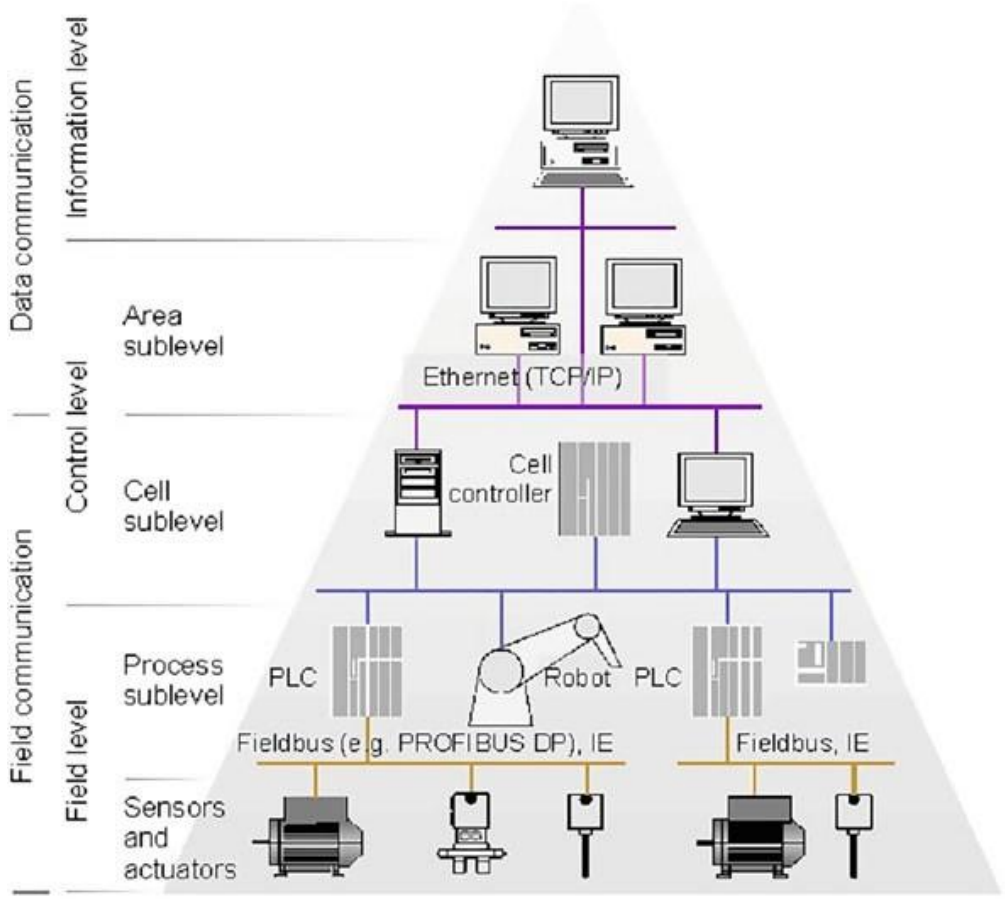
Ketiga elemen ini berhubungan dengan instrumen lapangan (yaitu, sensor, aktuator), perangkat lapangan pintar, PC kontrol pengawasan, pengontrol I/O terdistribusi, dan HMI (Human-Machine Interface). Perangkat ini terhubung dan dikomunikasikan oleh jaringan komunikasi yang kuat dan efektif yang disebut sebagai jaringan industri. Dalam jaringan ini, data atau sinyal kontrol ditransmisikan baik melalui media kabel atau nirkabel. Kabel yang digunakan untuk transmisi data kabel termasuk twisted pair, kabel koaksial atau serat optik. Sementara itu, gelombang radio digunakan untuk mengirimkan data dalam jaringan nirkabel industri.

1.2 Arsitektur Jaringan Kontrol Industri

Umumnya, jaringan kontrol industri dibangun dalam topologi hierarkis seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.1 termasuk tiga tingkat dasar: tingkat informasi, kontrol, perangkat. Setiap level memiliki persyaratan unik yang memengaruhi jaringan mana yang digunakan untuk level tertentu.

Tingkat perangkat terdiri dari perangkat lapangan seperti sensor dan aktuator proses dan mesin. Tugas level ini adalah mentransfer informasi antara perangkat ini dan elemen proses teknis seperti PLC. Transfer informasi dapat berupa digital, analog, atau hybrid.

Nilai-nilai yang diukur dapat bertahan untuk waktu yang lebih lama atau dalam waktu yang singkat. Semua perangkat terhubung ke satu kabel. Kabel biasanya memiliki konduktor untuk daya, sinyal perangkat, dan pelindung. Ada banyak jaringan komunikasi tingkat lapangan lain yang tersedia yang dicirikan oleh berbagai faktor seperti waktu respons, ukuran pesan, dll. Pesan biasanya kecil bila dibandingkan dengan jaringan lain. Karena persyaratan deterministik dan pengulangan, pesan dapat diprioritaskan sehingga informasi yang lebih kritis ditransmisikan terlebih dahulu. Saat ini, teknologi fieldbus merupakan jaringan komunikasi tercanggih yang digunakan di tingkat lapangan karena memfasilitasi kontrol terdistribusi di antara berbagai perangkat smart field dan pengontrol. Jaringan ini mendukung Carrier-Sense Multiple Access dengan protokol *Arbitration on Message Priority (*CSMA/AMP) untuk memenuhi persyaratan.



Gambar 1.1 Arsitektur Tiga Tingkat Jaringan Kontrol Industry

Tingkat kontrol melibatkan mesin jaringan, sel kerja, dan area kerja. Ini adalah level di mana *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) diimplementasikan. Jika pabrik perakitan otomotif digunakan sebagai contoh, tingkat jaringan ini adalah tempat sistem kontrol individu akan diberikan informasi tentang merek, model, dan opsi yang akan disertakan pada kendaraan sehingga pengontrol dapat menjalankan program yang sesuai untuk merakit kendaraan dengan benar. Data seperti waktu siklus, suhu, tekanan, volume, dll., juga dikumpulkan pada tingkat ini. Tugas dari level ini termasuk mengonfigurasi perangkat otomatisasi, memuat data program dan data variabel proses, menyesuaikan variabel yang ditetapkan, mengawasi kontrol, menampilkan data variabel pada HMI, pengarsipan historis, dll.

Level kontrol jaringan harus mencapai persyaratan yang telah ditentukan sebelumnya. seperti deterministik, berulang, waktu respons singkat, transmisi kecepatan tinggi, panjang data pendek, sinkronisasi mesin, dan penggunaan data penting secara konstan. Determinisme adalah kemampuan untuk memprediksi secara akurat kapan data akan dikirimkan, dan pengulangan adalah kemampuan untuk memastikan bahwa waktu transmisi konsisten dan tidak terpengaruh oleh perangkat yang terhubung ke jaringan.

Karena kendala deterministik dan pengulangan, protokol kontrol akses menengah oleh CSMA/CD (*Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection*) di jaringan Ethernet

tradisional tidak memadai, sehingga diperlukan jenis akses jaringan yang berbeda. *Local Area Network* (LAN) banyak digunakan sebagai jaringan komunikasi pada level ini untuk mencapai karakteristik yang diinginkan. Ethernet dengan protokol TCP/IP sebagian besar digunakan sebagai jaringan tingkat kontrol untuk menghubungkan unit kontrol dengan komputer.

Selain itu, jaringan ini bertindak sebagai bus kontrol untuk mengkoordinasikan dan menyinkronkan antara berbagai unit pengontrol. Beberapa fieldbus juga digunakan pada level ini sebagai bus kontrol seperti PROFIBUS dan ControlNet. Dalam jaringan seperti itu, protokol *Concurrent Time Domain Multiple Access (CTDMA)* digunakan berdasarkan algoritma time-slice yang mengatur peluang setiap node untuk mentransmisikan dalam interval jaringan. Penyesuaian jumlah waktu untuk interval jaringan memberikan waktu yang konsisten dan dapat diprediksi untuk transmisi data.

Tingkat informasi adalah tingkat atas dari sistem industri yang mengumpulkan informasi dari tingkat yang lebih rendah, yaitu tingkat kontrol. Ini berkaitan dengan volume data yang besar yang tidak digunakan secara konstan atau waktu kritis. Jaringan skala besar ada di level ini. Jadi WAN Ethernet biasanya digunakan sebagai jaringan tingkat informasi untuk perencanaan pabrik dan pertukaran informasi manajemen. Terkadang jaringan ini dapat terhubung ke jaringan industri lain melalui gateway.

1.3 Persyaratan Jaringan Kontrol Industri

Jaringan kontrol industri beroperasi di sepanjang dua paradigma yang berbeda: dipicu oleh waktu dan dipicu oleh peristiwa. Dalam aplikasi yang dipicu waktu, sistem bekerja secara berkala. Mereka pertama-tama menunggu awal periode (atau beberapa offset dari awal), mengambil sampel input mereka, dan menghitung beberapa algoritma sesuai dengan input dan beberapa data set point yang diterima dari komputer yang lebih tinggi dalam hierarki. Mereka kemudian membuat hasilnya tersedia di output. Input dan output sesuai dengan sensor dan aktuator pada level terendah dalam hierarki. Pada tingkat yang lebih tinggi, masukan sesuai dengan status dan laporan penyelesaian dari tingkat yang lebih rendah berikutnya. Output adalah set poin atau perintah ke tingkat yang lebih rendah. Aplikasi akuisisi dan distribusi adalah kasus khusus. Aplikasi akuisisi tidak memiliki output untuk proses tetapi menyimpan hasil output secara internal. Aplikasi distribusi tidak memiliki input dan menghitung algoritma dari informasi yang disimpan.

Periodisitas tidak wajib tetapi sering diasumsikan karena menyederhanakan algoritma. Misalnya, sebagian besar teori kontrol digital mengasumsikan periodisitas. Selain itu, ia mengasumsikan jitter terbatas pada periode dan latensi terbatas dari input instan ke output instan. Aplikasi akuisisi dan distribusi memiliki persyaratan yang sama dalam hal periodisitas dan jitter.

Sementara itu, pada aplikasi yang dipicu peristiwa, sistem diaktifkan pada saat terjadinya peristiwa. Suatu peristiwa mungkin kedatangan pesan dengan perintah baru atau status penyelesaian atau perubahan input yang terdeteksi oleh beberapa sirkuit. Ketika suatu peristiwa diterima, aplikasi menghitung beberapa algoritma untuk menentukan jawaban yang sesuai. Jawabannya kemudian dikirim sebagai acara ke aplikasi lain secara lokal atau jarak jauh. Waktu yang berlalu antara pembangkitan peristiwa input dan

penerimaan jawaban yang sesuai harus dibatasi. Nilainya adalah bagian dari persyaratan pada aplikasi dan juga sistem komunikasi jika peristiwa harus diangkut melalui beberapa jaringan.

Selanjutnya, aplikasi harus dapat menilai beberapa urutan dalam kejadian acara. Hal ini biasanya tidak menjadi masalah ketika peristiwa tersebut terdeteksi dan diproses pada komputer yang sama. Ini menjadi masalah ketika peristiwa terdeteksi di lokasi berbeda yang dihubungkan oleh jaringan yang dapat menyebabkan beberapa penundaan variabel. Karena sejumlah besar data dapat dilewatkan melalui jaringan kontrol ini dan panjang pesan cenderung lebih lama, kecepatan transmisi data cenderung lebih cepat dibandingkan dengan jaringan fieldbus. Namun, karena mereka dapat digunakan untuk melewatkan data kritis waktu antara pengontrol, jaringan kontrol juga harus deterministik dan memenuhi kebutuhan yang bergantung waktu (biasanya disebut waktu nyata) dari aplikasi yang dimaksudkan. Determinisme dalam konteks jaringan didefinisikan sebagai: ada penundaan kasus terburuk yang ditentukan antara penginderaan item data dan pengirimannya ke perangkat pengontrol. Waktu nyata dalam konteks ini didefinisikan sebagai "cukup cepat untuk mencapai tujuan aplikasi," dan diukur sebagai waktu latensi. Determinisme dan latensi adalah persyaratan yang terpisah tetapi saling melengkapi. Baik determinisme dan latensi spesifik diperlukan untuk mencapai sinkronisasi.

Jika jaringan kontrol yang sama digunakan untuk bertukar data waktu nyata antara pengontrol dan informasi bisnis antara pengontrol dan sistem bisnis, jelas harus ada beberapa cara untuk mencegah informasi bisnis mengganggu respons deterministik waktu nyata. Banyak protokol kompleks telah dibangun untuk tujuan ini, tetapi sebagian besar jaringan kontrol hanya mengandalkan sifat dasar dari protokol jaringan yang dipilih. Biasanya, determinisme dicapai dengan mencegah tabrakan pesan dan membatasi panjang pesan maksimum. Latensi rendah dicapai dengan menggunakan media berkecepatan tinggi dan meminimalkan frekuensi sinyal harus disiarkan ulang, seperti dalam jaringan mesh.

Manfaat menggunakan protokol jaringan standar seperti *Transport Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) melalui jaringan Ethernet adalah biaya yang lebih rendah. Dengan hanya memilih kabel Ethernet standar dan menggunakan switch Ethernet full-duplex alih-alih hub pasif, jaringan kontrol yang dibangun di atas teknologi komoditas ini dapat menjamin bahwa tidak akan ada tabrakan jaringan, membuat jaringan seperti itu deterministik. Menggunakan kecepatan tinggi seperti 100 atau 1000 Mbps dan panjang paket maksimum Ethernet standar 1500 byte mencapai latensi rendah dan berarti bahwa aplikasi lain tidak dapat "memonopoli kabel", mencegah transfer data kritis waktu. Namun, Anda tetap harus menghitung! Ingat bahwa definisi waktu nyata dan determinisme mengharuskan jaringan harus menyediakan bandwidth untuk transfer data kritis waktu dalam waktu kurang dari periode waktu maksimum yang diizinkan untuk sistem kontrol. Misalnya, jika aplikasi bisnis mentransfer pesan Ethernet ukuran maksimum (1500 byte) pada 100 Mbps, jaringan akan diblokir untuk waktu maksimum sekitar 150an.

Biasanya besarnya penundaan ini dapat diterima baik untuk kontrol proses dan kebutuhan otomatisasi pabrik, tetapi mungkin tidak dapat diterima untuk kontrol gerak atau kontrol mesin. Alangkah baiknya jika jaringan kontrol dan jaringan fieldbus tidak dapat

digunakan untuk aplikasi yang sama, tetapi dapat digunakan. Alangkah baiknya juga jika jaringan kontrol selalu terbatas pada lingkungan bisnis atau ruang kontrol, tetapi semakin meluas ke lapangan dan lantai toko. Dalam beberapa kasus, jaringan kontrol digunakan dalam aplikasi yang biasanya membutuhkan fieldbus. Faktanya, semua jaringan kontrol dikembangkan dari satu atau lebih jaringan fieldbus dan menggunakan protokol lapisan aplikasi dan lapisan pengguna yang sama. Karena jaringan kontrol terkait dengan fieldbus, akan terus ada garis pemisah yang sangat longgar di antara mereka.

1.4 Teknologi Komunikasi untuk Jaringan Kontrol Industri

Untuk melaksanakan tugas-tugas jaringan yang diberikan, penting bagi perangkat untuk berkomunikasi. Teknologi komunikasi kabel tradisional telah memainkan peran penting dalam pemantauan industri dan jaringan kontrol. Dengan demikian, komunikasi ini dilakukan melalui sistem kabel *point-to-point.* Sistem seperti itu, bagaimanapun, melibatkan sejumlah besar kabel yang pada gilirannya memperkenalkan sejumlah besar titik kegagalan fisik, seperti konektor dan rangkaian kabel, sehingga menghasilkan sistem yang sangat tidak dapat diandalkan. Kelemahan ini mengakibatkan penggantian sistem point-to-point menggunakan teknologi komunikasi industri canggih. Bagian ini bertujuan untuk menyoroti teknologi utama yang digunakan dalam jaringan kontrol industri.

1.4.1 Fieldbus

Secara tradisional, sistem kontrol di pabrik dan pabrik bersifat analog. Mereka menggunakan koneksi langsung dari pengontrol ke aktuator atau transduser ke pengontrol dan didasarkan pada sinyal kontrol 4 hingga 20 mA. Ketika sistem menjadi lebih kompleks dan teknologi jaringan berkembang, akhirnya terjadi perubahan dari sistem analog ke sistem digital. Fieldbus dikembangkan untuk menyatukan semua komponen digital ini. Selama beberapa dekade terakhir, industri telah mengembangkan segudang protokol fieldbus (misalnya, Foundation Fieldbus H1, ControlNet, PROFIBUS, CAN, dll.). Dibandingkan dengan sistem point-to-point tradisional, fieldbus memungkinkan keandalan dan visibilitas yang lebih tinggi dan juga memungkinkan kemampuan, seperti kontrol terdistribusi, diagnostik, keselamatan, dan interoperabilitas perangkat.

Fieldbus adalah jaringan dan protokol digital yang dirancang untuk menggantikan sistem analog. Mereka pada dasarnya adalah LAN industri yang menghubungkan semua komputer, pengontrol, sensor, aktuator, dan perangkat lain sehingga mereka dapat berinteraksi satu sama lain. Sebuah kabel jaringan tunggal menggantikan lusinan atau bahkan ratusan kabel analog individu dalam sistem yang lebih tua. Protokol memungkinkan operator memantau, mengontrol, memecahkan masalah, mendiagnosis, dan mengelola semua perangkat dengan mudah dari lokasi pusat. Sementara fieldbus ini mengurangi pengkabelan dan meningkatkan keandalan dan fleksibilitas sistem, masalah lain telah dibuat: beberapa sistem berpemilik, dengan ketidakcocokan dan kurangnya interoperabilitas antara berbagai komponen. Perangkat yang dibuat untuk bekerja dengan satu fieldbus dan protokol tidak dapat bekerja dengan yang lain.

Banyak fieldbus telah dikembangkan. Beberapa upaya untuk membangun standar umum dilakukan tetapi tidak ada satu sistem atau standar pun yang pernah muncul.

ControlNet, DeviceNet, Foundation Fieldbus H1, HART, Modbus, PROFIBUS PA, dan CAN/ CAN open adalah fieldbus yang paling umum digunakan

1.4.1.1 Jaringan Kontrol

ControlNet adalah jaringan dan protokol industri yang didukung oleh Open DeviceNet Vendors Association (ODVA) [7]. Ini didasarkan pada Common Industrial Protocol (CIP), yang mendefinisikan pesan dan layanan yang akan digunakan dalam otomatisasi manufaktur. ControlNet menggunakan kabel coax RG-6 dengan konektor Bayonet Neill-Concelman (BNC) untuk lapisan fisik (PHY) dan mampu kecepatan hingga 5 Mbits/s menggunakan pengkodean Manchester. Topologinya adalah bus dengan maksimum 99 tetes mungkin. Waktunya memungkinkan suatu bentuk determinisme dalam aplikasi.

1.4.1.2 DeviceNet

DeviceNet adalah fieldbus lain yang didukung ODVA. Ini menggunakan teknologi jaringan area pengontrol (CAN) yang terkenal untuk PHY yang awalnya dikembangkan oleh Bosch untuk aplikasi otomotif. Protokol DeviceNet mirip dengan ControlNet dan juga menggunakan Common Industrial Protocol (CIP) di lapisan atas. Layer 1 dan 2 adalah CAN bus. Mediumnya adalah unshielded twisted pair (UTP) menggunakan format single-ended non-return-to-zero (NRZ) dengan level logika 0 V dan +5 V. Topologinya adalah bus dengan hingga 64 node yang diizinkan. Kecepatan data tergantung pada panjang bus dan dapat mencapai 1 Mbit/s pada 25 m hingga 125 kbit/s pada 500 m.

1.4.1.3 Pondasi Fieldbus H1

Awalnya dikembangkan oleh kelompok standar International Society of Automation (ISA) sebagai Foundation Fieldbus, SP50 adalah salah satu fieldbus digital sebelumnya untuk menggantikan loop 4 hingga 20 mA. Protokol ini diberi nama H1, yang menggunakan standar IEC 61158-2 untuk PHY dan dilengkapi kabel *twisted-pair* dengan kecepatan data dasar 31,25 kbit/s. Frame transmisi sinkron dengan pembatas *start* dan *stop*. Pengkodean adalah Manchester.

1.4.1.4 HART

HART singkatan dari *Highway Addressable Remote Transducer* adalah jalur komunikasi dua arah melalui *twisted pair*. Ini mempertahankan fungsionalitas analog 4-20 mA yang populer tetapi menambahkan sinyal digital. Sinyal digital berupa pembawa termodulasi *frekuensi shift keying* (FSK) yang menggunakan frekuensi modem Bell 202 lama 2200 Hz untuk 0 dan 1200 Hz untuk 1.

Kecepatan data adalah 1200 bit/s. Sinyal FSK adalah fase kontinu dan tidak mempengaruhi level sinyal analog karena bersifat ac. Juga, sinyal FSK adalah variasi 1-mA di sekitar level dc. Protokol menggunakan lapisan OSI 1 sampai 4 dan 7. Bagian digital dari komunikasi terutama digunakan untuk perintah, penyediaan, dan diagnostik.

Fieldbus HART populer karena kompatibel dengan peralatan 4 hingga 20 mA yang lebih lama sambil menambahkan kemampuan jaringan digital. Itu masih banyak digunakan. Instrumen medan HART yang umum seperti Perangkat Analog ADμCM360

terdiri dari pengontrol tertanam dan I/O untuk sensor seperti transduser tekanan dan sensor suhu data waktu nyata (RTD). Konverter analog-ke-digital (ADCs) 24-bit sigma-delta on-board mendigitalkan informasi sensor dan kemudian mengirimkannya ke AD5421, konverter digital-ke-analog (DAC) dan sumber arus 4 hingga 20 mA untuk koneksi ke kabel. Informasi digital juga dikirim ke modem AD5700 HART FSK.

1.4.1.5 Modbus

Modbus adalah protokol industri populer yang biasanya digunakan untuk komunikasi dengan PLC. Ini sederhana dan standarnya terbuka sehingga setiap pengguna dapat menggunakannya. Pada dasarnya, Modbus bekerja dengan antarmuka RS-232. Format dasar terdiri dari karakter asinkron yang dikirim dan diterima dengan UART. Modbus dapat dibawa melalui berbagai PHY dan sering dikemas dalam *Transmission Control Protocol/IP* (TCP/IP) dan ditransmisikan melalui Ethernet. Hal ini juga kompatibel dengan link nirkabel.

1.4.1.6 PROFIBUS

PROFIBUS, fieldbus lain yang banyak digunakan, dikembangkan di Jerman dan populer di seluruh dunia. Ada versi untuk periferal terdesentralisasi (DP) dan otomatisasi proses (PA). Protokol ini sinkron dan beroperasi di lapisan OSI 1, 2, 4, dan 7. Menggunakan RS-485, bit rate dapat berkisar dari 9,6 kbits/s hingga 12 Mbits/s. Dengan panjang bus hingga 1900 m, kecepatan data adalah 31,25 kbit/s.

1.4.1.7 CAN/ CANopen

Penggunaan *Controller Area Network* (CAN) masih didominasi penggunaannya yang luas di industri otomotif. Benteng lainnya adalah penggunaan sebagai lapisan fisik untuk protokol SAE J1939, dan CAN akan tetap menjadi solusi fieldbus yang paling sensitif terhadap biaya untuk sistem tertanam kecil.

Singkatnya, penggunaan CAN akan berlanjut di:

Mobil dan Truk
Dirgantara (mis., Satelit)
SAE J1939
Solusi Tertanam Kecil
Aplikasi Warisan

CANopen pada dasarnya adalah perangkat lunak tambahan untuk menyediakan fungsi manajemen jaringan ke CAN. Efek sampingnya adalah pengurangan bandwidth CAN. Aplikasi warisan CANopen ini adalah kontrol gerak dan Kontrol Mesin Industri.

CAN dan CANopen, digunakan sebagai sistem fieldbus untuk solusi yang disematkan. Keuntungan dari jaringan tersebut meliputi:

Keandalan dan Ketangguhan yang Ekstrim
Tidak Ada Tabrakan Pesan
Persyaratan sumber daya yang sangat rendah
Implementasi berbiaya rendah
Dirancang untuk aplikasi waktu nyata
Waktu pemulihan kesalahan yang sangat singkat
Dukungan profil perangkat (hanya CANopen)

Namun, ada beberapa kelemahan menggunakan CAN dan CANopen, yang terbesar adalah panjang jaringan yang terbatas (~120 kaki pada baud rate 1 Mbit/s). Kerugiannya termasuk panjang jaringan yang terbatas (tergantung pada baud rate), baud rate yang terbatas sebesar 1 Mbit/s, dan bandwidth yang terbatas.

1.4.2 Ethernet Industri

Selama bertahun-tahun, *Controller Area Network* (CAN) dan CANopen, protokol lapisan yang lebih tinggi berdasarkan CAN, telah terbukti menjadi solusi terbaik untuk jaringan tertanam industri berbiaya rendah. Namun, kekurangan yang paling jelas dari teknologi ini termasuk baud rate yang terbatas dan panjang jaringan yang terbatas. Teknologi Industrial Ethernet saat ini merupakan tantangan paling berat bagi CANopen sebagai teknologi jaringan industri berbiaya rendah pilihan untuk bisnis dan perusahaan selama beberapa dekade. Sejauh ini, ini adalah teknologi jaringan yang paling sukses dan paling banyak digunakan di dunia. Ini terjangkau dan dapat diandalkan dan didukung oleh serangkaian standar IEEE 802.3 yang kuat yang membuatnya tetap terkini. Selama 10 tahun terakhir, Ethernet telah menemukan jalannya ke dalam pengaturan industri untuk I/O dan jaringan. Hal ini secara bertahap menggantikan beberapa fieldbus dan jaringan kepemilikan atau bekerja dengan mereka.

Beberapa manfaat pindah ke Ethernet adalah:

- Lebih sedikit jaringan yang lebih kecil: Sebagian besar fieldbus dapat menghubungkan hingga 20–40 perangkat. Namun di luar itu, jaringan fieldbus terpisah diperlukan untuk lebih banyak perangkat dan untuk menghubungkan dua jaringan, jika memungkinkan. Dengan Ethernet, Anda dapat menghubungkan hingga 1000 perangkat di jaringan yang sama. Pengaturan ini meningkatkan efisiensi dan mengurangi kompleksitas jaringan.
- Biaya lebih rendah: Dengan banyak vendor Ethernet, harga peralatan kompetitif dan biaya keseluruhan untuk membangun jaringan biasanya lebih rendah daripada membangun jaringan fieldbus.
- Kecepatan lebih tinggi: Ethernet memiliki kemampuan kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada kebanyakan fieldbus. Meskipun kecepatan itu tidak selalu diperlukan, itu adalah keuntungan dan jaringan bertambah besar dan karena perangkat yang lebih cepat terhubung. Walaupun 10/100-Mbits Ethernet adalah yang paling umum, beberapa fasilitas industri telah ditingkatkan ke 1-Gbit/s Ethernet. Koneksi ke pabrik atau jaringan TI pabrik: Jaringan industri secara tradisional dipisahkan dari jaringan bisnis, tetapi perusahaan menemukan bahwa keuntungan terjadi ketika dua jaringan dapat saling berhubungan. Data dapat dikumpulkan dan digunakan untuk mengoptimalkan proses manufaktur atau membuat perbaikan atau keputusan yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan.
- Koneksi ke Internet: Ini mungkin tidak diinginkan, tetapi jika ya, Ethernet menyediakan cara yang sangat nyaman untuk mengirim dan menerima data melalui koneksi Internet.

Ada dua kelemahan utama menggunakan Ethernet dalam pengaturan industri. Pertama, perangkat keras tidak dirancang untuk lingkungan yang menuntut di pabrik dan pabrik proses. Suhu yang berlebihan, bahaya lingkungan, bahan kimia, debu, tekanan mekanis, dan kelembaban membuat peralatan tradisional kurang dapat diandalkan. Namun selama bertahun-tahun, pabrikan telah mengemas ulang peralatan Ethernet untuk bertahan dalam kondisi seperti itu dengan menambahkan rumah kelas industri dan elektronik yang lebih tangguh.

Bahaya lainnya adalah kebisingan yang berlebihan yang disebabkan oleh motor, sakelar daya, dan sumber lainnya. Pengkabelan diferensial Ethernet pada dasarnya tahan terhadap kebisingan. Itu dapat dibuat bebas noise dengan kabel berpelindung. Sebagian besar kabel industri hanya standar, tetapi kabel CAT5 atau CAT6 kelas lebih tinggi biasanya sudah cukup. Di sisi lain, konektor RJ-45 merupakan sumber masalah, terutama di lingkungan yang kotor dan dengan kelembapan tinggi. Konektor RJ-45 khusus telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini. Konektor ini menambahkan penutup yang tertutup kotoran dan lembab ke konektor RJ-45 yang ditingkatkan. Konektor ini memenuhi standar lingkungan IP67 yang kaku untuk lingkungan berbahaya.

Kerugian kedua adalah sifat non-deterministik yang melekat pada Ethernet. Banyak jaringan industri bergantung pada kondisi waktu yang harus terjadi dalam kerangka waktu tertentu. Banyak yang membutuhkan koneksi real-time atau sesuatu yang dekat dengannya. Determinisme berarti bahwa perangkat atau sistem dapat merespons dalam interval waktu minimum. Itu dapat merespons dalam waktu yang lebih singkat tetapi tidak lebih dari waktu yang ditentukan. Jika perangkat deterministik hingga 10 ms, maka yang kurang tidak apa-apa. Respons biasanya tidak harus berulang, tetapi itu tergantung pada aplikasinya.

Determinisme Ethernet sangat bervariasi. Ini adalah fungsi dari metode *Akses Carrier-Sense Multiple Access* dengan metode akses *Collision Detection* (CSMA/CD), panjang kabel, jumlah node, dan kombinasi hub, repeater, bridge, switch, dan router yang digunakan dalam sistem. Untuk meningkatkan respons deterministik, perancang sistem Ethernet industri harus menjaga kabel tetap pendek dan meminimalkan jumlah node, hub, dan jembatan. Sakelar dapat ditambahkan ke jaringan yang lebih besar untuk mengisolasi segmen yang berbeda, dan itu mengurangi jumlah tabrakan dan interaksi.

Determinisme juga dapat diimplementasikan atau ditingkatkan dalam beberapa kasus dengan menggunakan IEEE 1588 *Precision Time Protocol* (PTP). PTP memungkinkan sistem dengan jam untuk mencapai sinkronisasi di antara semua perangkat yang terhubung, memungkinkan transfer informasi waktu yang tepat dalam jaringan. Pencapan waktu dan kinerja mendekati waktu nyata dapat terjadi di beberapa aplikasi.

Fitur lain dari penerimaan penemuan *Ethernet* adalah *Power over Ethernet* (PoE). Didefinisikan oleh standar IEEE 802.3af dan 802.3at, ini memungkinkan transmisi daya dc melalui kabel Ethernet ke perangkat jarak jauh. Ini adalah manfaat utama di banyak pengaturan industri dan menghilangkan kebutuhan untuk memasang sumber daya di dekat beberapa sensor jarak jauh atau perangkat lain. Standar ini menetapkan tingkat daya hingga 15,4 atau 25,5 W, tetapi versi daya yang lebih tinggi hingga 51 W tersedia.

Akhirnya, beberapa versi Ethernet yang disempurnakan atau dimodifikasi telah dikembangkan untuk mengatasi masalah waktu Ethernet standar atau sekadar membuatnya lebih kompatibel dengan peralatan dan sistem yang ada. Ini termasuk EtherCAT, EtherNet/IP, Profinet, Foundation Fieldbus HSE (Ethernet berkecepatan tinggi), dan Modbus/TCP. Beberapa menggunakan protokol khusus sementara yang lain menggunakan TCP/IP.

EtherNet/IP adalah protokol lapisan aplikasi menggunakan CIP, yang mendefinisikan semua perangkat sebagai objek dan menentukan pesan, layanan, dan metode transfer. CIP kemudian dienkapsulasi dalam paket TCP atau User Datagram Protocol (UDP) untuk transfer melalui Ethernet.

Profinet adalah protokol lain yang menggunakan TCP/IP melalui Ethernet. Ini bukan PROFIBUS melalui Ethernet. Sebaliknya, ia menggunakan dua protokol yang berbeda: satu disebut Profinet CBA untuk sistem berbasis komponen dan Profinet IO untuk operasi I/O real-time. Profinet CBA dapat memberikan determinisme dalam kisaran 100 ms. Itu juga dapat memberikan determinisme hingga 10 ms. Versi Profinet IO yang disebut IRT untuk waktu nyata isokron dapat memiliki determinisme kurang dari 1 ms.

Foundation Fieldbus HSE menggunakan protokol H1 melalui TCP/IP. Ini juga menggunakan penjadwal khusus yang membantu menjamin pesan pada waktu yang diketahui untuk memastikan determinisme pada tingkat yang diinginkan.

EtherCAT menghilangkan mekanisme CSMA/CD dan menggantinya dengan paket pesan “telegram” baru yang dapat diperbarui dengan cepat. Perangkat jaringan dihubungkan dalam format cincin atau rantai daisy yang mengemulasi cincin. Saat data dilewatkan di sekitar ring, data pesan dapat dihapus atau disisipkan oleh node yang dialamatkan saat data sedang mengalir. Satu atau lebih telegram EtherCAT diangkut langsung oleh frame Ethernet atau dienkapsulasi ke dalam datagram UDP/IP. Determinisme 30 s dan kurang dapat dicapai dengan hingga 1000 node.

Modbus/TCP adalah protokol fieldbus Modbus populer yang dikemas dalam paket TCP/IP. Checksum Modbus digantikan oleh TCP/IP 32-bit checksum. Kemudian paket TCP/IP dibawa melalui Ethernet standar. Jelas, semua sistem ini tidak dapat dioperasikan satu sama lain. Tetapi mereka semua dapat hidup berdampingan pada LAN Ethernet yang sama karena semuanya sesuai dengan standar Ethernet Layer 1 PHY. Mereka yang menggunakan TCP/IP dapat dibuat interoperable dengan modifikasi perangkat lunak yang sesuai. Tabel 1.1 memberikan gambaran umum tentang berbagai protokol Ethernet industri.

Tabel 1.1 Perbandingan Berbagai Jaringan Ethernet Industry

	EtherCAT	**Ethetnet/IP**	**Powerlink**	**Modbus/TCP**
Organisasi Penjual	Grup Teknologi EtherCAT	Buka Organisasi Vendor DeviceNet	Ethernet Powerlink Grup Spesifikasi	Grup Modbus-IDA
Beranda	www.ethercat.org	www.odva.org	www.ethernet-powerlink.org	www.modbus-ida.org

Ketersediaan spesifikasi	Anggota menandatangani NDA	Gratis	Anggota	Gratis
Ketersediaan teknologi	Contoh Kode, ASIC, FPGA	Contoh Kode	Chip Ethernet Standar	Contoh Kode
Produk tersedia sejak	2003	2000	2001	1999
Struktur interaksi	Tuan/Budak	Server klien	Tuan/Budak	Server klien
Metode komunikasi	Satu bingkai untuk semua mitra komunikasi	Berorientasi pesan	Berorientasi pesan	Berorientasi pesan
Kecepatan transfer data eter	100 Mbit/dtk	100/10 Mbit/dtk	100 Mbit/dtk	100/10 Mbit/dtk
Topologi fisik	Garis, Daisy, Rantai, Pohon	Bintang	Bintang	Bintang, Pohon
Topologi logis	Buka Ring Bus	Bis	Cincin	Bis
Komponen infrastruktur	Beralih di antara segmen yang berbeda	Switch (hub dimungkinkan, tetapi tidak efisien)	Hub, tidak ada sakelar	Hub, sakelar
Profil perangkat	CANopen, SERCOS	DeviceNet, ControlNet	Bisa membuka	Tidak ada

1.5 Tren dan Isu

Bidang industri umumnya tertinggal dari sektor kelistrikan lainnya hanya karena kebutuhan teknologinya tidak mengikuti tren pasar konsumen atau perusahaan. Namun secara keseluruhan, sektor industri mengikuti tren umum dalam teknologi komunikasi. Tren dan masalah utama termasuk yang berikut:

- Penggunaan teknologi fieldbus yang berkelanjutan: Teknologi fieldbus adalah LAB digital industri. Mereka menghubungkan sensor, pengontrol, dan aktuator dari sebagian besar otomatisasi pabrik dan fasilitas kontrol proses. Meskipun pergerakan berkelanjutan ke konektivitas Ethernet dan nirkabel, terus ada pertumbuhan beberapa persen per tahun di pasar fieldbus.
- Pergerakan kuat ke Ethernet: Ethernet telah menjadi jaringan area lokal (LAN) pilihan untuk jaringan perusahaan dan bahkan konsumen selama beberapa dekade, dan mendominasi. Industri ini lambat untuk mengadopsinya tetapi sekarang telah menerimanya sepenuhnya. Sebagian besar upaya jaringan industri baru menggunakan beberapa bentuk Ethernet. Keandalannya yang telah terbukti, biaya

rendah, dan ketersediaan tinggi membuatnya sangat populer. Versi industri khusus dari Ethernet telah muncul untuk meningkatkannya untuk penggunaan industri.

- Pertumbuhan signifikan dalam konektivitas nirkabel: Industri lambat mengadopsi nirkabel meskipun banyak manfaatnya. Pengguna industri menganggap itu tidak dapat diandalkan dan tidak aman tetapi telah belajar sebaliknya sejak itu. Standar dan peralatan nirkabel yang baru dan lebih baik telah menjadikan nirkabel sebagai komponen kunci di sebagian besar pengaturan industri modern.
- Standar kepemilikan yang lebih sedikit dan peralatan: Selama beberapa dekade, kebutuhan komunikasi industri dipenuhi dengan banyak bus lapangan, antarmuka, dan peralatan berpemilik berbiaya tinggi, yang masih tertanam di banyak sistem. Namun, tren saat ini adalah standar terbuka dan Ethernet.
- Adopsi cepat model protokol Internet (IP): Tujuannya adalah untuk memberikan alamat IP pada sebagian besar peralatan industri sehingga perangkat dan peralatan dapat berkomunikasi melalui Ethernet dan Internet. Dengan ketersediaan IPv6, itu sekarang mungkin. Peningkatan penggunaan pengawasan video: keamanan telah menjadi masalah di banyak pabrik dan fasilitas, dan video berguna. Video juga memungkinkan peningkatan pemantauan yang tidak dapat disediakan oleh sensor sederhana.

Standardisasi Industri untuk Interoperabilitas: Sebagian besar pabrik, pabrik kontrol proses, dan fasilitas merupakan kumpulan nyata standar lama dan baru, analog dan digital, serta kepemilikan dan standar terbuka. Masalah besar adalah ketidakcocokan dan interoperabilitas peralatan yang berbeda seperti semua perangkat dan sistem dapat bekerja sama dengan mulus. Tantangan seperti itu mengarah pada standar, peralatan, dan perangkat lunak baru yang dikembangkan secara bertahap untuk mengatasi masalah tersebut.

1.6 Kesimpulan

Teknologi terus menerus dan cepat mengubah proses industri. Terkadang sulit bagi bisnis untuk mengintegrasikan teknologi baru ke dalam sistem yang ada. Dibutuhkan keahlian dan pelatihan profesional untuk menjalankan sistem yang baru diperkenalkan. Namun, dengan meningkatnya permintaan akan produk yang canggih dan berkualitas tinggi, bisnis harus cepat beradaptasi dan memanfaatkan kekuatan sistem otomasi yang muncul.

Melihat ke masa depan, tren paling menonjol yang muncul di industri ini adalah perpindahan ke jaringan nirkabel industri di semua tingkatan. Jaringan nirkabel semakin mengurangi volume kabel yang dibutuhkan (walaupun seringkali daya masih diperlukan), memungkinkan penempatan sensor di lokasi yang sulit, dan lebih memungkinkan penempatan sensor pada bagian yang bergerak seperti pada tooltips yang berputar pada beberapa ribu putaran per menit.

Masalah dengan migrasi ke nirkabel termasuk gangguan antara beberapa jaringan nirkabel, keamanan, dan keandalan dan determinisme transmisi data. Manfaat yang

diantisipasi di sejumlah domain (termasuk banyak di luar manufaktur) mendorong inovasi yang dapat dimanfaatkan oleh manufaktur, secara umum. Tidak dapat dibayangkan bahwa nirkabel akan membuat jalan raya yang signifikan menjadi kontrol jaringan dan bahkan keamanan selama 5-10 tahun ke depan.

BAB 2
PROTOKOL FLEXRAY: TUJUAN DAN FITUR

2.1 Pendahuluan

Dalam jaringan industri, banyak bagian pengontrol mekanis telah diganti dengan unit kontrol elektronik (ECU). Banyak ECU yang diimplementasikan dalam mode otomasi industri, dan jumlahnya terus bertambah. Jaringan komunikasi dalam kendaraan mengirimkan data sinyal yang dikemas dalam pesan. Sebagian besar pesan ini adalah pesan waktu nyata, yaitu pengiriman tepat waktu harus dijamin. Secara teknis, jadwal pesan yang telah dihitung sebelumnya harus disediakan untuk memenuhi persyaratan waktu tersebut. Selain itu, dengan mempertimbangkan pesatnya pertumbuhan jumlah ECU dan sinyal dalam elektronik otomotif, komunikasi harus efisien untuk memberikan ekstensibilitas sistem. Akibatnya, kompleksitas jaringan industri meningkat pesat. Berbagai jenis protokol komunikasi saat ini digunakan di mobil yang berbeda seperti Controller Area Network (CAN) dan FlexRay.

FlexRay adalah protokol komunikasi bandwidth tinggi baru untuk domain otomotif. Diharapkan sebagai bus generasi berikutnya untuk industri otomotif dan menjadi standar de facto untuk kecepatan tinggi. Fitur FlexRay yang paling luar biasa dapat dikaitkan seperti kecepatan data tinggi, perilaku yang dipicu oleh waktu/peristiwa, deterministik, toleransi kesalahan, dan redundansi. Seiring dengan perkembangan industri otomotif untuk kebutuhan yang lebih tinggi seperti lebih aman, lebih nyaman, handal, tuntutan kompleks pada saat yang sama dan meningkatkan memori, pengembangan unit kontrol elektronik (ECU) juga memainkan peran penting. ECU semakin banyak digunakan saat ini dan telah dikembangkan dari 8 bit hingga 32 bit.

Protokol FlexRay dapat mengimplementasikan pesan yang dipicu oleh waktu dan peristiwa. Dalam kasus pertama, aktivasi tugas dan transmisi bingkai pasti akan terjadi pada titik waktu yang telah ditentukan sebelumnya.

Dalam kasus lain, pesan real-time sporadis dihasilkan oleh kejadian peristiwa dan harus dikirim sebelum batas waktu mereka. Menurut metode ini, FlexRay dapat dibagi menjadi dua bidang utama penetapan prioritas untuk pekerjaan: segmen statis (SS) dan segmen dinamis (DS). Organisasi SS didasarkan pada operasi Time-Division Multiple Access (TDMA). Ini terdiri dari sejumlah slot statis berukuran sama (STS) dan mengirimkan pesan mengikuti pengidentifikasi bingkai unik (FID). Dalam metode statis, prioritas tetap dipilih untuk setiap pekerjaan di awal pengembangan. Selain itu, DS menggunakan skema flexible TDMA (FTDMA). Berbeda dengan SS, waktu saat pesan mulai dikirimkan tidak tetap, tetapi prioritas pesan ditetapkan dengan DS. DS dilakukan dalam slot dinamis (DYSs) yang ditumpangkan pada slot mini (MS). Ketika pesan ditransmisikan oleh DYS, panjang DYS sama dengan jumlah MS untuk transmisi pesan. Jika tidak, panjang DYS adalah satu MS.

2.2 Sistem FlexRay

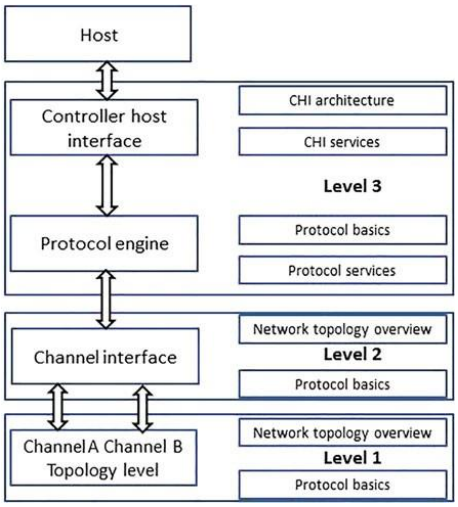
FlexRay dikembangkan untuk mobil generasi berikutnya oleh konsorsium yang didirikan oleh BMW, Bosch, DaimlerChrysler dan Philips pada tahun 2000. FlexRay adalah standar baru sistem komunikasi jaringan yang menyediakan komunikasi serial berkecepatan tinggi, bus yang dipicu waktu, dan toleransi kesalahan komunikasi antara perangkat elektronik untuk aplikasi otomotif masa depan. FlexRay mendukung skema pemicu waktu dan skema pemicu peristiwa opsional. Batas atas kecepatan data adalah 10 Mbps dan menyediakan dua saluran untuk redundansi (FlexRay Consortium, 2005). Protokol FlexRay pertama kali dirancang menggunakan SDL (Spesifikasi dan Bahasa Deskripsi). Kemudian, sistem didesain ulang menggunakan Verilog HDL berdasarkan sumber SDL. Selain itu, sistem FlexRay dikombinasikan dengan bintang aktif. Sistem gabungan diimplementasikan menggunakan ALTERA Excalibur ARM EPXA4F672C3. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang diterapkan beroperasi dengan sukses. Arsitektur FlexRay dibagi menjadi tiga level pada Gambar 2.1 berdasarkan protokol.

2.2.1 Tingkat 1—Topologi Jaringan

Di bagian ini, level 1 memperkenalkan ikhtisar topologi jaringan untuk FlexRay. Ini mendukung saluran tunggal / ganda dan tiga jenis topologi: tipe bus, tipe bintang, dan tipe hibrida yang dikombinasikan dengan tipe bus dan tipe bintang. Saluran ganda toleran terhadap kesalahan dengan membuat konfigurasi yang berlebihan. Selain itu, topologi tipe bintang digunakan untuk terhubung secara point-to-point untuk kecepatan data yang tinggi, dan mudah untuk mengurangi kegagalan.

2.2.2 Tingkat 2—Antarmuka

Di level 2, antarmuka FlexRay mendukung penjaga bus di antarmuka fisik termasuk penahanan kesalahan dan deteksi kesalahan dalam domain waktu. Kemudian, penjaga bus berinteraksi dengan pengontrol komunikasi dan prosesor host.



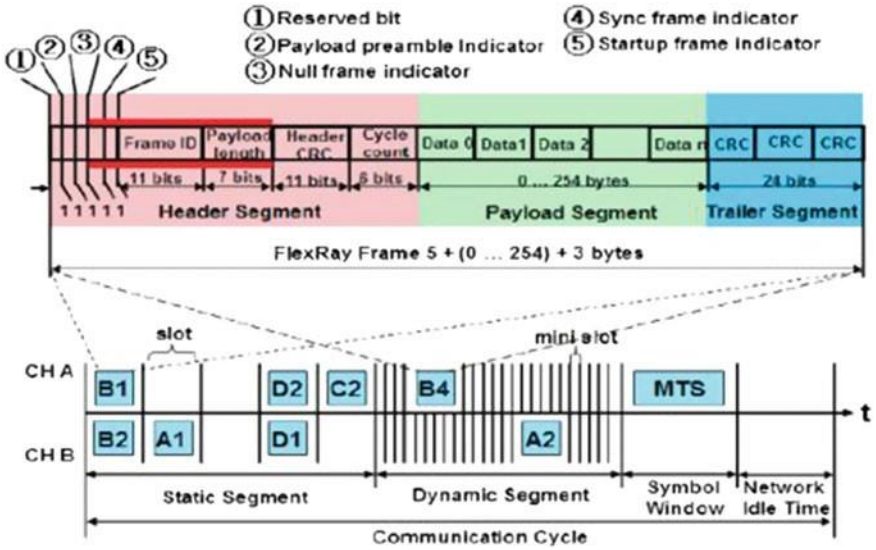
Gambar 2.1 Tingkat arsitektur FlexRay

2.2.3 Level 3—CHI dan Mesin Protokol

Level 3 berisi antarmuka host kontrol (CHI) dan mesin protokol. Mesin protokol juga disebut pengontrol komunikasi (CC). Arsitektur node ditunjukkan pada Gambar. 2.1.

Menurut, setiap node terdiri dari host dan communication controller (CC) yang dihubungkan oleh controller-host interface (CHI). CHI berfungsi sebagai buffer antara host dan CC. Host adalah bagian dari ECD tempat memproses pesan masuk dan menghasilkan pesan keluar. CC secara independen mengimplementasikan layanan protokol FlexRay.

Dalam protokol FlexRay, kontrol akses media didasarkan pada siklus komunikasi seperti Gambar 2.2. Siklus terdiri dari segmen statis (SS), segmen dinamis (DS), jendela simbol (SW), dan waktu idle jaringan (NIT). Organisasi SS didasarkan pada skema time-division multiple access (TDMA). Ini mentransmisikan pesan sesuai dengan jumlah tetap slot statis berukuran sama (STS) dan pengidentifikasi bingkai unik (FID). DS menggunakan pendekatan TDMA fleksibel (FTDMA). Ini dibagi menjadi slot mini. Komunikasi di segmen dinamis dilakukan dalam slot dinamis (berlawanan dengan slot statis dengan ukuran tetap di segmen statis). SW dan NIT menyediakan waktu untuk transmisi informasi pengendalian internal dan komputasi terkait protokol.



Gambar 2.2 Format bingkai FlexRay dan siklus komunikasi

Seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2, bingkai FlexRay mencakup tiga segmen: segmen header, payload, dan trailer. Lima bit pertama didefinisikan sebagai dasar dari frame. Untuk segmen statis, Frame ID (11 bit) didefinisikan sebagai posisi slot. Di segmen dinamis, ID Bingkai digunakan untuk menunjukkan prioritas bingkai: pengenal yang lebih rendah menunjukkan prioritas yang lebih tinggi.

Pada segmen header, panjang payload (7 bit) adalah panjang data (panjang payload 2 jumlah byte data). Header CRC (11 bit) didefinisikan sebagai Cyclic Redundancy Check, yang dihitung melalui indikator bingkai sinkronisasi (1 bit), indikator bingkai startup (1 bit), ID bingkai (11 bit) dan panjang muatan (7 bit) . Cycle count (6 bit) adalah nomor seri dari frame yang mendefinisikan secara lokal di node. Segmen payload (0–254 byte) berisi data utama yang ditransfer melalui bus. Segmen trailer (24 bit) digunakan untuk pemeriksaan redundansi siklik, dihitung melalui segmen header dan segmen muatan.

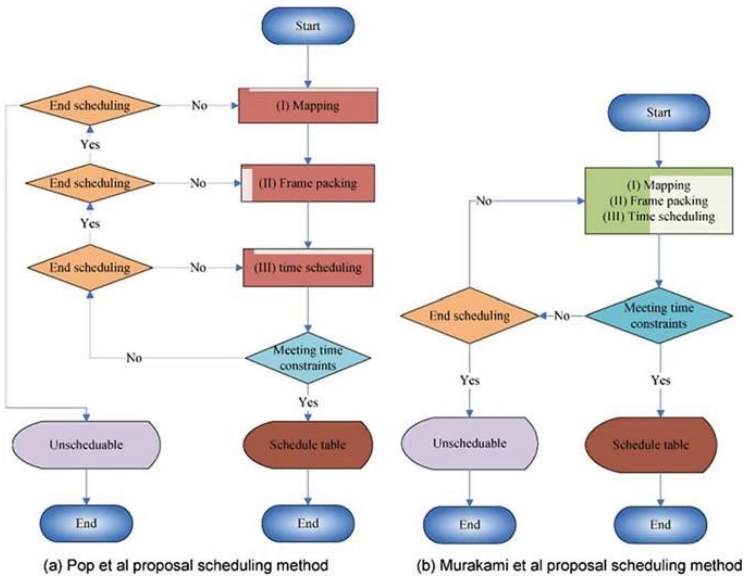
2.3 Penjadwalan Pesan untuk Sistem FlexRay

2.3.1 Segmen Statis FlexRay

Ada beberapa metode untuk mengoptimalkan penjadwalan untuk FlexRay di mana setiap algoritma disajikan dengan mengandalkan model yang ditentukan, oleh karena itu metode khusus diarahkan ke model yang berbeda. Pop dkk. telah memperkenalkan model penjadwalan yang terbagi menjadi tiga langkah. Pertama, langkah pemetaan yang meliputi klaster yang dipicu oleh waktu dan klaster yang dipicu oleh peristiwa, langkah kedua adalah pengepakan bingkai, dan langkah terakhir adalah penjadwalan waktu. Untuk setiap langkah, serangkaian parameter tertentu mengarah untuk mengetahui apakah suatu sistem dapat dijadwalkan dan batasannya terpenuhi.

Jika tidak terjadwal dalam langkah apapun, set parameter harus diubah sampai mendapatkan solusi yang mendekati optimal.

Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3, Pop et al. membagi model penjadwalan menjadi tiga langkah: pemetaan termasuk cluster yang dipicu oleh waktu dan cluster yang dipicu oleh peristiwa, pengepakan bingkai, dan penjadwalan waktu. Untuk setiap langkah,



Gambar 2.3 Perbandingan Model Penjadwalan

Serangkaian parameter yang diberikan mengarah untuk mengetahui apakah suatu sistem dapat dijadwalkan, dan batasannya terpenuhi. Jika tidak terjadwal dalam salah satu langkah ini, set parameter harus diubah sampai mendapatkan solusi optimal perkiraan.

Selain itu, Murakami dkk. juga mengusulkan algoritma simulasi annealing (SA) sebagai metode penjadwalan statis untuk sistem FlexRay. Metode ini didasarkan pada model penjadwalan Pop et al. tetapi menggabungkan tiga langkah: Pemetaan, Pengepakan bingkai, dan Penjadwalan waktu menjadi hanya satu langkah. Metode penjadwalan Murakami et al. Misalkan semua proses yang termasuk dalam grafik proses dapat memiliki perbedaan periode dan juga memperhitungkan pengaruh beban sistem pada metode penjadwalan [6].

Kemudian, algoritma genetika (GA) untuk FlexRay disajikan dan dioptimalkan model formal yang disebut diagram aliran data (DFG). Pendekatan algoritma GA lebih baik dari pada SA. Pertama, penulis memberikan deskripsi singkat tentang masalah berdasarkan TDMA untuk segmen statis FlexRay dan mempertimbangkan kendala input/output sinkron. Kemudian, berdasarkan model penjadwalan sistematis, mereka menggunakan GA untuk mengoptimalkan penugasan tugas di ECU dan penjadwalan pesan melalui bus. Setelah itu, GA dan hybrid-GA diusulkan pada.

Dalam karya-karya di atas, tidak ada pendekatan yang menjelaskan potensi jitter dalam transmisi pesan. Perhitungan jadwal pesan untuk SS FlexRay dirancang untuk mengakomodasi pesan waktu nyata secara periodik. Pekerjaan sebelumnya pada topik ini berfokus pada analisis waktu aplikasi pada bus FlexRay atau pada strategi heuristik yang bertujuan untuk menemukan jadwal pesan yang layak untuk kumpulan pesan yang diberikan. Klaus Schmidt dan Ece Guran Schmidt mengidentifikasi dan memecahkan dua masalah penjadwalan pesan pada SS FlexRay di.

Sinyal harus dikemas ke dalam pesan berukuran sama untuk mematuhi batasan protokol FlexRay, sementara menggunakan bandwidth sesedikit mungkin dan jadwal pesan harus ditentukan sedemikian rupa sehingga pesan periodik ditransmisikan dengan jitter minimum. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis merumuskan masalah nonlinier integer programming (NIP) untuk memaksimalkan pemanfaatan bandwidth. Selain itu, mereka juga memperkenalkan arsitektur perangkat lunak yang sesuai dan menurunkan masalah integer linear programming (ILP) yang meminimalkan jitter dan alokasi bandwidth.

Selain itu, untuk meminimalkan jumlah slot yang digunakan pada masalah tersebut di atas, penulis juga menyajikan formulasi untuk meminimalkan jitter transmisi. Karya ini membahas optimasi jadwal komunikasi segmen statis, tetapi tidak mencoba optimasi di tingkat sistem. Mereka tidak mempertimbangkan kemungkinan tenggat waktu end-to-end, penyampaian informasi dan batasan prioritas di antara tugas dan sinyal, atau sinkronisasi tugas dan jadwal sinyal. Untuk mengatasi masalah ini, Haibo Zeng et al. mempelajari masalah ECU dan sintesis penjadwalan bus FlexRay dari perspektif perancang aplikasi, tertarik untuk mengoptimalkan penjadwalan tunduk pada batasan waktu sehubungan dengan latensi atau fungsi metrik terkait ekstensibilitas.

Mereka memperkenalkan solusi untuk tugas dan masalah penjadwalan sinyal, termasuk kebijakan penjadwalan tugas yang berbeda berdasarkan standar industri yang ada. Solusinya didasarkan pada kerangka kerja pengoptimalan Mixed-Integer Linear Programming (MILP) alih-alih metode heuristik untuk menjadwalkan transaksi yang terdiri dari tugas dan sinyal pada sistem berbasis FlexRay. Formulasi ini mencakup optimasi jadwal tingkat sistem dengan definisi fase relatif optimal dalam aktivasi tugas dan sinyal yang memperhitungkan tenggat waktu dan kendala prioritas. Tujuan dari metode MILP yang diusulkan adalah untuk memaksimalkan jumlah slot komunikasi bebas dan meningkatkan ekstensibilitas atau untuk memaksimalkan kelonggaran minimum di antara jalur dan meningkatkan kinerja waktu. Penulis memberikan solusi untuk informasi tugas-ke-sinyal yang disinkronkan yang lewat di bawah kebijakan penjadwalan tugas yang berbeda berdasarkan standar industri yang ada. Ada banyak algoritma untuk mengoptimalkan penjadwalan untuk FlexRay berdasarkan

model yang berbeda. Bukan hanya algoritma optimasi yang berbeda, tetapi juga perspektif yang berbeda termasuk model dan metode

2.3.2 Segmen Dinamis FlexRay

Segmen dinamis FlexRay didasarkan pada pemicu genap dan pesan bersifat asiklik dan tiba kapan saja. Oleh karena itu, diperlukan model probabilistik untuk menganalisis transmisi pesan secara dinamis. Bagian ini adalah penelitian terkait analisis schedulability dan algoritma optimasi untuk segmen dinamis FlexRay. Nielsen dkk. mengusulkan pendekatan baru untuk analisis kinerja segmen dinamis berdasarkan analisis transien rantai Markov [9]. Model segmen dinamis adalah rantai Markov waktu diskrit dua dimensi, di mana langkah waktu diskrit mewakili slot mini segmen dinamis. Ruang keadaan model ini terdiri dari identitas slot dan keadaan dalam slot dinamis, setiap keadaan dalam rantai Markov merupakan slot mini yang menganggur, atau slot mini yang digunakan untuk mentransmisikan bingkai. Langkah waktu model ini memiliki durasi satu slot mini. Probabilitas transisi dari rantai Markov sesuai dengan probabilitas kedatangan setiap slot dinamis. Kemudian matriks probabilitas transisi dapat dihitung dengan cara iterasi pada himpunan slot dinamis, dan vektor probabilitas keadaan harus dihitung dengan mudah. Distribusi slot dinamis terakhir dapat diambil dari model rantai Markov. Oleh karena itu, model berdasarkan rantai Markov dapat menjadi alat bagi perancang jaringan untuk membuat prediksi awal tentang perilaku jaringan.

Menurut Nielsen dkk. model, penulis dalam meningkatkan model rantai Markov, dan mengusulkan model penundaan probabilistik pesan segmen dinamis. Model penundaan mempertimbangkan pesan panjang variabel yang berbagi ID Bingkai yang sama. Sementara model penundaan mengasumsikan bahwa bingkai dalam ID bingkai menggunakan panjang muatan yang sama, dalam model inovasi ini, pesan yang berbagi ID bingkai memiliki pilihan yang sama untuk dikirim di bus. Penulis berfokus pada pemanfaatan bus dan waktu tunda dalam sudut yang berbeda, mereka menyajikan dua metrik kinerja sebagai target analisis: probabilitas tunda bingkai dan distribusi slot mini kosong.

Pesan dinamis menghasilkan dan mengirimkan antara dua tugas masing-masing pesan memiliki panjang yang berbeda. Untuk sistem FlexRay yang diberikan, panjang segmen dinamis adalah tetap, sedangkan selama segmen dinamis, jika tidak ada pesan yang dikirim selama slot tertentu, maka slot tersebut akan memiliki panjang satu slot mini, sebaliknya slot dinamis akan memiliki panjang satu slot mini. panjangnya sama dengan panjang pesan yang dikirimkan. Berdasarkan karakteristik segmen dinamis, banyak peneliti menggambarkan optimasi target dengan bandwidth bus, waktu respon dan distribusi slot. Bab ini baru saja memperkenalkan pekerjaan baru-baru ini pada bandwidth bus.

Dalam hal bandwidth bus, Ece Guran Schmidt dan Klaus Schmidt mempertimbangkan batas waktu pembuatan pesan dan persyaratan waktu untuk pengiriman pesan dari pesan sporadis untuk memesan bandwidth untuk setiap pesan berdasarkan pengalamatan metode jadwal pesan untuk pesan sporadis. Dalam sudut pandang penulis, DS FlexRay dirancang untuk mengakomodasi pesan waktu nyata sporadis yang dihasilkan oleh kejadian peristiwa

dan harus dikirimkan sebelum tenggat waktu. Untuk tujuan ini, diperlukan untuk menemukan jadwal pesan yang layak yang memenuhi persyaratan waktu.

Pekerjaan sebelumnya pada FlexRay DS sebagian besar menyediakan metode untuk menguji apakah jadwal yang diberikan layak. Mereka mengusulkan metode untuk mensintesis jadwal pesan yang efisien dan layak. Berdasarkan deskripsi masalah formal, pendekatan mereka menentukan parameter sistem yang diperlukan sehingga pesan sporadis terkirim tepat waktu. Dua metrik kinerja ditentukan untuk mengukur efisiensi setiap jadwal: reservasi bandwidth dan beban siklus. Reservasi bandwidth menunjukkan jumlah slot mini yang dicadangkan per siklus untuk setiap node, sedangkan beban siklus menunjukkan jumlah maksimum slot mini yang dicadangkan untuk transmisi pesan dalam satu siklus. Kemudian, pemrograman integer diterapkan untuk mengelompokkan pesan, dan pesan dalam grup yang sama akan dikirimkan dalam reservasi. Jadwal optimal memenuhi lebih banyak reservasi yang digunakan oleh grup pesan dan reservasi bandwidth diminimalkan.

2.3.3 Perbandingan dengan CAN

2.3.3.1 Lapisan Fisik

Seperti disebutkan sebelumnya, FlexRay mendukung tiga topologi utama, bus, star dan hybrid dan baud rate-nya adalah 10 Mbps sedangkan CAN hanya menggunakan bus sebagai topologinya dengan baud rate 1 Mbps. CAN hanya menggunakan satu saluran dan menggunakan logam sebagai lapisan fisiknya sedangkan FlexRay dapat mendukung dua saluran pada implementasinya pada logam atau serat optik. Panjang bus CAN bisa mencapai 40 m, dan FlexRay hanya 22 m antara setiap node, atau node dan bintang aktif.

2.3.3.2 Komunikasi

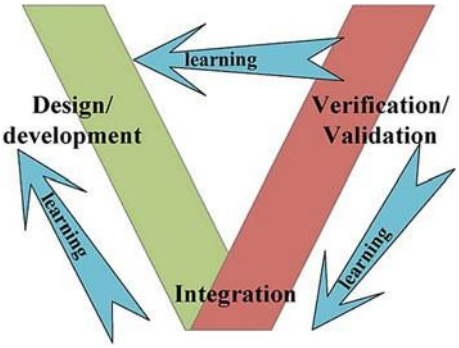
Komunikasi FlexRay didasarkan pada pemicu waktu untuk pesan periodik dan peristiwa yang dipicu untuk pesan aperiodik. FlexRay dapat menghubungkan hingga 22 node dalam topologi bus atau star. BISA hanya menggunakan event yang dipicu untuk komunikasinya dan dapat terhubung ke node tergantung pada waktu tunda bus.

2.3.3.3 Bingkai

Bingkai FlexRay memiliki tiga segmen. Payload maksimumnya adalah 254 byte, sedangkan CAN hanya memiliki 8 byte payload. Frame CAN terdiri dari Data frame, Remote frame, Error Frame, dan Over Rode.

2.3.3.4 Kondisi Kesalahan

CAN memiliki lima jenis error bit error, stuffing error, ACK error, framing error, dan CRC error. FlexRay memiliki semua jenis kesalahan kecuali sinkronisasi jam. Dalam CAN, status kesalahan dibagi menjadi tiga langkah, kesalahan aktif, kesalahan pasif, dan bus mati. Status kesalahan FlexRay juga dibagi menjadi tiga langkah, normal aktif, normal pasif, dan berhenti. Kondisi aktif di FlexRay dan CAN berarti tidak ada kesalahan. Kondisi pasif berarti kesalahan pada node masih dapat diterima. Kondisi bus mati atau berhenti berarti kesalahan yang terjadi berakibat fatal.



Gambar 2.4 Modem V diagram

2.4 Verifikasi dan Validasi

Jaringan FlexRay akan banyak digunakan di area kritis keselamatan dan keamanan seperti sistem manajemen powertrain. Kesalahan dalam salah satu sistem ini dapat menyebabkan tidak hanya kerugian finansial yang besar, tetapi juga hilangnya nyawa manusia. Model diagram V modern membantu insinyur mengembangkan jaringan FlexRay secepat Gambar 2.4.

Pada Gambar 2.4, tahap desain/pengembangan (kiri atas) dan tahap verifikasi dan validasi (kanan atas) diimplementasikan secara bersamaan. Keduanya secara bertahap memenuhi permintaan aplikasi melalui integrasi. Diagram V modem sesuai dengan proses rekayasa yang berulang dengan banyak langkah berulang sepanjang siklus hidup pengembangan. Akhirnya, siklus hidup pengembangan melengkapi seluruh desain. Maka verifikasi dan validasi penting untuk FlexRay. Ada beberapa metode validasi termasuk simulasi komputer, verifikasi formal.

2.4.1 Simulasi Komputer untuk Validasi Model

Simulasi komputer untuk verifikasi model meliputi analisis penjadwalan (pada model target abstrak), dan simulasi dan analisis waktu (pada model target detail). Biasanya, analisis penjadwalan model abstrak berada pada tahap desain awal dan simulasi waktu dan analisis berada pada tahap desain akhir untuk model kepastian.

2.4.1.1 Analisis Penjadwalan untuk Model Target Abstrak

Pada tahap desain awal, desain berbasis model diakui secara universal sebagai pendekatan yang baik untuk menjadwalkan sintesis dan semakin banyak digunakan dalam industri otomotif. Misalnya, pemodelan diagram aliran data mengabstraksi dan mendefinisikan fungsi sistem yang diperlukan. Dalam semua kontribusi yang disebutkan untuk segmen statis dan dinamis, ide dasarnya adalah membuat model formal yang mencakup kedatangan beban yang relevan ke dalam sistem.

Model pabrik yang berinteraksi dengan algoritma penjadwalan tersedia dalam desain awal. Artinya, hanya beberapa penyesuaian parameter sensitif yang cukup untuk mendapatkan model yang andal. Ini jelas berfokus pada pengaruh yang relevan dengan waktu yang menghasilkan model yang sangat kecil dan efisien dengan hanya beberapa parameter. Seperti ukuran slot, waktu siklus frame di FlexRay. Parameter kunci dari abstraksi yang kuat menggambarkan kedatangan beban sistem tanpa

rincian kode yang dieksekusi dan konten data yang dikirimkan. Hal ini memungkinkan untuk analisis waktu dan kinerja yang sistematis dan efisien, dan aplikasi awal tergantung pada diagram V untuk analisis dan desain tahap selanjutnya.

2.4.1.2 Simulasi dan Analisis Waktu untuk Model Kepastian

Simulasi dan analisis waktu, di FlexRay, bekerja pada tingkat protokol bus dan sistem operasi, dan menganalisis efek waktu yang dihasilkan dari integrasi tugas pada ECU dan pesan pada bus, masing-masing. Berdasarkan model sistem yang dapat dieksekusi, analisis penjadwalan dapat diterapkan di tingkat yang berbeda dan menceritakan tentang cadangan kinerja atau kemacetan yang akan datang sebelum seluruh sistem dibangun.

2.4.2 Verifikasi Formal

Termasuk sistem perangkat keras dan perangkat lunak, verifikasi formal adalah tindakan untuk membuktikan atau menyangkal kebenaran algoritma, hal itu dilakukan dengan memberikan bukti formal pada model matematis abstrak dari sistem. Kemudian ada banyak pekerjaan pada verifikasi formal perangkat keras, perangkat lunak, dan protokol untuk FlexRay. Hal ini menjadi lebih penting ketika mempertimbangkan sistem tertanam terdistribusi FlexRay. Erik Enders dll. mempertimbangkan interaksi yang erat antara bagian perangkat lunak dan perangkat keras, dan memverifikasi terhadap spesifikasi seperti yang terlihat oleh pemrogram sistem. Verifikasi formal protokol FlexRay diperkenalkan. Ini memverifikasi properti penjaga bus dan algoritma sinkronisasi jam. Rush by memberikan gambaran umum tentang verifikasi formal dari arsitektur Time-Triggered dan secara formal membuktikan kebenaran beberapa algoritma kunci. Tujuan dari verifikasi formal adalah layak untuk secara formal memverifikasi sistem otomotif terdistribusi yang kompleks dengan cara yang meresap. Tujuan yang diinginkan adalah teorema tingkat atas "tunggal" yang menggambarkan kebenaran keseluruhan sistem.

2.5 Perangkat Lunak dan Perangkat Keras

Teknologi FlexRay dapat dibagi menjadi dua (perangkat lunak/perangkat keras) untuk area utama: perangkat lunak untuk mengonfigurasi dan mengelola komunikasi dalam klaster FlexRay dan lapisan aplikasi ECU; digital dan logika yang mengimplementasikan protokol FlexRay dan driver sinyal analog.

2.5.1 Perangkat Lunak

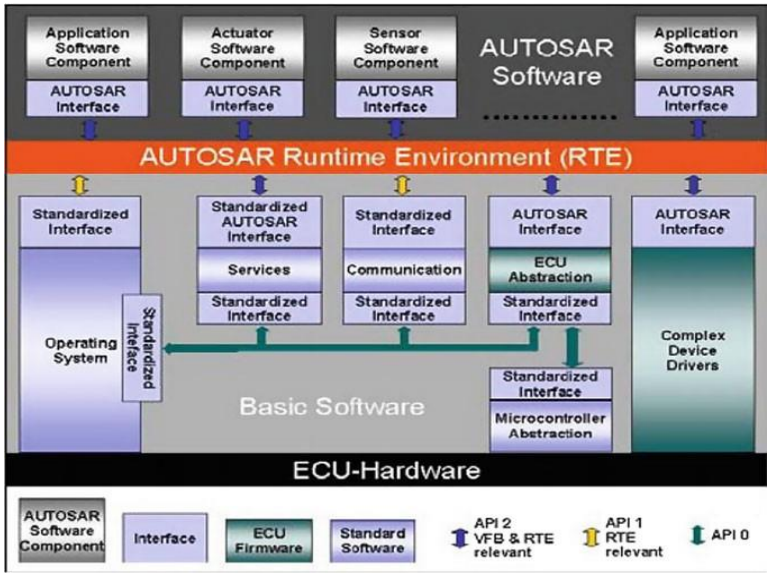
Perangkat lunak yang digunakan dalam mobil saat ini sangat beragam. Hasilnya adalah pengembang yang berbeda menggunakan standar yang berbeda untuk mengembangkan perangkat lunak yang sama dan pemasok yang berbeda mengembangkan komponen perangkat lunak untuk perangkat keras yang berbeda. Ini mencakup berbagai jenis unit kontrol elektronik serta berbagai jenis bus. Oleh karena itu, produsen mobil, pemasok, dan pengembang alat bersama-sama telah mengembangkan arsitektur perangkat lunak otomotif yang terbuka dan terstandarisasi (AUTOSAR). Tujuan dari inisiatif AUTOSAR adalah menetapkan standar terbuka untuk arsitektur elektrik/elektronik otomotif. Ruang lingkup AUTOSAR mencakup semua domain kendaraan sebagai berikut:

- Implementasi dan standarisasi fungsionalitas sistem dasar sebagai solusi "Standard Core" OEM yang luas.
- Skalabilitas untuk varian kendaraan dan platform yang berbeda.
- Transferabilitas fungsionalitas di seluruh jaringan.
- Integrasi modul fungsional dari beberapa pemasok.
- Pertimbangan ketersediaan dan persyaratan keamanan.
- Aktivasi redundansi.
- Pertahankan kemampuan di seluruh “Siklus Hidup Produk”.
- Peningkatan penggunaan "Perangkat keras komersial dari rak".
- Pembaruan dan peningkatan perangkat lunak selama masa pakai kendaraan.

Berdasarkan Gambar 2.5, standar AUTOSAR akan berfungsi pada platform perangkat keras yang berbeda dalam aplikasi kendaraan masa depan dan berfungsi untuk meminimalkan hambatan saat ini antara domain fungsional. Hal ini juga untuk memetakan jaringan fungsional ke ECU yang berbeda dalam sistem. Untuk tujuan teknis modularitas, skalabilitas, transferabilitas dan kegunaan kembali fungsionalitas, AUTOSAR menyediakan infrastruktur perangkat lunak umum untuk sistem otomotif dari semua domain kendaraan berdasarkan antarmuka standar.

2.5.2 Perangkat Keras

Pusat perangkat keras untuk FlexRay adalah lapisan eksekusi protokol, di mana data bingkai keluar dikirim ke lapisan fisik. Lapisan fisik terdiri dari tiga bagian:



Gambar 2.5 Arsitektur perangkat lunak AUTOSAR ECU

Pengemudi bus, wali bus opsional, dan interkoneksi fisik. Antarmuka untuk mengintegrasikan pengontrol FlexRay ke dalam sistem sebagai berikut:

Jam dan Antarmuka Atur Ulang: memungkinkan gerbang jam dan kontrol reset melalui hard atau soft reset.

- Antarmuka Host: antarmuka periferal baca/tulis sederhana.

- Interrupt and Strobes Interface: memilih implementasi interupsi dan debugging melalui perangkat lunak.
- Antarmuka Bus FlexRay: digunakan untuk menghubungkan perangkat FlexRay ke driver bus FlexRay, yang ditentukan dalam Spesifikasi Lapisan Fisik Elektrikal Sistem Komunikasi FlexRay.
- Antarmuka Memori Sistem: terhubung melalui Bus Master Interface (BMIF) ke pengontrol memori eksternal. Ini dapat dihubungkan langsung ke memori bersama atau subsistem bus memori eksternal. Dalam kedua kasus tersebut, persyaratan latensi tertentu harus dipenuhi.

Banyak vendor semikonduktor sedang mengerjakan pengembangan pengontrol FlexRay dan mengintegrasikan pengontrol FlexRay dengan MCU. Untuk mengembangkan sistem berbasis FlexRay, Freescale, Fujitsu, Atmel, dll., menawarkan papan evaluasi multifungsi dengan MCU 16/32 bit sebagai pengontrol host. Infineon dan NXP masing-masing telah mengembangkan CC untuk komunikasi bus FlexRay. Dalam domain MCU 32-bit, Freescale mengembangkan MPC5567 yang didasarkan pada inti PowerPC dan memungkinkan komunikasi yang toleran terhadap kesalahan pada kecepatan bandwidth tinggi 10 Mbps, mengurangi biaya sistem dengan mengintegrasikan fungsionalitas maksimum pada chip. Perangkat ini adalah MCU berbasis flash 32bit pertama dengan protokol FlexRay.

Fungsionalitas FlexRay yang terintegrasi adalah modul kontrol, cara yang deterministik dan dapat diandalkan berdasarkan protokol FlexRay di dalam mobil. Hal ini membantu mempopulerkan aplikasi FlexRay dalam sistem pengereman, stabilitas, dan suspensi. FlexRay mendapatkan dukungan internasional dalam industri otomotif dan akan digunakan oleh pembuat kendaraan untuk mengaktifkan fitur-fitur keselamatan dan kinerja yang kritis.

2.6 Kesimpulan

Bab ini menyajikan situasi dari analisis penjadwalan pada tahap desain awal hingga algoritma penjadwalan/optimasi untuk segmen statis dan dinamis. Ada banyak pekerjaan yang berfokus pada analisis penjadwalan untuk sistem FlexRay. Setiap pendekatan untuk mengoptimalkan metode penjadwalan bergantung pada sistem atau aplikasi model tertentu. Bab ini menyajikan secara singkat situasi studi dari analisis penjadwalan pada tahap desain awal hingga algoritma penjadwalan/optimasi untuk segmen statis dan dinamis. Di masa depan, ketika FlexRay menjadi tulang punggung data, pekerjaan pada FlexRay tidak hanya menganalisis kondisi layanan bus individu, tetapi juga meneliti seluruh desain jaringan termasuk topologi yang berbeda dari bus CAN, LIN dan FlexRay untuk mengembangkan protokol perutean gerbang agar untuk menghubungkan bus lain melalui gateway.

BAB 3
KOMUNIKASI MENGGUNAKAN CONTROLLER AREA NETWORK PROTOKOL

3.1 Pendahuluan

Controller Area Network (CAN) awalnya dikembangkan pada Februari 1986, oleh Robert Bosch Gmbh dan diperkenalkan sebagai "*Automotive Serial Controller Area Network*" di kongres SAE di Detroit sebagai sistem bus baru. Pada awal tahun 1980-an, sekelompok insinyur di Bosch GmbH adalah pelopor dalam memperkenalkan protokol jaringan multi-master ini. Itu didasarkan pada mekanisme arbitrase tak rusak yang memberikan akses bus ke pesan tanpa menyebabkan penundaan. Protokol CAN Serial Otomotif ini diperkenalkan karena fakta bahwa mobil memerlukan biaya kabel tambahan untuk meningkatkan jumlah sistem kontrol terdistribusi dan juga tidak ada protokol yang ada yang dapat bekerja dengan memuaskan bagi para insinyur otomotif.

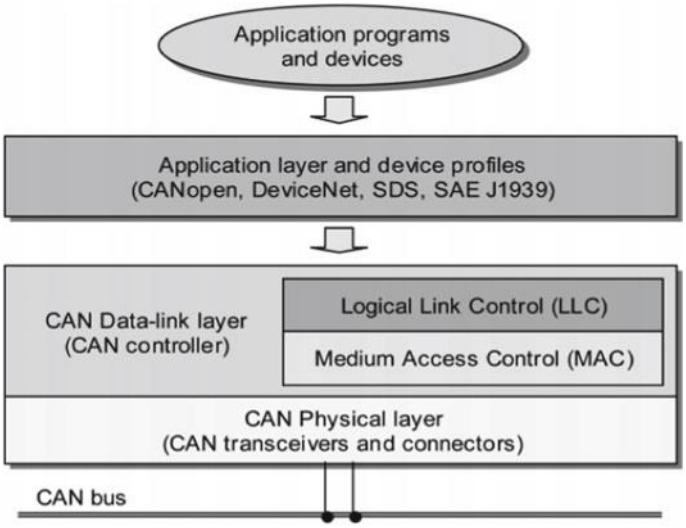
Pada awalnya CAN digunakan untuk menghubungkan ABS (Anti-Block System and Acceleration Skid Controls (ASC). Misalnya pada ASC, engine timing dan carburetor control diperlukan saat terjadi slip dan sebaliknya. oped untuk industri otomotif, sektor otomasi lainnya dan saat ini digunakan dalam berbagai macam aplikasi sistem tertanam lainnya Implementasi perangkat keras pertama dari protokol CAN diproduksi oleh Intel Corporation pada pertengahan 1987 dalam bentuk chip pengontrol, 82.526 yang lebih menyukai konsep FullCan dibandingkan dengan implementasi BasicCAN yang diperkenalkan oleh Phillips Semiconductors yang segera menyusul. Vendor semikonduktor yang mengimplementasikan modul CAN ke dalam perangkat mereka terutama berfokus pada industri otomotif dan sejak pertengahan 1990-an, Infineon Technologies (sebelumnya Siemens Semiconductors) dan Motorola telah memproduksi dan mengirimkan sejumlah besar chip pengontrol CAN ke produsen mobil penumpang Eropa dan d pemasok mereka.

Meskipun dirancang untuk aplikasi kendaraan, pada awal 1990-an, CAN mulai diadopsi dalam skenario yang berbeda. Dokumen standar memberikan spesifikasi yang memuaskan untuk lapisan komunikasi yang lebih rendah tetapi tidak menawarkan pedoman atau rekomendasi untuk bagian atas dari tumpukan protokol Interkoneksi Sistem Terbuka (OSI), secara umum, dan untuk lapisan aplikasi, pada khususnya. Inilah sebabnya mengapa aplikasi CAN sebelumnya di luar skenario otomotif (yaitu, mesin tekstil, sistem medis, dan sebagainya) mengadopsi solusi monolitik ad hoc.

Protokol CAN dapat diartikan sebagai protokol dua lapisan dalam hal model referensi 7-lapisan OSI/ISO. Dengan kata lain, CAN beroperasi pada lapisan fisik dan lapisan data link dari model OSI standar. Lapisan fisik menentukan bagaimana sinyal ditransmisikan.

Organisasi Standar Internasional (ISO) mendefinisikan standar ISO11898 yang menggabungkan spesifikasi CAN untuk memenuhi beberapa persyaratan dalam pensinyalan fisik [4], yang mencakup pengkodean dan penguraian bit (Non-Return-to-Zero, NRZ) serta waktu bit dan sinkronisasi. Menggunakan mekanisme jaringan bus serial, aplikasi CAN yang

ada mengirim pesan melalui jaringan. Dalam sistem CAN, tidak diperlukan pengontrol pusat karena setiap node terhubung ke setiap node lain dalam jaringan. Protokol komunikasi CAN, ISO 11898: 2003, menjelaskan bagaimana informasi dilewatkan antar perangkat dan sesuai dengan model Open Systems Interconnection (OSI) yang didefinisikan dalam istilah lapisan. Komunikasi aktual antar perangkat oleh media fisik ditentukan oleh lapisan fisik model. Spesifikasi CAN, khususnya, hanya mencakup lapisan fisik dan data link.



Gambar 3.1 CAN protokol stack

3.2 Ikhtisar Protokol CAN

3.2.1 Lapisan Fisik

Fitur lapisan fisik CAN yang valid untuk sistem apa pun, seperti yang terkait dengan pensinyalan fisik, dijelaskan dalam ISO 11898-1. Unit akses menengah (yaitu, transceiver) didefinisikan dalam dua dokumen terpisah: ISO 11898-2 dan ISO 11898-3 untuk komunikasi kecepatan tinggi dan kecepatan rendah, masing-masing. Definisi antarmuka media (yaitu, konektor) biasanya tercakup dalam dokumen lain.

3.2.1.1 Topologi Jaringan

Jaringan CAN didasarkan pada topologi bus bersama. Bus harus diakhiri di setiap ujungnya dengan resistor (impedansi nominal yang disarankan adalah 120 W), untuk menekan pantulan sinyal. Untuk alasan yang sama, dokumen standar menyatakan bahwa topologi jaringan CAN harus sedekat mungkin dengan satu baris. Rintisan diizinkan untuk menghubungkan perangkat ke bus, tetapi panjangnya harus sesingkat mungkin. Misalnya, pada 1 Mbit/s panjang rintisan harus lebih pendek dari 30 cm.

Beberapa bit rate tersedia untuk jaringan, yang paling diadopsi berada di kisaran 50 Kbit/s sampai 1 Mbit/s (nilai terakhir mewakili bit rate maksimum yang diijinkan menurut spesifikasi CAN). Perpanjangan maksimum jaringan CAN tergantung langsung pada bit rate. Hubungan yang tepat antara dua kuantitas ini melibatkan parameter seperti penundaan yang diperkenalkan oleh transceiver dan optocoupler. Secara umum, produk matematis antara panjang bus dan laju bit harus

mendekati konstan. Misalnya, ekstensi maksimum yang diizinkan untuk jaringan 500 Kbit/dtk adalah sekitar 100 m, dan meningkat hingga sekitar 500 m bila kecepatan bit 125 Kbit/dtk dipertimbangkan.

Pengulang sinyal dapat digunakan untuk meningkatkan perluasan jaringan, terutama ketika pembangkit besar harus dicakup dan kecepatan bit rendah atau sedang. Namun, mereka memperkenalkan penundaan tambahan pada jalur komunikasi; maka jarak maksimum antara dua node secara efektif dipersingkat pada bit rate yang tinggi. Menggunakan repeater juga mencapai topologi yang berbeda dari bus (pohon atau sisir, misalnya). Dalam hal ini, desain yang baik dapat meningkatkan luas efektif yang dicakup oleh jaringan.

3.2.1.2 Pengkodean Bit

Di CAN, antarmuka listrik dari sebuah node ke bus didasarkan pada skema seperti kolektor terbuka. Akibatnya, level pada bus dapat mengasumsikan dua nilai yang saling melengkapi, yang dilambangkan secara simbolis sebagai dominan dan resesif. Biasanya, level dominan sesuai dengan nilai logis 0 sedangkan level resesif bertepatan dengan nilai logis 1.

CAN bergantung pada pengkodean bit *non-return-to-zero* (NRZ), yang menampilkan efisiensi sangat tinggi karena informasi sinkronisasi tidak dikodekan secara terpisah dari data. Sinkronisasi bit di setiap node dicapai melalui digital phase-locked loop (DPLL), yang mengekstrak informasi waktu secara langsung dari aliran bit yang diterima dari bus. Secara khusus, tepi sinyal digunakan untuk menyinkronkan jam lokal, untuk mengkompensasi toleransi dan penyimpangan osilator.

3.2.2 Format Bingkai Pesan

Protokol CAN mendukung dua format bingkai pesan, perbedaan utama adalah panjang bidang pengenal dan beberapa bit lainnya di bidang arbitrase. Secara khusus, format bingkai standar (juga dikenal sebagai format CAN 2.0A) mendefinisikan bidang pengenal 11-bit, yang berarti bahwa hingga 2048 pengenal berbeda tersedia untuk aplikasi yang dijalankan di jaringan yang sama (banyak pengontrol CAN lama hanya mendukung pengenal dalam kisaran 0-2031). Format bingkai yang diperluas (diidentifikasi sebagai CAN 2.0B) sebagai gantinya memberikan 29 bit ke pengidentifikasi, sehingga hingga setengah miliar objek berbeda dapat ada (secara teori) di jaringan yang sama. Ini adalah nilai yang cukup tinggi, yang sebenarnya cukup untuk segala jenis aplikasi.

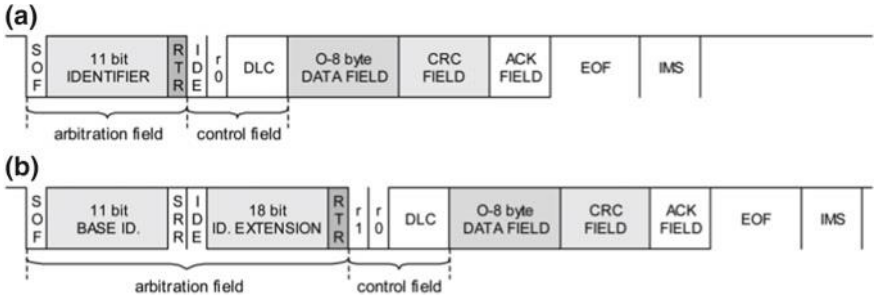
3.2.2.1 Bingkai Data

Setiap frame data di CAN dimulai dengan bit *start-of-frame* (SOF) pada level dominan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Segera setelah bit SOF ada bidang arbitrase, yang mencakup pengidentifikasi dan bit permintaan transmisi jarak jauh (RTR). Seperti namanya, bidang pengenal mengidentifikasi konten bingkai yang dipertukarkan secara unik di seluruh jaringan. Pengidentifikasi juga digunakan oleh sub-lapisan MAC untuk mendeteksi dan mengelola prioritas bingkai, yang digunakan setiap kali terjadi tabrakan (semakin rendah nilai numerik pengidentifikasi, semakin tinggi prioritas bingkai).

Pengidentifikasi dikirim mulai dari bit yang paling signifikan hingga yang paling tidak signifikan. Ukuran pengenal berbeda untuk bingkai standar dan bingkai diperpanjang. Dalam kasus terakhir, pengidentifikasi telah dipecah menjadi pengidentifikasi dasar 11-bit dan pengidentifikasi tambahan 18-bit, untuk menyediakan kompatibilitas dengan format bingkai standar.

Bit RTR digunakan untuk membedakan antara data dan frame jarak jauh. Karena nilai dominan RTR menunjukkan bingkai data sementara nilai resesif mewakili bingkai jarak jauh, bingkai data memiliki prioritas lebih tinggi daripada bingkai jarak jauh yang memiliki pengenal yang sama.

Di sebelah bidang arbitrase muncul bidang kontrol. Dalam kasus bingkai standar, ini termasuk bit pengenal ekstensi (IDE), yang membedakan antara bingkai standar dan diperpanjang, diikuti oleh bit cadangan r0. Dalam bingkai yang diperluas, bit IDE secara efektif termasuk dalam bidang arbitrase, serta bit permintaan jarak jauh pengganti (SRR)—tempat penampung yang dikirim pada nilai resesif untuk mempertahankan struktur bingkai. Dalam hal ini, bit IDE diikuti oleh ekstensi pengenal dan kemudian oleh bidang kontrol, yang dimulai dengan dua bit cadangan r1 dan r0. Setelah bit yang dicadangkan ada kode panjang data (DLC), yang menentukan — dikodekan pada 4 bit — panjang (dalam byte) bidang data. Karena bit IDE dominan dalam bingkai standar, sementara itu resesif dalam bingkai yang diperluas, ketika pengenal dasar yang sama dipertimbangkan, bingkai standar lebih diutamakan daripada bingkai yang diperluas.



Gambar 3.2 Format bingkai data

Setelah field data ada field CRC dan acknowledgment. Bidang sebelumnya terdiri dari urutan pemeriksaan redundansi siklik yang dikodekan pada 15 bit, yang diikuti oleh pembatas CRC pada nilai resesif. Jenis CRC yang diadopsi dalam CAN sangat cocok untuk mencakup frame pendek (yaitu, menghitung kurang dari 127 bit). Bidang pengakuan terdiri dari dua bit: slot ACK diikuti oleh pembatas ACK. Keduanya dikirim pada tingkat resesif oleh pemancar. Slot ACK, bagaimanapun, ditimpa dengan nilai dominan oleh setiap node yang telah menerima frame dengan benar (yaitu, tidak ada kesalahan yang terdeteksi hingga bidang ACK). Perlu dicatat bahwa slot ACK sebenarnya dikelilingi oleh dua bit pada tingkat resesif: pembatas CRC dan ACK. Melalui bit ACK, node transmisi diaktifkan untuk menemukan apakah setidaknya satu node dalam jaringan telah menerima frame dengan benar.

Di akhir frame, ada bidang *end-of-frame* (EOF), terdiri dari tujuh bit resesif, yang memberi tahu semua node akhir dari transmisi bebas kesalahan. Secara khusus, node pengirim mengasumsikan bahwa frame telah dipertukarkan dengan benar jika tidak ada kesalahan yang terdeteksi hingga bit terakhir dari bidang EOF, sedangkan dalam kasus penerima, frame valid jika tidak ada kesalahan hingga bit keenam EOF.

3.2.2.2 Bingkai Jarak Jauh

Tugas utama frame jarak jauh adalah meminta transmisi data dari node lain. Di satu sisi, jenis pesan ini secara eksplisit ditandai sebagai bingkai jarak jauh oleh bit RTR resesif di bidang arbitrase. Bingkai jarak jauh digunakan untuk meminta agar pesan yang diberikan dikirim di jaringan oleh simpul jarak jauh. Perlu dicatat bahwa node yang meminta tidak mengetahui siapa pembuat informasi terkait.

Itu tergantung pada penerima untuk menemukan yang harus membalas. Bidang DLC dalam bingkai jarak jauh tidak digunakan secara efektif oleh protokol CAN. Namun, itu harus diatur ke nilai yang sama dengan bingkai data yang sesuai, untuk mengatasi situasi di mana beberapa node mengirim permintaan jarak jauh dengan pengidentifikasi yang sama pada saat yang bersamaan. Dalam hal ini, permintaan yang berbeda harus benar-benar identik, sehingga mereka akan tumpang tindih jika terjadi tabrakan.

3.2.2.3 Bingkai Kesalahan

Bingkai kesalahan adalah pesan khusus yang melanggar aturan pemformatan pesan CAN. Ini ditransmisikan ketika sebuah node mendeteksi kesalahan dalam pesan, dan menyebabkan semua node lain dalam jaringan untuk mengirim bingkai kesalahan juga. Pemancar asli kemudian secara otomatis mentransmisi ulang pesan tersebut. Bingkai kesalahan terdiri dari dua bidang: tanda kesalahan dan pembatas kesalahan. Ada dua jenis flag error: flag error aktif terdiri dari enam bit dominan, sedangkan flag error pasif terdiri dari enam bit resesif. Bendera kesalahan aktif melanggar aturan isian bit atau bagian format tetap dari bingkai yang saat ini sedang dipertukarkan; karenanya, ini memberlakukan kondisi kesalahan yang terdeteksi oleh semua stasiun lain yang terhubung ke jaringan. Setiap node yang mendeteksi kondisi kesalahan mengirimkan tanda kesalahan sendiri. Dengan cara ini, sebagai konsekuensi dari transmisi tanda kesalahan, dapat ada 6 hingga 12 bit dominan di bus.

3.2.2.4 Bingkai Kelebihan Beban

Bingkai kelebihan beban disebutkan untuk kelengkapan. Ini mirip dengan bingkai kesalahan dalam hal format, dan ditransmisikan oleh simpul yang menjadi terlalu sibuk. Ini digunakan untuk membuat penundaan ekstra antara dua pesan oleh penerima yang lambat untuk memperlambat operasi di jaringan. Pengontrol CAN saat ini sangat cepat, sehingga membuat bingkai kelebihan beban hampir tidak berguna.

3.2.3 Teknik Akses Sedang

Mekanisme kontrol akses media untuk jaringan CAN pada dasarnya adalah *carrier-sense multiple access* (CSMA). Ketika tidak ada frame yang dipertukarkan, jaringan

menganggur dan level pada bus bersifat resesif. Sebelum mentransmisikan frame, node harus mengamati keadaan jaringan. Jika jaringan dalam keadaan idle, transmisi frame segera dimulai; jika tidak, node harus menunggu transmisi frame saat ini berakhir. Setiap frame dimulai dengan bit SOF pada level dominan, yang menginformasikan semua node lain bahwa jaringan telah beralih ke status sibuk.

Meskipun sangat tidak mungkin, mungkin saja dua atau lebih node mulai mengirim frame mereka secara tepat pada waktu yang sama. Hal ini sebenarnya dimungkinkan karena delay propagasi pada bus, walaupun sangat kecil. Jadi, satu node mungkin memulai transmisinya sementara bit SOF dari frame lain sudah berjalan di bus. Dalam hal ini, tabrakan akan terjadi. Dalam jaringan CSMA yang didasarkan pada deteksi tabrakan, seperti, misalnya, Ethernet non-switched, ini tidak dapat dihindari mengarah pada kerusakan semua frame yang terlibat, yang berarti bahwa mereka harus ditransmisikan ulang. Konsekuensinya adalah pemborosan waktu dan penurunan bersih dari bandwidth yang tersedia. Dalam kondisi beban tinggi, ini dapat menyebabkan kemacetan ketika jumlah tabrakan sangat tinggi dan kemudian throughput pada jaringan Ethernet turun di bawah tingkat kedatangan, jaringan menjadi macet.

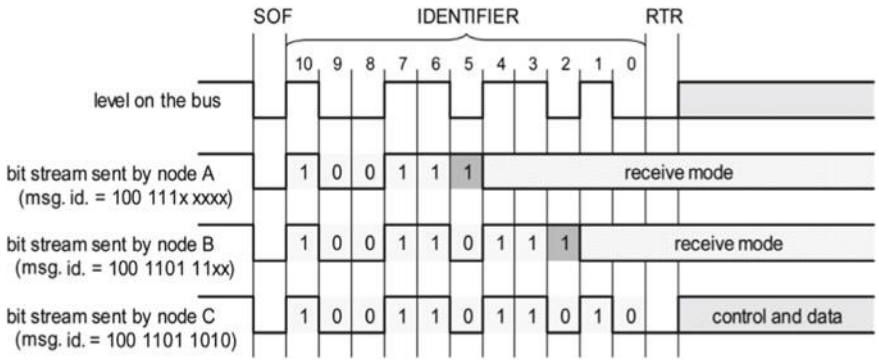
3.2.3.1 Arbitrase Bus

Skema arbitrase CAN memungkinkan tabrakan diselesaikan dengan menghentikan transmisi semua frame yang terlibat kecuali yang dicirikan oleh prioritas tertinggi (yaitu, pengidentifikasi terendah). Teknik arbitrase memanfaatkan kekhasan lapisan fisik CAN, yang secara konseptual menyediakan skema koneksi kabel di antara semua node. Secara khusus, level pada bus adalah dominan jika setidaknya satu node mengirimkan bit dominan; demikian juga, level pada bus bersifat resesif jika semua node mentransmisikan bit resesif.

Saat mentransmisikan, setiap node memeriksa level yang diamati pada bus terhadap nilai bit yang sedang ditulis. Jika node mentransmisikan nilai resesif dan level pada bus dominan, node memahami bahwa ia telah kehilangan pertentangan dan segera menarik diri. Teknik hitung mundur biner memastikan bahwa dalam kasus tabrakan, semua node yang mengirim frame dengan prioritas lebih rendah akan membatalkan transmisi mereka pada akhir bidang arbitrase, kecuali yang mengirim frame yang dicirikan oleh prioritas tertinggi (simpul pemenang bahkan tidak menyadari bahwa tabrakan telah terjadi). Ini menyiratkan bahwa tidak ada dua node dalam jaringan CAN yang dapat mengirimkan pesan yang terkait dengan objek yang sama pada waktu yang sama. Jika hal ini tidak terjadi, pada kenyataannya, tabrakan yang tidak dapat diatur dapat terjadi, yang pada gilirannya menyebabkan kesalahan transmisi. Karena fitur transmisi ulang otomatis dari pengontrol CAN, ini hampir pasti akan menyebabkan ledakan kesalahan pada bus sampai stasiun yang terlibat terputus oleh mekanisme pengurungan kesalahan.

Semua node yang kalah dalam pertarungan harus mencoba lagi transmisi segera setelah pertukaran frame saat ini (menang) berakhir. Mereka semua akan mencoba mengirim bingkai mereka lagi segera setelah jeda dibacakan di bus. Di sini, tabrakan baru bisa terjadi yang juga melibatkan frame yang dikirim oleh node yang

permintaan transmisinya dikeluarkan saat bus sedang sibuk. Contoh yang menunjukkan perilaku rinci dari fase arbitrase di CAN diuraikan pada Gambar. 3.3. Di sini, tiga node (yang telah ditunjukkan secara simbolis sebagai A, B, dan C) mulai mentransmisikan sebuah frame pada saat yang sama (mungkin pada akhir jeda setelah pertukaran frame sebelumnya melalui bus). Segera setelah sebuah node memahami bahwa ia telah kehilangan pertentangan, ia mengalihkan tingkat outputnya ke nilai resesif, sehingga tidak lagi mengganggu node transmisi lainnya. Peristiwa ini terjadi ketika bit ID 5 sedang dikirim untuk node A, sedangkan untuk node B hal ini terjadi pada bit ID 2. Node C berhasil mengirim seluruh bidang pengenal, dan kemudian dapat terus mentransmisikan bagian frame yang tersisa.



Gambar 3.3 Fase Arbitrase di CAN

3.2.4 Manajemen Kesalahan

Salah satu persyaratan utama dalam definisi protokol CAN adalah kebutuhan untuk memiliki sistem komunikasi yang ditandai dengan ketahanan tinggi, yaitu sistem yang mampu mendeteksi sebagian besar kesalahan transmisi. Oleh karena itu, perhatian khusus telah diambil dalam mendefinisikan manajemen kesalahan. Spesifikasi CAN memperkirakan lima mekanisme berbeda untuk mendeteksi kesalahan transmisi:

- Pemeriksaan redundansi siklik: saat mentransmisikan bingkai, node asal menambahkan CRC selebar 15-bit ke ujung bingkai itu sendiri. Node penerima mengevaluasi kembali CRC untuk memeriksa apakah cocok dengan yang ditransmisikan. Secara umum, CRC yang digunakan dalam CAN mampu menemukan hingga 5 bit yang salah didistribusikan secara sewenang-wenang dalam bingkai atau ledakan kesalahan termasuk hingga 15 bit.
- Pemeriksaan bingkai: bidang format tetap dalam bingkai yang diterima dapat dengan mudah diuji terhadap nilai yang diharapkan. Misalnya, pembatas CRC dan ACK serta bidang EOF harus berada pada level resesif. Jika satu atau lebih bit ilegal terdeteksi, kesalahan formulir dihasilkan.
- Pemeriksaan pengakuan: node transmisi memeriksa apakah bit ACK telah diatur ke nilai dominan dalam bingkai yang diterima. Sebaliknya, kesalahan pengakuan dikeluarkan.
- Pemantauan bit: setiap node transmisi membandingkan level pada bus dengan nilai bit yang sedang ditulis. Ketika ketidakcocokan terjadi, kesalahan dihasilkan. Ini tidak

berlaku untuk bidang arbitrase atau slot pengakuan. Pemeriksaan kesalahan seperti itu sangat efektif untuk mendeteksi kesalahan lokal yang mungkin terjadi pada node transmisi.

- Bit stuffing: setiap node memverifikasi apakah aturan bit stuffing telah dilanggar di bagian frame dari bit SOF hingga urutan CRC. Dalam kasus ketika enam bit nilai identik dibaca dari bus, kesalahan dihasilkan.

3.2.5 Implementasi

Menurut arsitektur internal, pengontrol CAN dapat diklasifikasikan dalam dua kategori berbeda: BasicCAN dan FullCAN. Secara konseptual, pengontrol BasicCAN dilengkapi dengan satu buffer pengirim dan satu penerima, seperti pada UART konvensional. Fungsi pemfilteran bingkai, dalam hal ini, umumnya diserahkan kepada program aplikasi (yaitu, di bawah kendali pengontrol host), meskipun beberapa jenis pemfilteran dapat dilakukan oleh pengontrol. Untuk menghindari kondisi overrun, skema buffer ganda berdasarkan buffer penerima bayangan biasanya tersedia, yang memungkinkan frame baru diterima dari bus sementara yang sebelumnya sedang dibaca oleh pengontrol host. Contoh pengontrol berdasarkan skema BasicCAN diberikan oleh PCA82C200 Philips.

Pengontrol CAN Intel 82526 dan 82527 didasarkan pada arsitektur FullCAN. Implementasi FullCAN memperkirakan sejumlah buffer internal yang dapat dikonfigurasi untuk menerima atau mengirimkan beberapa pesan tertentu. Dalam hal ini, fungsi penyaringan diimplementasikan langsung di pengontrol CAN. Ketika frame baru yang menarik untuk node diterima dari jaringan, itu disimpan di buffer terkait, di mana kemudian dapat dibaca oleh pengontrol host. Secara umum, nilai-nilai baru hanya menimpa nilai-nilai sebelumnya, dan ini tidak mengarah pada kondisi overrun.

3.3 Fitur Utama

3.3.1 Keuntungan

CAN jauh lebih sederhana dan kuat daripada skema akses berbasis token, misalnya, PROFIBUS ketika digunakan dalam konfigurasi multi-master. Faktanya, tidak perlu membangun atau memelihara cincin logis, atau mengelola sirkulasi token di sekitar stasiun induk. Dengan cara yang sama, ini terasa lebih fleksibel daripada solusi berdasarkan pendekatan time-division multiple access (TDMA) atau pesan gabungan—dua teknik yang diadopsi oleh SERCOS dan INTERBUS, masing-masing. Hal ini karena bertukar pesan tidak harus diketahui terlebih dahulu. Jika dibandingkan dengan skema berdasarkan polling terpusat, seperti FIP, tidak perlu memiliki node dalam jaringan yang bertindak sebagai arbiter bus, yang dapat menjadi titik kegagalan seluruh sistem. Karena semua node adalah master dalam CAN (setidaknya dari sudut pandang mekanisme MAC), sangat mudah bagi mereka untuk memberi tahu peristiwa asinkron, seperti, misalnya, alarm atau kondisi kesalahan kritis. Dalam semua kasus di mana aspek ini penting, CAN jelas lebih baik daripada solusi yang disebutkan di atas.

Dengan skema arbitrase, dipastikan tidak ada pesan yang tertunda oleh pertukaran prioritas yang lebih rendah. Karena protokol CAN tidak bersifat preemptive (seperti yang

terjadi pada hampir semua protokol yang ada), sebuah pesan masih dapat ditunda oleh pesan berprioritas lebih rendah yang transmisinya telah dimulai. Ini tidak dapat dihindari dalam sistem non-preemptive apa pun. Namun, karena ukuran bingkai di CAN sangat kecil (bingkai standar paling panjang 135 bit, termasuk bit barang), waktu pemblokiran yang dialami oleh pesan yang sangat mendesak pada umumnya cukup rendah. Hal ini membuat CAN menjadi jaringan yang sangat responsif, yang menjelaskan mengapa CAN digunakan di banyak aplikasi kontrol waktu nyata meskipun bandwidthnya relatif rendah.

3.3.2 Pertunjukan

Karena titik pengambilan sampel terletak kira-kira setelah tengah setiap bit (posisi yang tepat dapat diprogram melalui register yang sesuai), penundaan propagasi ujung ke ujung termasuk penundaan perangkat keras transceiver harus lebih pendek dari sekitar seperempat. waktu bit (nilai yang tepat tergantung pada konfigurasi waktu bit di pengontrol CAN).

Karena kecepatan propagasi sinyal tetap (sekitar 200 m/µs pada kabel tembaga), ini menyiratkan bahwa panjang maksimum yang diizinkan untuk bus tentu terbatas dan tergantung langsung pada bit rate yang dipilih untuk jaringan. Misalnya, jaringan CAN 250 Kbit/s dapat menjangkau paling banyak 200 m. Demikian pula, panjang bus maksimum yang diizinkan ketika bit rate dipilih sama dengan 1 Mbit/s hanya 40 m. Ini, sampai taraf tertentu, menjelaskan mengapa laju bit maksimum yang diizinkan oleh spesifikasi CAN ISO1 telah dibatasi hingga 1 Mbit/dtk. Perlu dicatat bahwa batasan ini tergantung pada faktor fisik, dan karenanya tidak dapat diatasi dengan cara apa pun dengan kemajuan teknologi transceiver.

3.3.3 Determinisme

CAN mampu menyelesaikan secara deterministik setiap tabrakan yang mungkin terjadi pada bus karena skema arbitrase bitwise nondestruktifnya. Namun, jika node diizinkan untuk menghasilkan pesan asinkron sendiri, ini adalah cara sistem yang digerakkan oleh peristiwa biasanya beroperasi, tidak ada cara untuk mengetahui waktu yang tepat dari pengiriman pesan yang diberikan. Ini karena tidak mungkin untuk memperkirakan jumlah sebenarnya dari tabrakan yang akan dialami sebuah node dengan pesan dengan prioritas lebih tinggi. Perilaku ini menyebabkan kegugupan yang berpotensi berbahaya, yang dalam beberapa aplikasi, misalnya yang terlibat dalam bidang otomotif, dapat memengaruhi algoritme kontrol secara negatif dan memperburuk presisinya. Secara khusus, mungkin saja beberapa pesan melewatkan tenggat waktu yang diinginkan.

3.3.4 Keandalan

Setiap kali aplikasi keselamatan kritis dipertimbangkan, di mana kesalahan komunikasi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan atau bahkan cedera pada manusia, misalnya, dalam sistem x-by-wire otomotif, jaringan yang sangat dapat diandalkan harus diadopsi. Deteksi kesalahan yang andal harus dicapai baik dalam nilai maupun dalam domain waktu. Dalam kasus sebelumnya, teknik konvensional seperti, misalnya, penggunaan CRC yang sesuai sudah memadai. Dalam kasus terakhir, pendekatan yang dipicu waktu tentu saja lebih tepat daripada skema komunikasi berbasis peristiwa yang disediakan oleh CAN. Dalam sistem yang dipicu waktu, semua tindakan termasuk pertukaran pesan, pengambilan sampel sensor, aktuasi nilai yang diperintahkan, dan aktivasi tugas diketahui dan harus dilakukan pada titik

waktu yang tepat. Dalam konteks ini, bahkan kehadiran (atau tidak adanya) pesan pada saat tertentu dapat memberikan informasi yang signifikan (yaitu, memungkinkan penemuan kesalahan).

3.4 Kesimpulan

CAN adalah bus serial multi-master yang memungkinkan transmisi data yang efisien antara node yang berbeda. CAN adalah protokol yang fleksibel, andal, kuat, dan terstandarisasi dengan kemampuan waktu nyata. Karena CAN berbasis pesan dan bukan berbasis alamat, CAN sangat cocok ketika data dibutuhkan oleh lebih dari satu lokasi. CAN sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan pesan singkat dalam jumlah besar dengan keandalan tinggi di lingkungan pengoperasian yang kasar.

BAB 4
SISTEM KONTROL TERDISTRIBUSI MENGGUNAKAN DUAL FIELDBUS

4.1 Pendahuluan

Beberapa kondisi lingkungan dapat menyebabkan perubahan beban yang cepat dalam sistem mesin kapal, yang menyebabkan emisi dan pemborosan sumber daya. Dalam industri kapal, penghematan bahan bakar dan pengurangan emisi merupakan isu populer karena kekurangan energi saat ini dan standar lingkungan yang lebih ketat. Untuk mengatasi masalah tersebut, desain sistem kendali mesin kapal harus memenuhi persyaratan perangkat keras dan perangkat lunak dari *International Association of Classification Societies* (IACS).

Untuk merancang sistem kendali mesin kapal berdasarkan spesifikasi IACS, penting untuk memahami bagaimana teknologi komunikasi dalam industri telah berkembang. Ini terutama berkembang dalam empat tahap selama empat dekade terakhir. Evolusi dimulai dengan kontrol digital langsung dan dialihkan ke kontrol proses hierarkis. Kemudian berkembang menjadi kontrol terdistribusi melalui perangkat medan dekat, dan akhirnya berkembang menjadi sistem kontrol terdistribusi (DCS) berdasarkan jaringan area lokal (LAN) dan fieldbus. Pengenalan DCS dengan LAN dan/atau sistem kontrol fieldbus telah mengurangi kompleksitas pengkabelan yang cukup besar dan telah membuat diagnostik sistem lebih mudah dan lebih cepat.

DCS terdiri dari lima komponen utama: pengontrol, modul input/output (I/O), perangkat lunak aplikasi, jaringan komunikasi, dan workstation. Komponen-komponen ini digabungkan untuk memberikan solusi otomatisasi proses yang luar biasa yang tidak hanya mengoptimalkan kinerja dan efisiensi pabrik, tetapi juga berfungsi sebagai perluasan alat pengambilan keputusan harian manajemen.

Karena jaringan komunikasi, penundaan komunikasi atau kehilangan komunikasi dapat terjadi, yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja atau bahkan ketidakstabilan. Akibatnya, para peneliti telah berfokus pada analisis sistem komunikasi jaringan yang terkait dengan penundaan komunikasi DCS. Pendekatan yang diusulkan dalam telah menyajikan metode untuk pengiriman data real-time dalam sistem kontrol jaringan untuk mengurangi penundaan komunikasi. Selain penundaan komunikasi, di DCS, juga penting bahwa data sampel ditransmisikan dalam periode pengambilan sampel, dan stabilitas sistem kontrol dijamin. Tetapi, sistem kontrol terdistribusi mesin kapal menyiratkan frekuensi pengambilan sampel yang tinggi dari sensor, kemungkinan besar bahwa entitas sistem akan gagal. Cara terbaik untuk mencapai toleransi kegagalan sistem adalah dengan menyediakan redundansi. Redundansi adalah pendekatan umum untuk meningkatkan keandalan dan ketersediaan sistem. Menambahkan redundansi meningkatkan biaya dan kompleksitas desain sistem. Namun, dengan keandalan yang tinggi dari komponen listrik dan mekanik modern, banyak

aplikasi yang tidak memerlukan redundansi untuk berhasil. Namun demikian, jika biaya kegagalan cukup tinggi, redundansi mungkin menjadi pilihan yang menarik.

Minat terbaru dalam redundansi sistem kontrol terdistribusi telah meningkat karena penggunaan CAN dan Modbus untuk sistem kontrol terdistribusi. CAN memperkenalkan protokol berbasis pesan yang dirancang untuk aplikasi otomotif. Selain itu, ia memberikan kecepatan tertinggi dengan keandalan dan dapat digunakan sebagai fieldbus karena biaya beberapa pengontrol dan prosesor yang rendah. Ini juga merupakan salah satu fieldbus yang memiliki kemampuan lebih baik dalam menangani gangguan elektromagnetisme, dan dapat memeriksa kesalahan yang dihasilkan pada bus komunikasi. Walaupun jarak komunikasi sinyal mencapai 10 km, BISA tetap memberikan kecepatan komunikasi digital dengan kecepatan 50 Kbit/s. CAN juga lebih unggul dari protokol lain dalam banyak aspek seperti kemampuan pengiriman real-time, adaptasi, dan keamanan.

Modbus adalah protokol industri populer yang digunakan saat ini untuk alasan yang baik. Ini sederhana, murah, universal, dan mudah digunakan. Meskipun Modbus telah ada sejak abad terakhir hampir 30 tahun, hampir semua vendor peralatan instrumentasi dan otomasi industri besar terus mendukungnya dalam produk-produk baru. Meskipun penganalisis baru, pengukur aliran, dan PLC mungkin memiliki antarmuka nirkabel, Ethernet, atau fieldbus, Modbus masih merupakan protokol yang dipilih sebagian besar vendor untuk diterapkan pada perangkat baru dan lama. Keuntungan lain dari Modbus adalah dapat menjalankan hampir semua media komunikasi, termasuk kabel twisted pair, nirkabel, serat optik, Ethernet, modem telepon, telepon seluler, dan microwave. Ini berarti bahwa koneksi Modbus dapat dibuat di pabrik baru atau yang sudah ada dengan cukup mudah. Faktanya, salah satu aplikasi yang berkembang untuk Modbus adalah menyediakan komunikasi digital di pabrik yang lebih tua, menggunakan kabel twisted pair yang ada.

Sebagian besar penelitian sebelumnya telah mempelajari kontrol dan pemantauan hanya menggunakan CAN. Sebuah metode yang diusulkan dalam meningkatkan seluruh tingkat desain sistem tenaga kapal dan mengurangi biaya yang tidak perlu. Dalam sistem kontrol cerdas disajikan untuk status lambung kapal. Karya ini mempromosikan pemantauan status lambung kapal ke arah digitalisasi, jaringan, dan kecerdasan. Selain itu, algoritma untuk menangani pesan *real-time* pada CAN telah diterapkan pada sistem kontrol jaringan mesin kapal skala besar.

Selanjutnya, disajikan sistem simulasi kendali jarak jauh untuk mesin kapal. Ini menyediakan platform yang menguntungkan untuk penelitian sistem kontrol propulsi diesel utama kelautan. Selain itu, sistem kendali jarak jauh mesin kelautan berdasarkan pemrosesan terdistribusi dan teknologi komunikasi jaringan CAN dual-redundan diusulkan untuk mesin diesel laut kecepatan menengah dan empat langkah. Sistem komunikasinya dirancang berdasarkan protokol komunikasi terbuka CAN, yang memiliki kemampuan untuk menguji sendiri dan memecahkan masalah. Unit sistem komunikasi memiliki fungsi pemeriksaan sendiri dan pemecahan masalah.

Subsistem pengontrol CAN yang toleran terhadap kesalahan diusulkan pada. Itu terdiri dari tiga pengontrol CAN standar dan sirkuit yang dirancang khusus yang mengelola redundansi. Redundansi disediakan oleh manajer redundansi (RM). RM adalah komponen

kunci dari pendekatan ini. Sirkuit ini melakukan semua fungsi yang berkaitan dengan redundansi, termasuk fungsi toleransi kesalahan yang khas, seperti deteksi kesalahan, serta fungsi lainnya, seperti mengoordinasikan pengoperasian pengontrol redundan, bahkan tanpa adanya kesalahan. Namun, semua pendekatan ini tidak mempertimbangkan redundansi tautan komunikasi terhadap kegagalan yang tidak terduga, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem kapal atau bahkan bencana. Sebuah platform jaringan untuk pertukaran informasi terintegrasi di kapal diusulkan pada.

Dalam proposal tersebut, standar yang ditetapkan oleh International Electrotechnical Commission (IEC61162-4) diadopsi sebagai platform jaringan dasar untuk pertukaran informasi terintegrasi. Mengeksplorasi metode dimana pengontrol proporsional terintegrasi turunan (PID) mendapat manfaat dari aktuator pintar dan teknologi fieldbus. Skema aktuator pintar yang cocok untuk pengaturan ulang pengontrol PID diidentifikasi dan diimplementasikan. Antarmuka bus CAN digunakan untuk pertukaran data antara aktuator pintar dan pengontrol proses.

Sistem kontrol diesel kapal terdistribusi yang dioptimalkan berdasarkan konfigurasi master-slave diperkenalkan. Selain banyak perangkat keras yang terpasang pada mesin diesel, sistem kontrol terdistribusi memiliki satu komputer master dan stasiun budak. Komputer master mengontrol stasiun slave dengan mencari informasi kerja. Namun, pendekatan ini tidak mempertimbangkan redundansi tautan komunikasi.

Skema teknik DCS yang ada tidak mempertimbangkan redundansi hubungan komunikasi terhadap kegagalan yang tidak terduga. Untuk mengatasi keterbatasan skema yang ada, diusulkan sistem kendali terdistribusi redundan (RDCS) untuk pemantauan mesin kapal. Dalam pendekatan yang diusulkan, RDCS menggunakan Modbus sebagai tautan komunikasi utama dan fieldbus CAN yang berlebihan. Redundant CAN menyediakan deteksi kesalahan dan transmisi ulang. Ketika terjadi kesalahan dengan Modbus, proses pemulihan dilakukan dengan CAN.

Salah satu tujuan dari pemulihan ini adalah, untuk mengembalikan operasi terkoordinasi yang telah hilang dengan ketidaksesuaian. Modbus digunakan sebagai penghubung komunikasi utama, karena antarmuka mesin kapal dikembangkan berdasarkan MAN232 yang tidak dapat dihubungkan oleh protokol fieldbus lain kecuali Modbus RS232. Dalam sistem kendali mesin kapal, pemantauan seluruh mesin didasarkan pada data yang diterima dari sensor. Karena pentingnya data yang tepat tentang keadaan mesin, kecepatan pengambilan sampel data sensor ditetapkan terlalu tinggi yang tidak dapat didukung oleh protokol bus lapangan lain kecuali Modbus.

CAN bus digunakan sebagai redundant link, karena CAN bus memberikan kecepatan yang lebih tinggi dan pemulihan kesalahan yang lebih cepat daripada protokol fieldbus lainnya di kasus kegagalan. Kontribusi utama dari skema RDCS yang diusulkan adalah, mempertimbangkan redundansi link komunikasi terhadap kegagalan tak terduga untuk menyediakan deteksi kesalahan dan transmisi ulang, dan untuk memenuhi batasan waktu pemulihan yang direkomendasikan oleh IACS. Bab ini merupakan versi lanjutan dari penelitian sebelumnya.

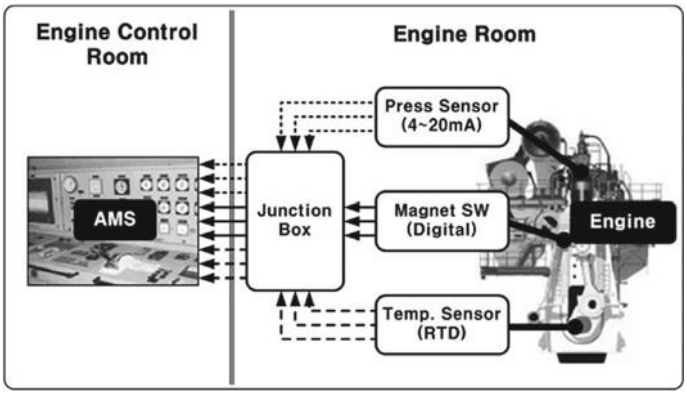
Sisa dari bab ini disusun sebagai berikut. Bagian 4.2 menjelaskan skema desain RDCS. Implementasi singkat dari RDCS yang diusulkan dalam testbed nyata dan hasil perbandingan disajikan di bagian 4.3. Akhirnya, bagian 4.4 menyajikan ringkasan bab dan rencana untuk pekerjaan masa depan.

4.2 Sistem Kontrol Terdistribusi Redundan

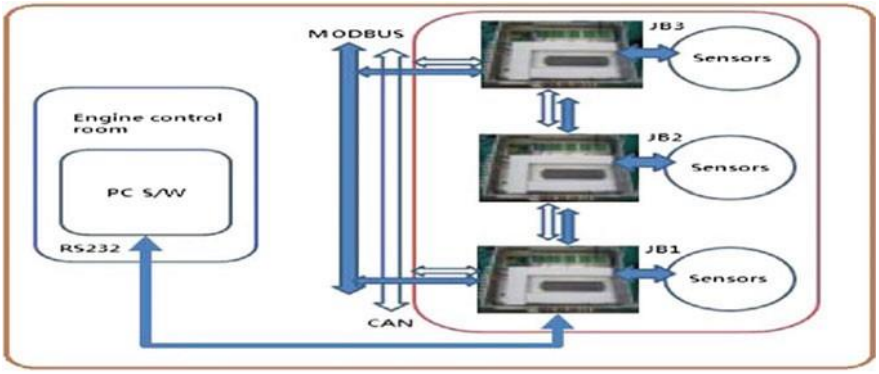
Pada bagian ini, skema desain RDCS yang diusulkan disajikan. Gambar 4.1 menunjukkan arsitektur RDCS keseluruhan untuk mesin kapal. RDCS terdiri dari software (SW) pada personal computer (PC), junction box (JB), dan sensor yang terletak pada mesin kapal. SW memainkan peran utama dalam pengendalian dan pemantauan. Sensor ditempatkan pada silinder mesin kapal dan terhubung ke JB. Setiap JB memiliki micro-control unit (MCU), yang mengontrol fungsi pengolahan data, input dan output dari/ke sensor, dan transmisi data menggunakan fieldbus.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2, sistem kontrol yang diusulkan terdiri dari kotak persimpangan yang terhubung satu sama lain melalui fieldbus ganda. Data dari sensor dikirim ke PC kontrol mesin untuk menganalisis dan memantau bagian-bagian mesin. Komputer pusat ini terletak di ruang kendali mesin. Ini menangkap semua status sensor/sinyal dari mesin dan menampilkan seluruh kondisi ruang mesin.

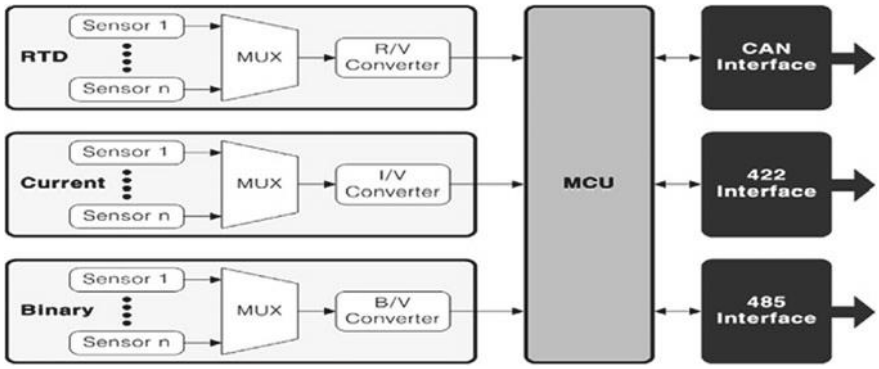
Kotak persimpangan mengubah data dari sensor menjadi data bit yang dapat dibaca secara bersamaan oleh CAN dan Modbus. Setiap kotak persimpangan MCU digunakan bersama oleh antarmuka CAN dan Modbus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Keseluruhan arsitektur RDCS



Gambar 4.2 Ikhtisar RDCS dengan fieldbus ganda

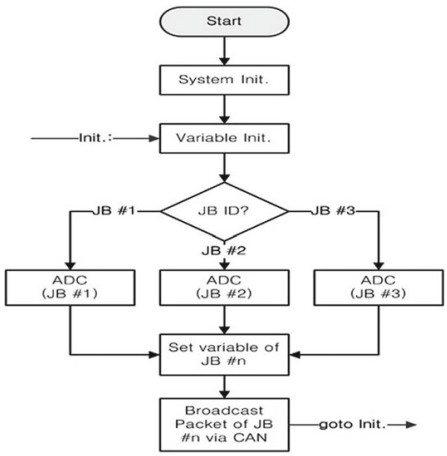


Gambar 4.3 Ikhtisar kotak persimpangan

Gambar 4.4 menunjukkan inisialisasi JB. Proses di kotak persimpangan didasarkan pada rutinitas interupsi dari fieldbus ganda dan jam (pengatur waktu). Rutin interupsi Modbus digunakan untuk berbagi data IO waktu nyata. JB mengirimkan response frame (REP) setelah menerima request frame (REQ), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. JB menempatkan 0xFF (heksadesimal) ke dalam data sensor untuk mencegah kesalahan, yang berarti bahwa tanggapan dari JB lain tidak terjadi dalam interval penundaan. JB mengirimkan data saat menerima permintaan dari DCS. Akhirnya, RDCS mengenali apakah JB beroperasi atau tidak.

Gambar 4.5 menunjukkan prosedur rutin interupsi timer. Batas waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah empat waktu karakter. Rutin interupsi memeriksa pembaruan data saat ini. Jika tidak ada data yang diperbarui, maka data sebelumnya dari JB digunakan untuk koreksi kesalahan lebih lanjut.

Rutin interupsi timer direset setelah menerima REQ. REQ diterima dari JB melalui CAN, yang memproses pesan ke REQ dan akhirnya mengirimkan REP ke JB. Fungsi rutin interupsi CAN ditunjukkan pada Gambar 4.5.

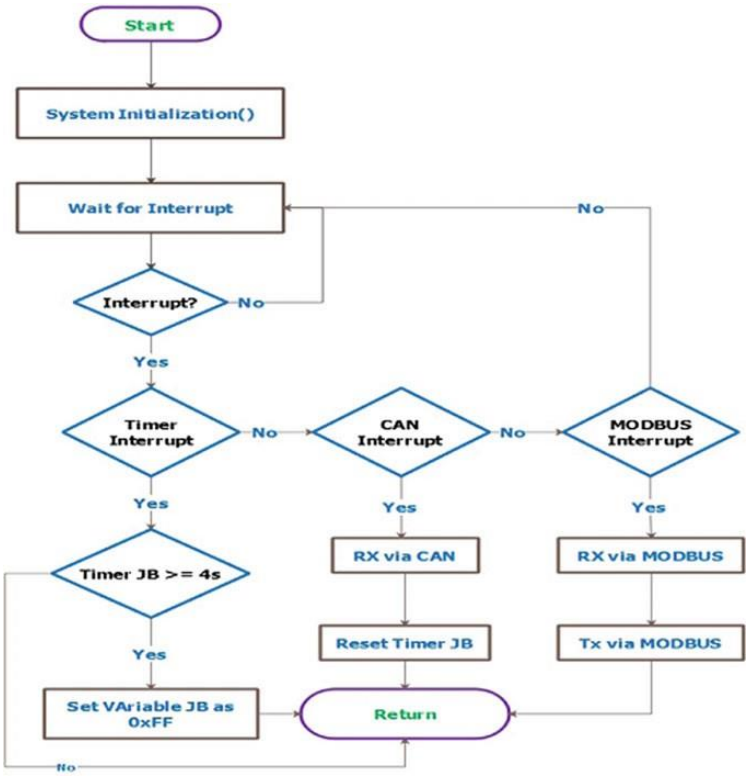


Gambar 4.4 Proses inisialisasi Junction box

Seperti disebutkan di atas, pendekatan ini berfokus pada redundansi dalam sistem kontrol mesin kapal untuk mencegah hubungan komunikasi terhadap kegagalan yang tidak

terduga. Aspek kunci dari sistem kontrol adalah komunikasi antara perangkat elektronik (field-bus node). Dalam bab ini, dua fieldbus: Modbus dan bus CAN digunakan sebagai alat komunikasi untuk sistem kendali mesin kapal. Fitur luar biasa dari skema RDCS yang diusulkan adalah fieldbus ganda, yang menyediakan redundansi jika terjadi kegagalan sistem.

Untuk meningkatkan keandalan dalam sistem pemantauan alarm, dua fieldbus utama Modbus dan bus CAN alternatif digunakan. Tujuan utama dari bab ini adalah untuk memenuhi batasan waktu pemulihan yang direkomendasikan oleh IACS. Ketika terjadi kesalahan selama transmisi data, status Modbus primer secara otomatis diubah menjadi status tidak aktif, dan status bus CAN diubah menjadi aktif.



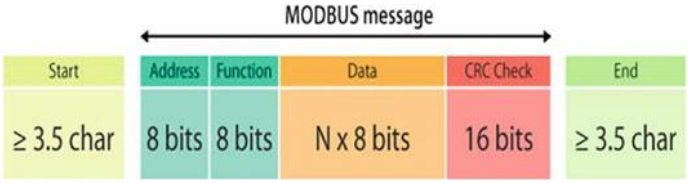
Gambar 4.5 Diagram blok untuk rutinitas interupsi

4.2.1 Protokol Modbus

Protokol Modbus pertama kali diterbitkan pada 1970-an oleh American Modicon Company dan digunakan dalam komunikasi PLC. Ini adalah protokol komunikasi real-time standar terbuka yang banyak digunakan dalam pengontrol dan instrumen pengukuran. Baru-baru ini, itu menjadi standar internasional di bidang otomasi industri. Protokol Modbus mendukung antarmuka komunikasi RS232, RS422, RS485 tradisional, serta antarmuka Ethernet.

Protokol Modbus memiliki dua mode transmisi: ASCII dan unit terminal jarak jauh (RTU). Dalam mode ASCII, pesan diekspresikan dengan kode ASCII dan menggunakan pemeriksaan kesalahan redundansi longitudinal. Dalam mode RTU, pesan dinyatakan dalam format desimal codec biner dan menggunakan pemeriksaan kesalahan cyclic redundant

checksum (CRC). Modbus RTU banyak digunakan dalam sistem manajemen gedung dan sistem otomasi industri. Penerimaan yang luas ini sebagian besar disebabkan oleh kemudahan penggunaan Modbus RTU dan efisiensi komunikasi yang tinggi. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan manfaat di atas, mode transmisi RTU dipilih untuk pendekatan yang diusulkan.



Gambar 4.6 Format bingkai Modbus RTU

Tabel 4.1 Deskripsi format bingkai RTU

Nama	Panjang (Bit)	Keterangan
Start	28	Setidaknya 3 1/2 karakter kali hening (kondisi tanda)
Address	8	Alamat stasiun
Function	8	Kode fungsi
Data	*n* *8	n, jumlah byte data
CRC	16	Pemeriksaan kesalahan
End	8	Setidaknya 3 1/2 karakter kali hening antar frame

Dalam skema yang diusulkan, Modbus digunakan sebagai fieldbus utama. Ini sering digunakan untuk menghubungkan komputer pengawas dengan RTU. Protokol Modbus cocok untuk sistem dengan frekuensi sampling berkecepatan tinggi. Sistem kontrol mesin kapal memonitor seluruh mesin berdasarkan data yang diterima dari sensor. Karena pentingnya data presisi pada kondisi mesin, kecepatan pengambilan sampel data sensor ditetapkan pada tingkat yang terlalu tinggi; dengan demikian, tidak dapat didukung oleh beberapa protokol fieldbus kecuali Modbus. Modbus RTU adalah protokol serial terbuka (RS-232 atau RS-485) yang diturunkan dari arsitektur master/slave.

Pesan Modbus RTU adalah CRC 16-bit sederhana. Kesederhanaan pesan-pesan ini membantu memastikan keandalan. Karena kesederhanaan ini, struktur register Modbus RTU 16-bit dasar dapat digunakan untuk mengemas dalam floating point, tabel, teks ASCII, antrian, dan data lain yang tidak terkait.

Gambar 4.6 menunjukkan format bingkai Modbus. Perintah Modbus berisi alamat perangkat yang dimaksudkan. Hanya perangkat yang dimaksud yang bertindak berdasarkan perintah, meskipun perangkat lain mungkin menerimanya. Perintah dasar dapat menginstruksikan RTU untuk mengubah nilai di salah satu registernya. Perintah digunakan untuk kontrol; ketika node menerima perintah, ia mengembalikan satu atau lebih. Tabel 4.1 mencantumkan detail format bingkai Modbus RTU.

Parameter komunikasi Modbus tercantum pada Tabel 4.2. Perhitungan waktu bit total frame Modbus RTU tergantung pada Fungsi Modbus yang digunakan.

Tabel 4.2 Parameter komunikasi Modbus

Serial interface	**RS485**
Protocol	Modbus RTU standard
Baud rates	9600 bps
Data hits	8
Parity	Even
Stop bits	1
Function code	03 (read holding registers)
Master address	01 (AMS)
Slave address	02 (JB1)

Dalam hal ini total waktu bit dihitung dengan

$$T_{\mathrm{MD}} = T_{\mathrm{Mbit}} * D_{\mathrm{L}}\ (\mathrm{ms}), \qquad (4.1)$$

di mana T Mbit adalah waktu transmisi per setiap byte yang dihitung dengan menambahkan semua bit karakter dibagi dengan kecepatan transmisi dan DL adalah panjang bingkai Modbus yang dihitung dengan menjumlahkan byte permintaan dan respons.

4.2.2 Protokol CAN

CAN adalah bus asinkron serial yang digunakan dalam aplikasi instrumentasi untuk industri seperti mobil. Pesan digital mereka, yang dikenal sebagai frame CAN, disiarkan oleh node pada bus bersama ini melalui transceiver elektronik. Versi paling populer dari bus CAN memiliki tiga kabel, satu kabel ground, dan dua sinyal CAN diferensial. Node pada bus menyiarkan frame CAN saat bus dalam keadaan idle. Node penerima mengakui penerimaan frame yang benar dengan memasukkan bit dominan pada posisi bit pengakuan. Dimungkinkan untuk dua node secara bersamaan mulai mentransmisikan frame CAN. Node dengan prioritas lebih rendah CAN frame menarik diri dalam kasus pertikaian bus.

Selain itu, spesifikasi CAN tidak membatasi baud rate ke nilai tertentu. Ada banyak baud rate yang populer. Namun, semua node pada bus harus beroperasi pada baud rate tetap yang telah ditentukan sebelumnya. Baud rate maksimum yang diizinkan pada bus CAN adalah 1 Mbps. Tidak ada sinyal clock terpisah pada bus CAN untuk menyinkronkan node; frame CAN sendiri digunakan untuk sinkronisasi jam pada semua node. Untuk mencapai tujuan ini secara efektif, frame CAN memiliki pengkodean NRZ-5. Jika ada 5 bit pada level yang sama dalam frame CAN, bit keenam dari level yang berlawanan diisi oleh pemancar. Bit tambahan yang dipelajari ini dihapus oleh node penerima sebelum memproses frame CAN.

Jam CAN yang digunakan untuk mengambil sampel nilai bit dari bingkai CAN berasal dari jam yang berjalan pada frekuensi yang jauh lebih tinggi. Periode waktu jam ini dikenal sebagai kuanta satu kali dan dilambangkan dengan T q. Waktu satu bit dari jam CAN terdiri dari banyak kuanta waktu (T q).

Total durasi clock CAN adalah jumlah dari segmen sinkronisasi, segmen propagasi, segmen fase 1, dan segmen fase 2, seperti yang diberikan pada Gambar 4.7. Segmen

sinkronisasi 1 T q dalam periode clock disebabkan oleh penundaan sinkronisasi yang dapat terjadi karena segmen sinkronisasi dapat terjadi setiap saat dalam satu periode T q.

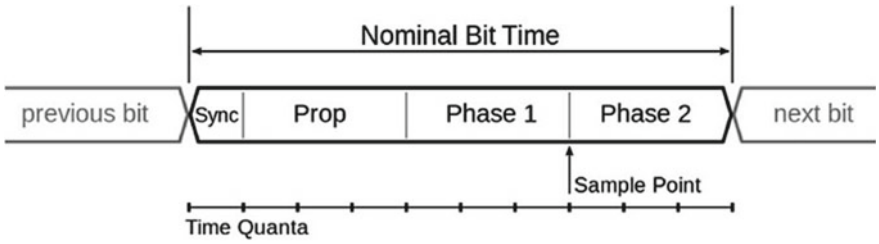
Segmen fase 1 dan 2 digunakan untuk menangani kesalahan fase. Segmen sinkronisasi digunakan untuk menyinkronkan berbagai node bus. Pada transmisi, level bit saat ini dikeluarkan pada awal segmen ini. Jika ada perubahan status bit antara bit sebelumnya dan bit saat ini, perubahan status bus diharapkan terjadi dalam segmen ini oleh node penerima.

Segmen waktu propagasi digunakan untuk mengkompensasi keterlambatan propagasi sinyal pada jalur bus dan melalui transceiver dari node bus di seluruh jaringan. Segmen fase 1 digunakan untuk mengkompensasi kesalahan fase tepi. Segmen ini dapat diperpanjang selama sinkronisasi ulang. Titik sampel adalah waktu di mana level bus dibaca dan diinterpretasikan sebagai nilai bit masing-masing, dan lokasinya berada di akhir segmen fase 1 (antara dua segmen fase).

Segmen fase 2 juga digunakan untuk mengkompensasi kesalahan fase tepi. Segmen ini dapat dipersingkat selama sinkronisasi ulang; namun, panjangnya harus setidaknya selama waktu pemrosesan informasi, dan tidak boleh lebih besar dari panjang segmen fase 1 [24]. Sesuai dengan spesifikasi CAN 2.0A, kecepatan baud dalam pekerjaan ini diatur ke 250 kbps, dan panjang data diatur ke 8 byte. Total durasi CAN T Cbit terdiri dari penjumlahan segmen *non-overlapping* dari waktu bit nominal pada Gambar 4.7 dan lebar lompatan sinkronisasi yang menyesuaikan jam bit [25]. Oleh karena itu T Cbit diberikan oleh

$$T_{\text{Cbit}} = T_{\text{syns}} + T_{\text{prs}} + T_{\text{phs1}} + T_{\text{phs2}} + T_{\text{sjw}} * 8, \qquad (4.2)$$

di mana k Total waktu bit. Untuk spesifikasi CAN menggunakan Persamaan. (4.1) dapat digambarkan sebagai:



Gbr. 4.7 CAN bit timing dengan 10-time quanta per bit

Tabel 4.3 Parameter dan nilai awal

Segmen sinkronisasi T sinkron	500
Segmen waktu propagasi T prs	2
Segmen fase T ph1 1	1
Segmen fase T ph2 2	2
Lebar lompatan sinkronisasi T sjw	1

$$T_{CD} = \frac{131}{T_{Cbit}} \text{ (ms)}, \qquad (4.3)$$

dimana total panjang data adalah 131 byte sesuai dengan spesifikasi CAN 2.0A. Tabel 4.3 mencantumkan parameter dan nilai awal yang digunakan dalam Persamaan. (4.2).

4.2.3 Redundansi

Sistem kendali mesin kapal merupakan sistem yang kritis terhadap waktu. Oleh karena itu, desain sistem yang diusulkan harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh standar. Persyaratan ditentukan oleh IACS untuk desain DCS. Tabel 4.4 mencantumkan persyaratan untuk desain DCS dalam hal perangkat keras dan perangkat lunak.

Untuk memenuhi persyaratan desain IACS, sistem kontrol yang diusulkan menggunakan bus lapangan ganda heterogen. Fieldbus ganda heterogen terdiri dari Modbus RTU dan CAN. Modbus RTU adalah media komunikasi utama di antara perangkat elektronik sistem kontrol. Modbus dipilih sebagai jalur komunikasi utama, karena kompatibel dengan antarmuka mesin kapal (MAN) yang ada. Ketika terjadi kegagalan dengan Modbus RTU, proses pemulihan dilakukan oleh CAN yang berlebihan. Karena kecepatan data rate yang rendah, Modbus tidak dapat digunakan sebagai link komunikasi redundan. Tapi, CAN memiliki kecepatan data yang tinggi, dan pemulihan kesalahan yang lebih cepat daripada Modbus. Gambar 4.8 dan 4.9 mengilustrasikan pengaturan waktu pada saluran Modbus RTU dan proses pendeteksian kesalahan.

Tabel 4.4 Persyaratan desain IACS

Persyaratan perangkat keras (HW)	Persyaratan perangkat lunak (SW)
Redundansi CPU	Protokol penggunaan Standar Internasional
Redundansi daya	Isolasi data dan tautan daya
Waktu pemulihan HW	waktu respons SW
Memori non-volatil	Pemeriksaan redundansi siklik
Penggunaan	Jaminan transmisi ulang

Bingkai pesan Modbus RTU dipisahkan oleh interval diam dari waktu 3,5 karakter (2,96 ms). Interval senyap karakter dalam di setiap bingkai diatur ke waktu 1,5 karakter (1,25 mdtk). Fitur Modbus ini digunakan untuk mendeteksi kesalahan. Dalam penelitian ini, diasumsikan bahwa, kesalahan terjadi ketika interval diam lebih besar dari waktu 1,5 karakter. Ketika terjadi kesalahan, bingkai pesan dinyatakan tidak lengkap dan kemudian dibuang oleh penerima, baik DCS atau JB. Interval waktu total di mana kesalahan pada setiap frame terdeteksi disebut t(4.5) dan dihitung oleh setiap perangkat elektronik (dalam hal ini, kotak persimpangan), yang mengirim data satu sama lain dan PC pemantau

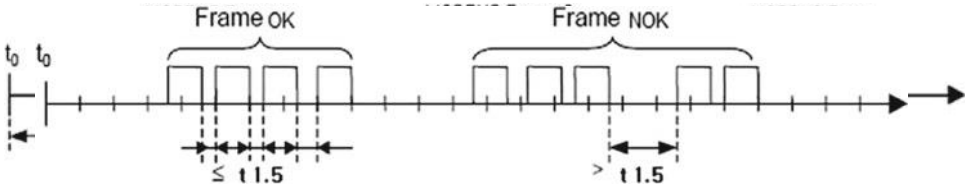
$$t(4.5) = t(1.5) + t(3.5), \qquad (4.4)$$

di mana t(3.5) adalah waktu karakter interval senyap, dan t(1.5) adalah waktu karakter interval senyap bagian dalam di setiap frame.

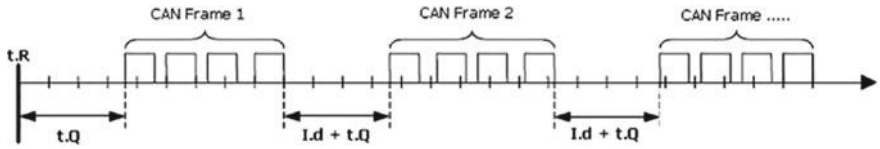
Ketika kotak persimpangan tidak dapat menerima bingkai Modbus setelah waktu 3,5 karakter, maka ia akan mengirimkan pesan REQ Modbus untuk memeriksa ketersediaannya dan menunggu pesan REP. Jika junction box tidak dapat menerima pesan REP tepat waktu, bus CAN di-switch untuk menjaga proses komunikasi. Gambar 4.10 menunjukkan deteksi penundaan antar-bingkai dalam bus CAN.Gambar 4.11 menjelaskan proses redundansi dalam DCS yang diusulkan. Waktu yang dibutuhkan proses redundansi T sw dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$T_{\mathrm{sw}} = E[T_{\mathrm{r}} + t(3.5) + T_{\mathrm{R}}] + E\left[t(4.5) + I_{\mathrm{d}} + T_{\mathrm{q}}\right], \qquad (4.5)$$

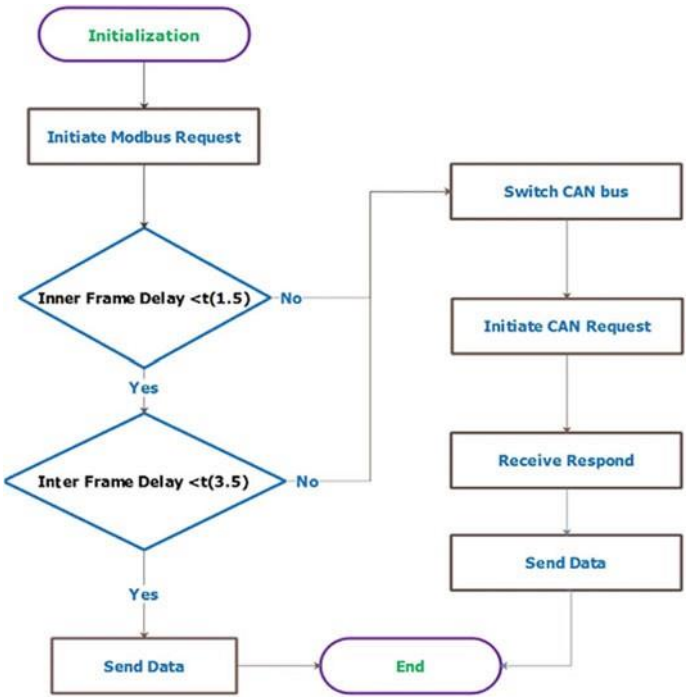
Gambar 4.8 Deteksi penundaan antar-bingkai di Modbus



Gambar 4.9 Deteksi penundaan antar karakter di Modbus



Gambar 4.10 Deteksi penundaan antar-bingkai dalam bus CAN



Gambar 4.11 Blok diagram proses redundansi

Tabel 4.5 Parameter dan nilai untuk menghitung peralihan waktu

T r	Kirim permintaan jarak jauh ke Modbus
T R	Terima respons bulu bingkai dari Modbus
T q	0,5 ms, pada 250 kbps dalam CAN
*I*d	Penundaan internal untuk mendeteksi kesalahan

dimana E [Tr + t(3.5) + TR] adalah perkiraan waktu total yang dibutuhkan untuk mengirim dan menerima permintaan bingkai, dan E t(4.5) + Id + Tq adalah waktu yang diharapkan untuk mengidentifikasi kesalahan dan penundaan. Notasi untuk Persamaan. (4.5) diberikan pada Tabel 4.5.

Menurut IACS, waktu switching (pemulihan) harus kurang dari 2 detik. Untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol yang diusulkan, sebuah testbed dibuat. Ditentukan apakah sistem yang diusulkan memenuhi persyaratan IACS. Serangga. 4.3, implementasi sistem kendali mesin kapal yang diusulkan dijelaskan secara singkat.

4.3 Implementasi dan Uji Eksperimental

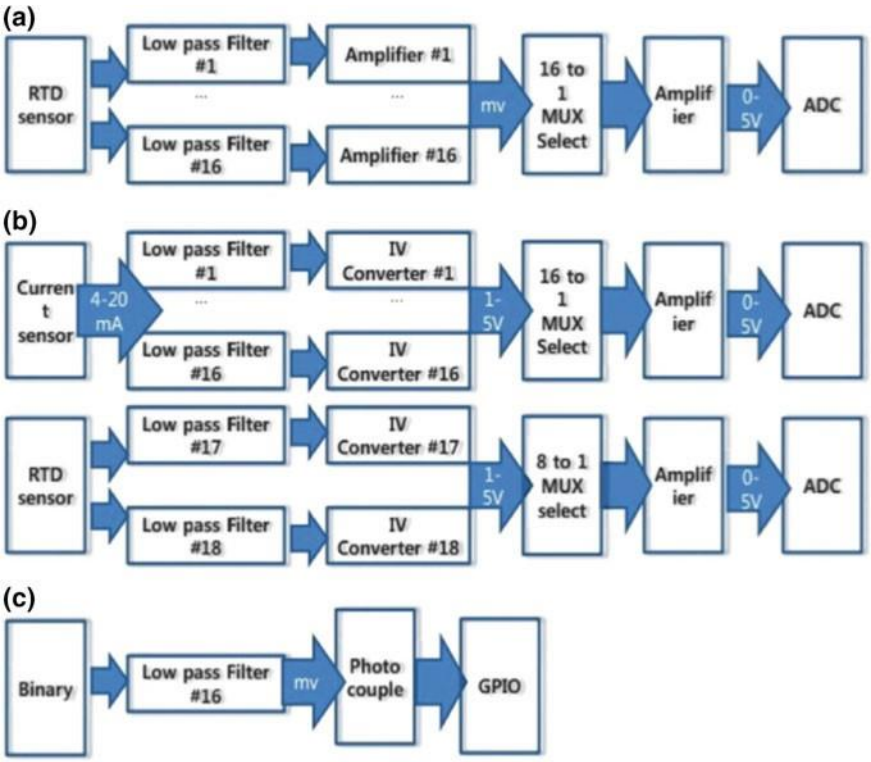
Pada bagian ini, implementasi dan evaluasi kinerja DCS yang diusulkan disajikan. Dalam implementasinya, tiga JB dibuat menggunakan kontroler CAN dalam AT90CAN128. JB memiliki satu MCU, ATMEGA AT90CAN128, yang merupakan MCU delapan bit yang menyertakan pengontrol CAN. Kontroler CAN pada MCU sepenuhnya kompatibel dengan spesifikasi CAN 2.0A, dan 2.0B. Ini memberikan fitur yang diperlukan untuk mengimplementasikan kernel dari protokol bus CAN sesuai dengan model referensi OSI. Kontroler CAN dapat menangani semua jenis frame, termasuk data, remote, error, dan overload, sementara juga mencapai bit rate 1 Mbps [27]. Spesifikasi dari berbagai sensor tercantum pada Tabel 4.6.

Konverter analog ke digital (ADC) mengubah sinyal analog dari berbagai detektor suhu resistansi (RTD) menjadi nilai digital. Gambar 4.12 menyajikan diagram blok proses konversi di JB. ADC terhubung ke multiplexer analog delapan saluran yang mengakomodasi delapan input tegangan ujung tunggal yang dibangun dari pin Port F. Input tegangan ujung tunggal mengacu pada 0 V (GND). Perangkat ini juga mendukung 16 kombinasi input tegangan diferensial. Pasangan input diferensial ADC1 dan ADC0, serta ADC3 dan ADC2, dilengkapi dengan tahap penguatan yang dapat diprogram, memberikan amplifikasi 0 (1), 20 (10), atau 46 (200) dB dari tegangan input diferensial sebelum ADC.

Tabel 4.6 Spesifikasi sensor

	Kondisi	Jenis	jumlah	Jangkauan
JB #1	RTD	suhu	10	0–200 °C
		suhu	10	−50 to 600 °C
	4–20 mA	suhu	10	−50 to 600 °C
		Tekan.	7	0–40 kg/cm^2

	SW	Rendah	5	Logic
		Tinggi	1	Logic
JB #2	RTD	suhu	15	0–200 °C
	4–20 mA	Tekan.	1	0–200 kg/cm^2
	S/W	Rendah	2	Logic
JB #3	RTD	suhu	8	0–200 °C
		suhu	1	0–100 °C
		suhu	18	−50 to 120 °C
	SW	Rendah	3	Logic
		Tinggi	8	Logic



Gambar 4.12 Blok diagram sistem konversi sinyal

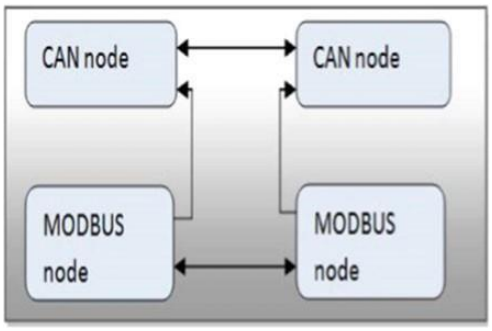


Gambar 4.13 Ikhtisar simpul CAN

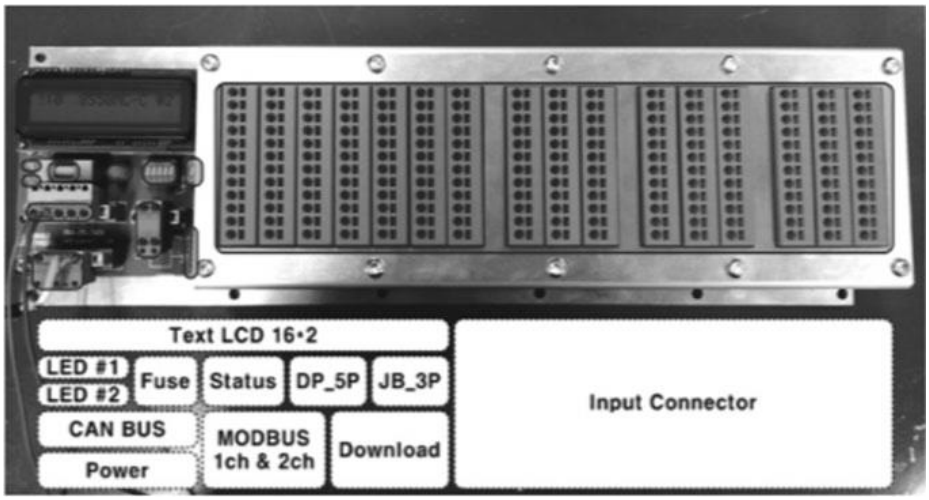
.

Tujuh saluran input analog diferensial berbagi terminal negatif yang sama (ADC1), sementara input ADC lainnya dapat dipilih sebagai terminal input positif. Jika gain satu atau sepuluh digunakan, resolusi 8-bit dapat diharapkan. ADC berisi rangkaian sampel dan penahan yang memastikan bahwa tegangan input ke ADC dipertahankan pada tingkat yang konstan selama konversi.

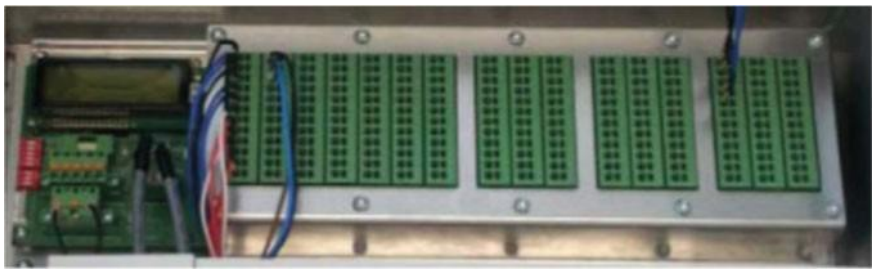
Konverter RV digunakan untuk mengukur suhu untuk mengubah nilai register dari sensor suhu menjadi tegangan dari 0 hingga 5 dalam amplitudo setelah penyaringan. Hasil dari ADC untuk tegangan merupakan nilai digital dari data sensor. Setiap JB terdiri dari dua konverter RV yang mendukung maksimal 32 input. Selain itu, konverter RV digunakan untuk mengukur suhu termokopel, gas buang dari silinder, dan air murni pendingin dengan sensor tekanan. Nilai keluaran sensor adalah dari 2 hingga 40 mA.



Gambar 4.14 Komunikasi antara Modbus dan CAN bus



Gambar 4.15 Ikhtisar JB



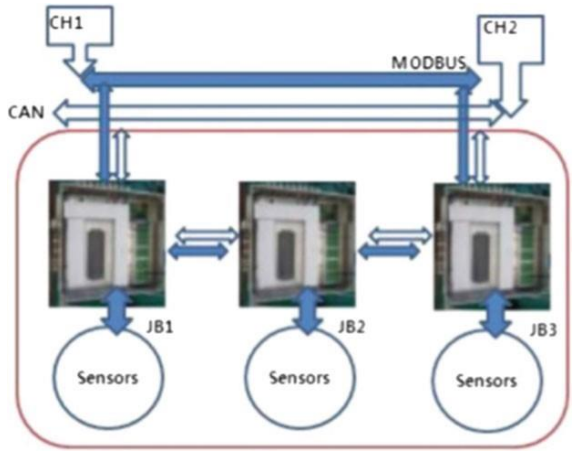
Gambar 4.16 Ikhtisar PCB



Gambar 4.17 Uji Eksperimental DCS

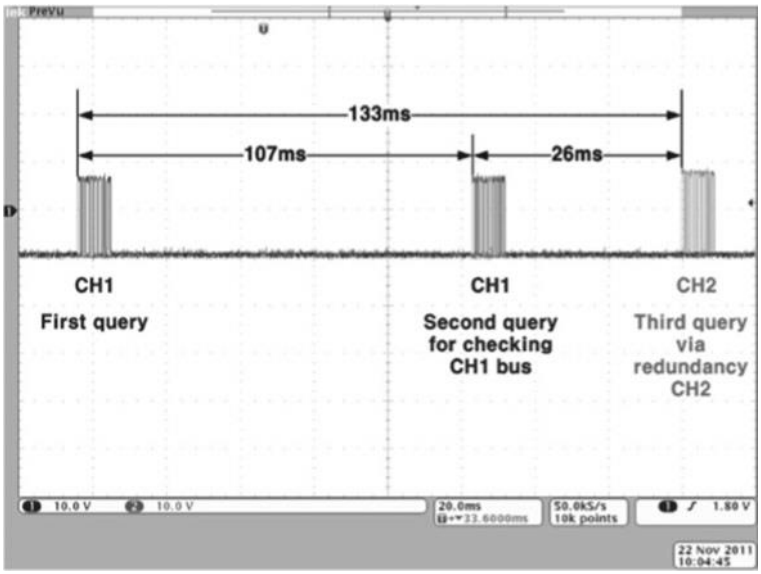


Gambar. 4.18 Hasil eksperimen pada layar perangkat pemantauan dan kontrol jarak jauh Konverter BV menunjukkan status sakelar kontrol, yang dapat dihidupkan dan dimatikan, dan sensor untuk mendeteksi aliran oli pendingin.



Gambar 4.19 Pengaturan Testbed

Sensor untuk mendeteksi aliran oli pendingin mengukur suhu bantalan utama, kadar air pelumas dalam sistem mesin kapal, dan level oli pendingin, yang menyebabkan sinyal output menyala dan mati. Konverter BV menghilangkan kebisingan di seluruh mesin melalui coupler foto setelah penyaringan. Data yang diatur digunakan untuk input MCU dengan output input tujuan umum.



Gambar 4.20 Tangkapan layar osiloskop selama proses pemulihan

Tabel 4.7 Notasi dan deskripsi

Notasi	Keterangan
T MD	Total waktu bit Modbus
T Mbit	Waktu transmisi Modbus
*D*L	Panjang bingkai modbus
T Cbit	Total durasi CAN
T syns	Segmen pertama dalam CAN bit timing
T prs	CAN segmen waktu propagasi
T phs1	BISA segmen fase 1
T phs2	CAN fase segmen 2
T sjw	Lebar lompatan sinkronisasi
T CD	Total waktu bit untuk spesifikasi CAN
T r	Permintaan bingkai ke Modbus
T R	Respon bingkai dari Modbus
T sw	Total waktu redundansi
*I*d	Penundaan internal untuk mendeteksi kesalahan
IEC 61162-4	Antarmuka digital kapal dengan banyak pembicara dan banyak pendengar
RS 232	Standar AN5I/EIA-232 untuk komunikasi serial titik ke titik
RS 422	Standar EIA RS-422-A untuk komunikasi serial
RS 485	Standar EIA-485 untuk komunikasi serial dan peningkatan melalui RS422

AT90CAN128	Mikrokontroler CMOS 8-bit berdaya rendah
ATMEGA	Mikrokontroler chip tunggal dalam keluarga megaAVR
PCA482C250	Chip transceiver CAN digunakan dalam aplikasi otomotif dan industri

Chip transceiver CAN terhubung ke JB untuk transmisi data I/O. Philips PCA82C250 digunakan sebagai chip transceiver CAN, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13. Sebuah register terminal 120 digunakan untuk memungkinkan CAN untuk mencocokkan ujung impedansi fieldbus. PCA82C250 adalah produk transceiver canggih yang digunakan dalam aplikasi industri otomotif dan umum dengan kecepatan transfer hingga 1 Mbps. Mereka mendukung representasi sinyal bus diferensial yang dijelaskan dalam standar internasional untuk aplikasi kecepatan tinggi CAN di dalam kendaraan (ISO11898). Dalam pekerjaan ini, chip transceiver PCA82C250 digunakan sebagai jembatan komunikasi antara Modbus dan CAN, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.

Tampilan atas dari JB yang diimplementasikan ditunjukkan pada Gambar 4.15. Status pemrosesan ditampilkan pada layar kristal cair dengan teks. PCB sepenuhnya diverifikasi untuk produk selama pengujian, termasuk suhu, kelembaban, benturan, dan gangguan eksternal. Gambaran umum PCB ditunjukkan pada Gambar 4.16. Testbed didirikan untuk evaluasi kinerja ditunjukkan pada Gambar. 4.17.

Hasil pemrosesan ditampilkan pada remote PC, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.18. Pertukaran data dijalankan dari JB ke PC. Selain itu, data respons tiba dalam 1 detik, bahkan jika nilai input sensor berubah secara acak. Skenario untuk evaluasi redundansi ditunjukkan pada Gambar 4.19. Dalam skenario, tiga JB dan tiga sensor digunakan. Pertama, sistem diinisialisasi. Kemudian, sinyal input di JB 1 dan JB 3 masing-masing diperiksa dengan Modbus dan CAN. Untuk memeriksa redundansi sistem, langkah-langkah berikut dilakukan. Pertama, bingkai permintaan dikirim melalui Modbus oleh JB 1, dan Modbus terputus untuk menyebabkan kesalahan sistem. Bingkai respons berhasil dikembalikan melalui CAN setelah pemrosesan redundansi.

Bingkai permintaan dikirim melalui Modbus. Kemudian, terjadi kesalahan dengan memutuskan sambungan Modbus. Bingkai respons berhasil dikembalikan melalui JB3 setelah pemrosesan redundansi. Gambar 4.20 menunjukkan siklus redundansi pada osiloskop. Fieldbus secara otomatis berubah dari Modbus ke CAN ketika terjadi kesalahan. Waktu redundansi diperlukan dalam waktu 2 detik menurut IACS. Deskripsi notasi yang digunakan dalam bab ini dijelaskan pada Tabel 4.7.

4.4 Kesimpulan

Dalam bab ini, DCS untuk sistem mesin kapal diusulkan. Pekerjaan sebelumnya dalam lingkup ini dianggap hanya protokol fieldbus tunggal. Pendekatan yang ada sehingga memiliki masalah mengenai redundansi link komunikasi terhadap kegagalan tak terduga. Untuk mengatasi keterbatasan skema yang ada, DCS yang diusulkan menggunakan Modbus sebagai link komunikasi utama dan bus CAN redundan. Ketika kesalahan terjadi dengan

Modbus, bus CAN yang berlebihan menyediakan deteksi kesalahan dan skema pemulihan melalui transmisi ulang.

DCS yang diusulkan hemat biaya dan fleksibel untuk membangun sistem kontrol. Melalui evaluasi eksperimental, skema desain yang diusulkan memecahkan masalah komunikasi dengan mengganti bus lapangan dengan cara yang andal. Menurut hasil, waktu pemulihan berada dalam kerangka waktu yang disyaratkan oleh IACS. Oleh karena itu, komunikasi redundan diverifikasi antara DCS dan tiga JB menggunakan fieldbus ganda. Dalam pekerjaan di masa mendatang, kami akan memverifikasi keandalan skema DCS yang diusulkan untuk lebih dari tiga JB.

BAB 5
MENERAPKAN MODBUS DAN ANTARMUKA KONVERSI PROTOKOL CAN BUS

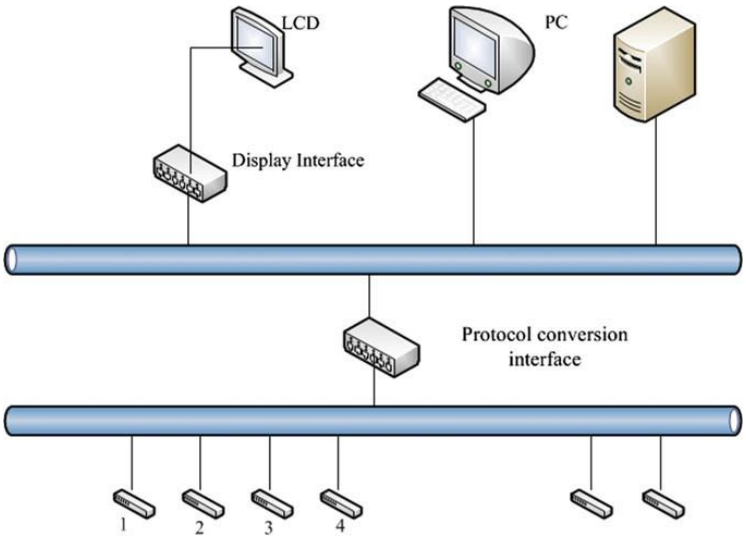
5.1 Pendahuluan

Setiap sistem tertanam umumnya terdiri dari satu atau lebih mikroprosesor atau mikrokontroler dan sejumlah periferal IC seperti EEPROM, real-time clock (RTC), watchdog timer dan sensor, dll. Dalam desain sistem komunikasi, tantangan utama adalah Kemampuan untuk membuat komponen yang berbeda dari pabrik yang berbeda berkomunikasi satu sama lain Sejumlah bus lapangan tersedia untuk bertukar data serial antara satu atau lebih pengontrol dan sejumlah perangkat lapangan yang berkomunikasi satu sama lain.

Namun, standar fieldbus saat ini tidak seragam, yang membawa banyak kesulitan dalam desain sistem, karena peralatan yang berbeda dari produsen yang berbeda mengikuti standar yang berbeda. Untuk desain sistem yang andal, ada kebutuhan antarmuka komunikasi yang efisien untuk memungkinkan komunikasi. Banyak protokol komunikasi serial seperti RS -232 / RS-485, I2C, SPI, Modbus dan CAN bus, dll., digunakan dalam sistem tertanam. Semua protokol ini memiliki kelebihan dan keterbatasannya sendiri.

Umumnya, manufaktur yang berbeda mengikuti protokol dan standar yang berbeda. Hal ini membuat tugas integrasi sistem menjadi sangat sulit. Oleh karena itu, harus ada beberapa cara untuk mempermudah tugas ini. Antarmuka konversi protokol adalah salah satu solusi yang mungkin untuk masalah ini. CAN bus dan Modbus adalah dua protokol fieldbus yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol industri Bab ini mengimplementasikan bus CAN ke antarmuka konversi protokol Modbus

Kedua sisi koneksi serial diisolasi untuk memberikan perlindungan sempurna terhadap petir, lonjakan arus, transien tegangan tinggi Setelah pengenalan singkat Gambar 5.1 menggambarkan gambaran dasar sistem dan bagaimana perangkat yang berbeda terhubung dalam sistem.



Gambar 5.1 Struktur sistem

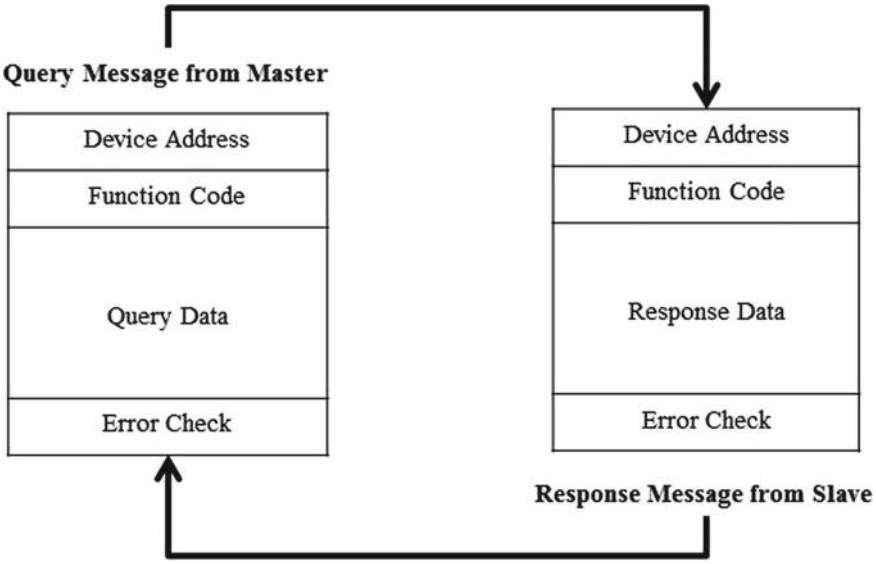
5.2 Modbus dan CAN Bus

5.2.1 Modbus

5.2.1.1 Ikhtisar

Modbus adalah protokol komunikasi yang banyak digunakan dalam aplikasi kontrol terdistribusi. Modbus awalnya diperkenalkan pada tahun 1979 oleh Modicon (perusahaan yang sekarang dimiliki oleh Schneider Electric) sebagai protokol jalur serial untuk komunikasi antara perangkat kontrol "cerdas". Modbus telah menjadi de facto standar yang diterapkan oleh banyak pabrikan dan digunakan di berbagai industri Modbus adalah protokol komunikasi master-slave yang menjelaskan proses yang digunakan master untuk meminta akses ke slave, dan bagaimana slave akan menanggapi permintaan ini, dan bagaimana kesalahan akan dideteksi dan dilaporkan.

Master dapat memulai transaksi (disebut "queries") dan slave merespons dengan memberikan data yang diminta ke master, atau dengan mengambil tindakan yang diminta dalam kueri. Master dapat menangani slave individu, atau dapat memulai siaran .pesan ke semua budak.Budak mengembalikan pesan (disebut "respons") ke pertanyaan yang ditujukan kepada mereka secara individual.Respons tidak dikembalikan ke permintaan siaran dari master Gambar 5.2 menjelaskan siklus permintaan-respons *master-slave*.



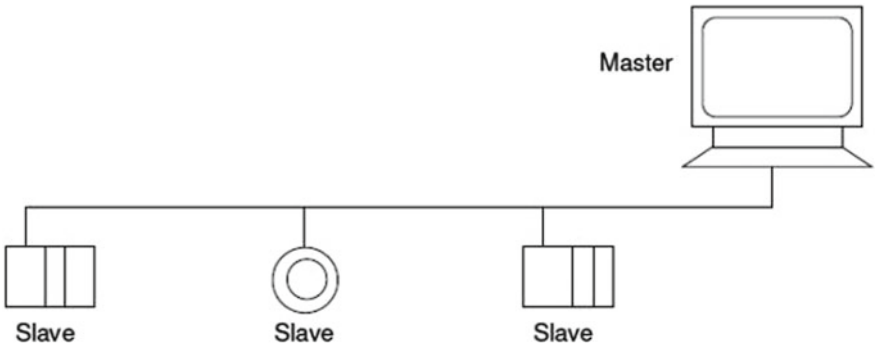
Gambar 5.2 Siklus permintaan-respons master-slave Modbus

5.2.1.2 Format Bingkai Pesan

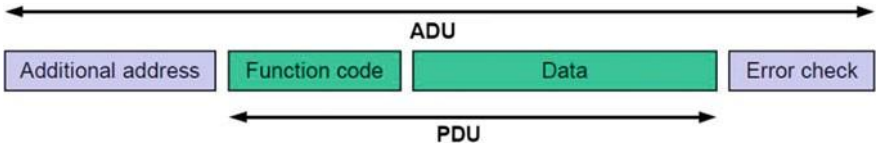
Spesifikasi jalur serial Modbus menjelaskan protokol fisik dan lapisan tautan untuk bertukar data. Dua varian utama dari protokol lapisan tautan ditentukan dan dua jenis saluran serial yang berbeda didukung. Selain itu, spesifikasi menentukan lapisan aplikasi protokol, yang dikenal sebagai Protokol Aplikasi Modbus, untuk mengontrol dan meminta perangkat. Protokol aplikasi awalnya ditujukan untuk perangkat yang terhubung melalui protokol jalur serial Modbus dan diringkas sebagai berikut:

- Protokol aplikasi mengikuti desain master-slave yang sama seperti protokol serial-line pada Gambar 5.3. Setiap transaksi pada lapisan aplikasi adalah pertukaran query-respons sederhana yang diprakarsai oleh node master dan dialamatkan ke satu perangkat. Baik permintaan maupun tanggapan muat dalam satu frame serial-line.
- Setiap perangkat pada saluran serial yang sama memiliki alamat 8 bit. Alamat 0 dan 248 hingga 255 dicadangkan. Paling banyak 247 perangkat dapat digunakan dalam satu saluran.
- Panjang maksimal bingkai Modbus adalah 256 byte. Satu byte adalah alamat perangkat dan dua byte digunakan untuk CRC. Panjang maksimal kueri atau respons adalah 253 byte.

Protokol Aplikasi Modbus mengasumsikan lapisan komunikasi abstrak yang memungkinkan perangkat untuk bertukar paket kecil. Modbus jalur serial tetap menjadi pilihan untuk mengimplementasikan lapisan komunikasi ini, tetapi jaringan dan protokol lain dapat digunakan. Semakin banyak, TCP / IP digunakan sebagai komunikasi layer untuk Modbus Spesifikasi Modbus over TCP / IP menjelaskan bagaimana mengimplementasikan layer komunikasi Modbus menggunakan TCP.



Gambar 5.3 Modbus melalui saluran serial: arsitektur master / slave



Gambar 5.4 Format tanggal Modbus

Permintaan master terdiri dari alamat perangkat budak (atau siaran), kode fungsi yang mendefinisikan tindakan yang diminta, data apa pun yang akan dikirim, dan bidang pemeriksaan kesalahan. Tanggapan budak berisi bidang yang mengonfirmasi tindakan yang diambil, data apa pun yang akan dikembalikan, dan Bidang pengecekan kesalahan Gambar 5.4 menunjukkan PDU dan ADU dari protokol Modbus Dua mode transmisi serial yang berbeda didefinisikan: Mode RTU dan mode ASCII Ini mendefinisikan isi bit dari bidang pesan yang ditransmisikan secara serial pada saluran Ini menentukan bagaimana Kecepatan transmisi data mode ASCII sedikit lebih rendah dari mode RTU. Jadi, ketika perlu mengirim data besar, pengguna selalu menggunakan mode RTU. Protokol Modbus standar adalah menggunakan antarmuka serial yang kompatibel dengan RS-232C, yang menentukan pin port , kabel, transmisi sinyal digital baud rate, paritas.

5.2.2 CAN Bus

CAN adalah protokol komunikasi serial yang awalnya dikembangkan pada Februari 1986, oleh Robert Bosch GmbH terutama untuk aplikasi di industri otomotif tetapi juga mampu menawarkan kinerja yang baik dalam aplikasi industri kritis waktu lainnya.Protokol CAN dioptimalkan untuk pesan singkat dan menggunakan metode akses media CSMA/Arbitration on Message Priority (CSMA/AMP).

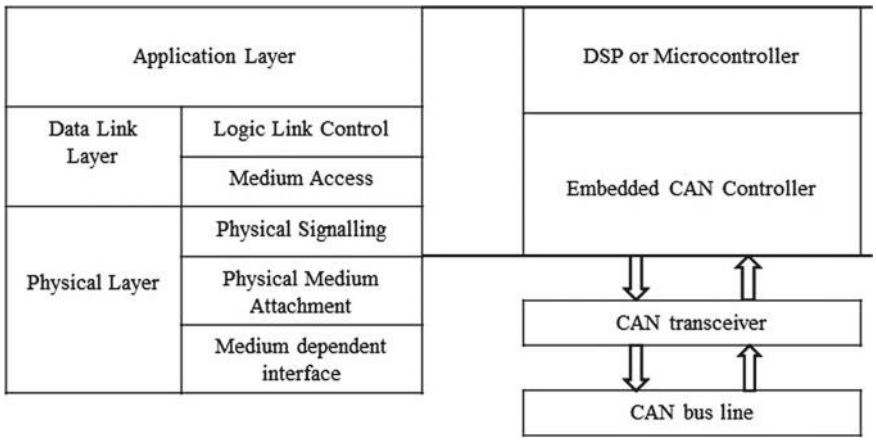
Dengan demikian protokol berorientasi pesan, dan setiap pesan memiliki prioritas khusus yang digunakan untuk menengahi akses ke bus dalam kasus transmisi simultan Aliran bit transmisi disinkronkan pada bit awal, dan arbitrase dilakukan pada pengidentifikasi pesan berikut, di mana logika nol dominan atas logika satu.

Sebuah node yang ingin mengirimkan pesan menunggu sampai bus bebas dan kemudian mulai mengirim pengidentifikasi pesannya sedikit demi sedikit Konflik untuk akses

ke bus diselesaikan selama transmisi oleh proses arbitrase pada tingkat bit bidang arbitrase , yang merupakan bagian awal dari setiap frame. Tergantung, jika dua perangkat ingin mengirim pesan pada saat yang sama, pertama-tama mereka terus mengirim frame pesan dan kemudian mendengarkan jaringan. Ini mengirim, kehilangan hak untuk melanjutkan mengirim pesannya, dan yang lain memenangkan arbitrase. Dengan metode ini, transmisi yang sedang berlangsung tidak pernah rusak.

Dalam jaringan berbasis CAN, data ditransmisikan dan diterima menggunakan Bingkai Pesan yang membawa data dari node pengirim ke satu atau lebih node penerima. Data yang ditransmisikan tidak harus berisi alamat sumber atau tujuan pesan. Sebaliknya, masing-masing Semua node lain di jaringan menerima pesan dan menerima atau menolaknya, tergantung pada konfigurasi filter mask untuk pengidentifikasi.Mode operasi ini dikenal sebagai multicast.

Protokol komunikasi CAN, ISO-11898, menjelaskan bagaimana informasi dilewatkan antara perangkat di jaringan dan sesuai dengan model interkoneksi sistem terbuka (OSI) yang didefinisikan dalam hal lapisan.Komunikasi aktual antara perangkat yang terhubung oleh media fisik adalah didefinisikan oleh lapisan fisik model. Organisasi Standar Internasional (ISO) mendefinisikan standar ISO 11898 yang menggabungkan spesifikasi CAN untuk memenuhi beberapa persyaratan dalam pensinyalan fisik, yang mencakup pengkodean dan penguraian bit (Non-Return-to-Zero, NRZ) serta bit timing dan sinkronisasi. Menggunakan mekanisme jaringan bus serial, aplikasi CAN yang ada mengirim pesan melalui jaringan. Dalam sistem CAN, tidak diperlukan pengontrol pusat karena setiap node terhubung ke protokol komunikasi CAN, ISO 11898: 2003, menjelaskan bagaimana informasi dilewatkan antar perangkat dan sesuai dengan model OSI yang didefinisikan dalam hal lapisan Arsitektur ISO 11898 mendefinisikan dua lapisan terendah dari tujuh lapisan model OSI / ISO sebagai lapisan data link dan lapisan fisik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.5.



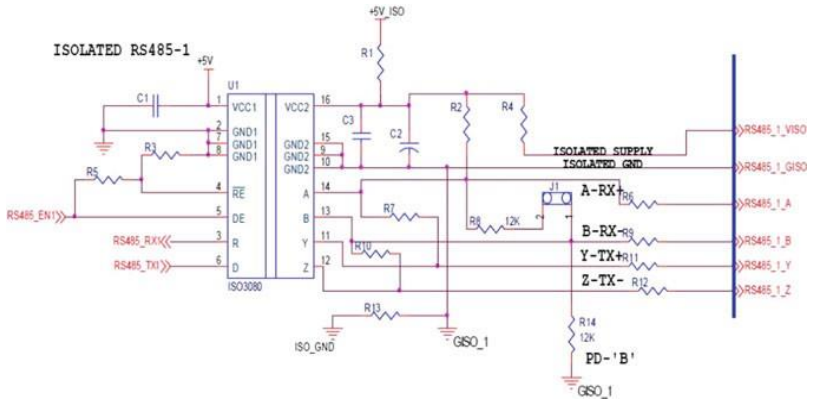
Gambar 5.5 Arsitektur standar ISO berlapis 11898

5.3 Desain Antarmuka Konversi

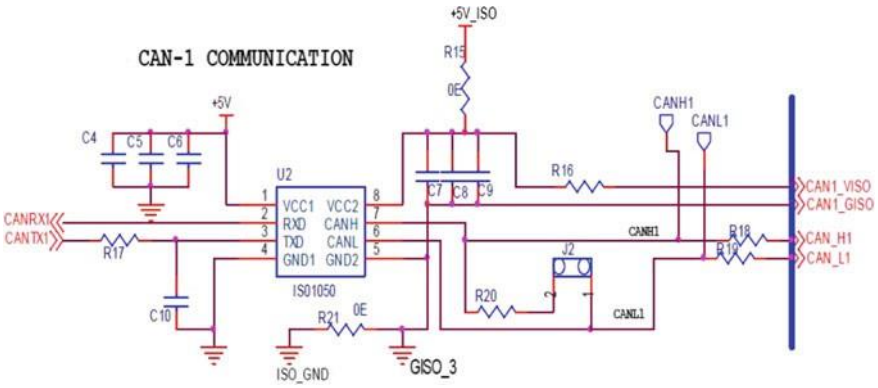
5.3.1 Desain Perangkat Keras

Perancangan antarmuka konversi protokol CAN bus ke Modbus ini dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler seri PIC32MX-XXX. Mikrokontroler seri ini memiliki 6 modul UART dan 2 modul CAN. Modul on chip ini sesuai dengan desain antarmuka konversi protokol. ISO-1050 adalah mikrokontroler CAN terisolasi yang memenuhi atau melampaui spesifikasi standar ISO-11898 dan ISO-3080 adalah driver dan penerima saluran diferensial full-duplex terisolasi.

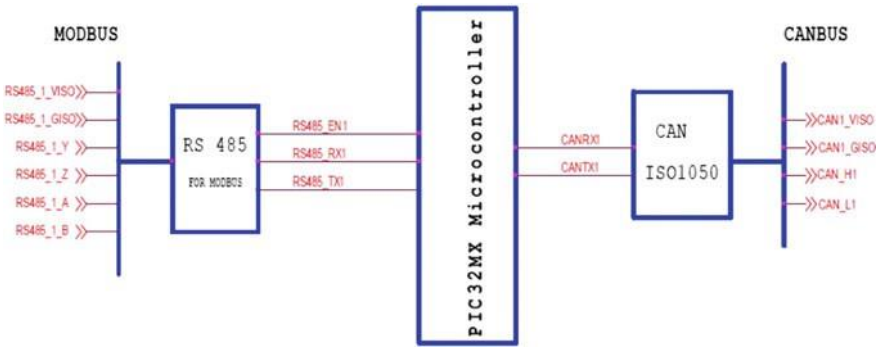
Transceiver CAN ini memberikan kemampuan transmisi diferensial ke bus dan kemampuan menerima diferensial ke pengontrol CAN pada kecepatan pensinyalan hingga 1 megabit per detik (Mbps) pada frekuensi tinggi 32 MHz. Diagram blok antarmuka konversi protokol ditunjukkan pada Gambar 5.8 Gambar 5.6 menunjukkan diagram skematik untuk komunikasi Modbus menggunakan RS-485 dan Gambar 5.7 menunjukkan diagram skematik untuk komunikasi bus CAN.



Gambar 5.6 Diagram skematik untuk komunikasi Modbus



Gambar 5.7 Diagram skematik untuk komunikasi bus CAN



Gambar 5.8 Antarmuka konversi

5.3.2 Desain Perangkat Lunak

Antarmuka konversi protokol ini bekerja pada teknik master-slave dan hanya master yang dapat memulai komunikasi. Di sini, bus CAN dipilih sebagai master dan Modbus sebagai budak. Hanya bus CAN yang dapat memulai komunikasi dan perangkat Modbus dapat merespons sesuai permintaan yang dibuat oleh Master. Seluruh komunikasi dikendalikan oleh interupsi yang digerakkan oleh peristiwa. Kapan pun master CAN ingin berkomunikasi dengan perangkat yang terhubung melalui Modbus, ia kemudian akan menginterupsi komunikasi. Saat menerima interupsi ini, CPU memasuki rutinitas layanan interupsi (ISR).

Dalam rutin ini, CPU menerima data dari CAN master dan memeriksa integritas data menggunakan CRC check. Jika data ditemukan valid maka program masuk ke rutinitas yang mengubah data ini menjadi format Modbus. Format ini berisi Jadi, antarmuka konversi ini merangkum data dalam format protokol Modbus untuk dikirim ke situs Modbus. Sekarang, perangkat slave menerima Setelah menerima data analisis antarmuka konversi pesan, dan kemudian mengonversi ke format protokol CAN, kirim ke master. Perhatikan bahwa, karena panjang transmisi data bus CAN hingga 8 byte, jika protokol Modbus mentransmisikan data lebih dari 8 byte, ia akan mengirim datanya berkali-kali.

5.4 Kesimpulan

Bab ini menyajikan survei tentang Modbus dan CAN bus dan perancangan antarmuka konversi protokol CAN bus dan Modbus. Dengan menggunakan logika perangkat keras dan perangkat lunak seperti yang dijelaskan di atas diimplementasikan antarmuka konversi protokol CAN bus ke Modbus. Ada beberapa keuntungan menggunakan komunikasi fieldbus saat menambahkan atau mengganti remote control untuk penyearah Anda. Ini akan menghemat biaya pemasangan, lebih mudah untuk memecahkan masalah, dan memungkinkan Anda untuk memprogram proses Anda dari jarak jauh. Ini memberikan kemampuan untuk mengonfigurasi, memantau, dan memecahkan masalah penyearah jarak jauh Kontrol jarak jauh canggih generasi baru ini memberi pengguna kemampuan untuk memilih pengontrol tertentu untuk proses tertentu, dengan banyak opsi standar yang sudah terintegrasi.

BAB 6
PROTOKOL MIL-STD-1553
DALAM APLIKASI KECEPATAN DATA TINGGI

6.1 Pendahuluan

MIL-STD-1553 adalah antarmuka bus digital klasik yang awalnya dikembangkan oleh angkatan udara AS khusus untuk aplikasi militer dan avionik, tetapi kemudian dibuka untuk aplikasi komersial.Saat ini, standar tersebut telah banyak digunakan oleh industri otomasi dan avionik, karena ketangguhannya, transfer data yang sangat andal, dan pemimpin pasar yang kuat dalam aplikasi komando dan kontrol selama lebih dari 30 tahun. Airbus adalah produsen pesawat terbesar di dunia yang mengadopsi teknologi baru aplikasi di masa depan mulai dari militer hingga luar angkasa, avionik, komando, dan sistem kontrol, menyediakan interoperabilitas tingkat tinggi, dan keandalan protokol yang konsisten.

Telah mengadopsi standar yang sama untuk sistem kontrol penerbangan modernnya di A350 Pesawat XWB, karena keandalannya, kekokohannya, dan memiliki pengalaman pengendalian penerbangan selama 30+ tahun. industri ion adalah untuk mengurangi jumlah kabel dan konfigurasi ulang dengan biaya rendah Membawa LAN nirkabel 802.11 ke dalam industri otomasi mengarah ke konsep "fieldbus nirkabel", tetapi standar warisan tidak menjamin keandalan, ketepatan waktu, dan fleksibilitas. TCP / IP adalah standar komunikasi terbuka, sering lebih disukai dalam perutean data yang fleksibel dan transmisi data yang andal yang tidak menjamin keandalan perutean komunikasi di MIL-STD-1553. Alasan utamanya adalah bahwa Arsitektur jaringan MIL-STD-1553 menggunakan pengontrol bus untuk perutean dan kontrol data.

Karakteristik MIL-STD-1553 seperti keandalan yang tinggi, ketersediaan, toleransi kesalahan, dan interoperabilitas telah menjadikannya pilihan yang unggul dan solusi yang sesuai dalam industri avionic. Sistem Avionics Terpadu (IAS) MIL-STD-1553 menyediakan sarana multiplexing komputer yang efisien, biaya rendah, dan ringan dalam sistem avionik militer modern. adalah sistem kontrol penerbangan yang kompleks dalam pesawat tempur modern yang mampu mengumpulkan, mengkode, mendistribusikan, dan menyimpan informasi tugas udara selama misi kritis. Perangkat ini akan berkomunikasi dengan subsistem internal pesawat secara efisien dan andal. Penerimaan luas 1553 telah diakui sebagai bus tujuan umum yang diadopsi oleh berbagai industri otomasi, selain avionik untuk komputer multiplexing. Standar ini dikendalikan oleh *Automotive Society dari Engineer* (SAE), terus meningkatkan kinerja standar untuk sistem avionik militer masa depan.

6.2 Pekerjaan Terkait

MIL-STD-1553 adalah bus data multi divisi waktu digital yang terutama dikembangkan oleh angkatan udara AS sejak didirikan pada tahun 1973, dan secara sadar sedang direvisi untuk sistem avionik generasi berikutnya serta tersedia secara komersial untuk aplikasi seperti stasiun ruang angkasa internasional, rudal, tank, kapal, dan satelit.

Ukuran dan berat adalah faktor paling penting dalam industri avionik, dan MIL -STD-1553 telah memecahkan masalah yang menantang ini dengan meminimalkan interkoneksi internal pesawat point-to-point selama 45 tahun terakhir, memperkenalkan fleksibilitas waktu nyata.

Keberhasilan fieldbus digital dalam industri otomasi dan avionik terutama karena pengurangan kabel (ukuran, berat, daya, dan biaya) dan standar terus ditingkatkan untuk sepenuhnya menghilangkan kabel internal, dengan memperkenalkan konektivitas nirkabel antar komponen. Media nirkabel (WLAN + teknologi nirkabel lainnya) sangat membatasi keandalan sistem, efisiensi, dan komunikasi data berkecepatan tinggi yang sensitif dalam aplikasi militer, luar angkasa, dan avionik yang penting. IP core adalah chip tunggal yang cerdas dan serbaguna yang mampu mengimplementasikan dan mengontrol ketiga fungsi bus seperti memulai perintah/respons oleh Bus Controller (BC), penerimaan yang dilakukan oleh Remote Terminal (RT), dan pelaporan status oleh Bus Monitor (BM) Lalu lintas data IAS tergantung pada bus MIL-STD-1553B. Hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan HDL (ALDEC) menunjukkan bahwa inti IP memiliki banyak keunggulan termasuk kemampuan deteksi kesalahan sehingga sangat handal bersama dengan MIL-STD-1553.

Paket datagram IP dienkapsulasi dalam pesan data MIL-STD-1553B menggunakan IP melalui Sistem MIL-STD-1553 (Sistem IPo1553), memiliki kompatibilitas ke belakang ke jaringan lama 1553. Menurut IPo1553, beberapa perangkat yang diaktifkan oleh IPo1553 mengirim dan menerima datagram IP sementara yang lain terus mengirimkan data menggunakan standar warisan 1 Mbps. IPo1553 menyediakan opsi komunikasi tambahan untuk terus mengirimkan data menggunakan protokol IP bersama dengan standar lama 1553.

Massa, volume, dan konsumsi daya adalah tiga faktor desain terpenting untuk MIL-STD-1553 dalam aplikasi luar angkasa. Penulis memperkenalkan desain teknologi low power bus 1553B, yang bertujuan untuk meminimalkan konsumsi daya untuk meningkatkan efisiensi komunikasi data dan transfer data yang andal. analisis ormance untuk tiga teknologi daya rendah yaitu, protokol 1553B berbasis chip SOC, transceiver RS485, dan inframerah dibandingkan dan dianalisis untuk massa, volume, dan konsumsi daya sehingga masing-masing teknologi daya rendah sangat cocok untuk aplikasi tertentu. Teknologi 1553B berdaya rendah akan digunakan di salah satu misi luar angkasa China dan satelit masa depan.

Tingkat persyaratan pengujian dan simulasi bus serial 1553 untuk efisiensi dan keandalan komunikasi data dianalisis dalam. Pendekatan yang tepat dengan *trade-off* yang optimal antara fleksibilitas total dan biaya harus dievaluasi untuk memilih teknik pengujian bus yang tepat. Penelitian ini mengusulkan evaluasi kinerja kecepatan data kecepatan tinggi melalui bus MIL-STD-1553 menggunakan *Discrete Multitone Technology* (DMT) pada standar 1553 yang ada.

Arsitektur sistem menggunakan pemancar dan penerima FPGA untuk verifikasi dan penilaian eksperimental. File data yang dikirim dan diterima 250 MB (3500 burst) dan 1,4 GB (20.000 burst) menggunakan kecepatan data 100 Mbps melalui bus MIL-STD-1553. Evaluasi kinerja sistem yang dirancang meningkatkan transmisi data volume besar secara terus menerus menggunakan kecepatan data kecepatan tinggi. Teknik transmisi kecepatan tinggi

yang ditingkatkan dengan bit error rate 10-9 menandakan keandalan transfer data dalam jumlah besar menggunakan 100 Mbps dibandingkan dengan 1 tradisional. sistem Mbps.

Studi kelayakan MIL-STD-1553 pada analisis kapasitas jaringan telah dilakukan oleh Data Device Corporation (DDC), menerapkan sistem warisan untuk komunikasi data berkecepatan tinggi yang menghasilkan Bit Error Rate (BER) yang lebih rendah. Kinerja komunikasi data kecepatan tinggi aktual dan keandalan bus bergantung pada banyak faktor seperti panjang bus, panjang rintisan, jumlah perangkat yang terhubung ke bus, pensinyalan bentuk gelombang, dan skema penyandian data.

6.3 Infrastruktur Protokol Jaringan MIL-STD-1553

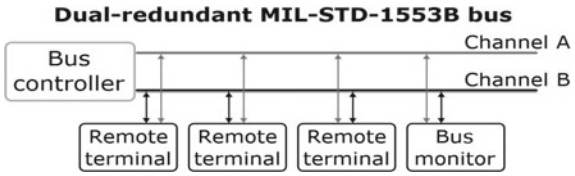
Arsitektur jaringan MIL-STD-1553 adalah bus data multipleks perintah / respons divisi waktu internal pesawat, standar yang diterima secara luas oleh militer dan avionik yang saat ini menjalankan versi B.

6.3.1 Elemen Perangkat Keras MIL-STD-1553

Arsitektur jaringan MIL-STD-1553 dapat dibagi menjadi empat komponen utama seperti :

- Pengendali Bus (BC)
- Terminal Jarak Jauh (RT)
- Pemantau Bus (BM)
- Media transmisi / 1553 kabel bus.

Arsitektur jaringan MIL-STD-1553 digambarkan pada Gambar 6.1 termasuk BC, RT, BM, bus primer, dan bus sekunder opsional yang bertindak sebagai bus cadangan.



Gambar 6.1 Arsitektur jaringan MIL-STD-1553

6.3.1.1 Pengontrol Bus

Bus Controller (BC) bertanggung jawab untuk memulai komunikasi perintah / respon melalui bus data digital. BC kebetulan lebih dari 1 jumlahnya, tetapi hanya satu BC aktif yang beroperasi pada waktu tertentu. Terminal jarak jauh dan komponen sistem lain yang terhubung ke bus data diarahkan untuk menerima perintah yang diprakarsai oleh BC dan merespons kembali seperti yang ditentukan dalam pesan. Perintah tersebut terkait dengan manajemen data / kontrol lalu lintas pada bus data atau diarahkan ke subsistem untuk merespon kembali seperti yang ditentukan dalam pesan. BC menggunakan metodologi perintah / respons untuk berkomunikasi melalui bus yang bertindak sebagai pengontrol bus di antarmuka komunikasi MIL-STD-1553.

6.3.1.2 Terminal Jarak Jauh

Fungsi utama Remote Terminal (RT) adalah untuk mengirim / menerima pesan komunikasi dari BC, antara RT dan komponen subsistem melalui bus dan hingga 31 RT dapat berkomunikasi melalui bus digital MIL-STD-1553 seperti pada Gambar 6.1. RT mampu mendeteksi kesalahan transmisi, melakukan tes validasi data setelah data diterima dan melaporkan status transmisi data (gagal / diakui / tertunda). RT mampu memulai respons. ketat dalam 12 s, setelah diarahkan dari BC meskipun tidak didefinisikan. Menurut MIL-STD-1553, RT dapat berupa komputer / komponen / sistem kontrol apa pun yang terhubung ke bus seperti unit navigasi pesawat, komputer kontrol lalu lintas udara, unit kontrol senjata, atau bahkan sederhana PC yang terhubung ke bus dapat dianggap sebagai RT.

6.3.1.3 Pemantau Bus

Bus Monitor (BM) adalah salah satu elemen terpenting dari arsitektur jaringan MIL-STD-1553 dengan fungsi utama untuk mengumpulkan dan memantau transmisi data melalui bus data. BM dapat digunakan untuk "aplikasi off-line" seperti perekaman uji terbang, pencatatan pemeliharaan, dan analisis misi. BM juga dianggap sebagai perekam lalu lintas bus dan pendeteksi kesalahan.



Gambar 6.2 infrastruktur jaringan MIL-STD-1553 waktu nyata

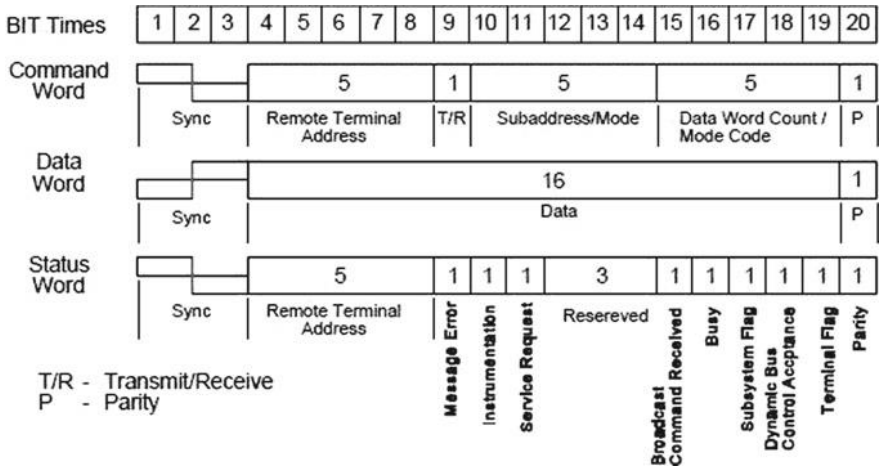
Tabel 6.1 Ringkasan persyaratan bus data

Aplikasi	avionik DOD
Kecepatan data	1 MHz
Panjang kata	20 bit
Jumlah bit data / kata	16
Teknik transmisi	Setengah dupleks
Operasi	Tidak sinkron
Pengkodean	Manchester II dua fase
Kopling bus	Transformator
Kontrol bus	Tunggal atau ganda
Media transmisi	Twisted pair terlindung

6.3.1.4 Media Transmisi / Kabel Bus 1553

Kabel twisted pair berpelindung bertindak sebagai bus transmisi digital yang menghubungkan BC, RT, dan BM melalui kabel stub bersama dengan terminator sinyal 78 di kedua ujungnya. Kabel kopling dan isolasi transformator diperkenalkan di terminal dan di bus untuk mengurangi kebisingan dan korsleting.

Kabel pasangan terpilin yang bertindak sebagai bus data digital yang mencegah pembatalan kebisingan dan pelindung memberikan perlindungan dari interferensi elektromagnetik eksternal, sehingga memastikan integritas data. Jumlah maksimum RT yang terhubung ke bus data pasangan terpilin tunggal di MIL-STD 1553. Seluruh infrastruktur jaringan fisik MIL-STD-1553 digambarkan pada Gambar 6.2 dan persyaratan bus MIL-STD-1553 dirangkum dalam Tabel 6.1.



Gambar 6.3 Struktur format kata bus MIL-STD-1553

6.3.2 Format Protokol MIL-STD-1553

Pembagian informasi antar perangkat yang terhubung ke bus data MIL-STD-1553B disebut pesan dalam protokol 1553. 1553 pesan ditransmisikan dalam tiga format yaitu, Command Word (CW), Status Word (SW), dan Pure Data Word (DW) Struktur format kata terinci dirangkum untuk ilustrasi lebih lanjut pada Gambar 6.3. CW dan SW adalah kata kontrol yang mengendalikan mekanisme transfer data dan DW adalah kata informasi yang harus dibagikan di antara sistem yang terhubung ke bus data. Skema encoding dan decoding data adalah Manchester bi-phase yang memungkinkan transisi pada setiap level bit, membuat deteksi kesalahan mudah untuk komunikasi protokol yang andal. Karena tingkat kesalahan yang lebih rendah dari kesalahan satu kata per 10 juta kata pembuatan Protokol MIL-STD-1553 yang sangat andal pada kecepatan operasional 1 Mbps. Tabel 6.2 merangkum karakteristik protokol jaringan MIL-STD-1553.

6.3.3 Manchester Encoder / Dekoder

MIL-STD-1553 menggunakan skema pengkodean dua fase Manchester untuk mengkodekan informasi yang dikirimkan melalui bus data Skema ini mahal BW, namun MIL-

STD-1553 enkoder dan dekoder dua fase Manchester adalah bagian tak terelakkan dari militer, avionik , dan aplikasi luar angkasa yang memberikan manfaat utama berikut sebagai:

- Informasi waktu dan jam dapat dengan mudah diekstraksi dan dipulihkan dari data yang disandikan.
- Skema pengkodean kebal terhadap gangguan saluran dan inter-symbol interference (ISI).
- Kemampuan deteksi kesalahan yang mudah dari urutan 10-12, bahkan kesalahan bit tunggal dapat dideteksi.
- Tidak ada komponen DC.

Tabel 6.2 Karakteristik protokol jaringan MIL-STD-1553B

Barang Barang	Keterangan
Kecepatan data	1 Mbps
Bit data / kata	16 bit
Panjang pesan	Maks 32 kata data
Teknik transmisi	Setengah dupleks
Operasi	Tidak sinkron
Protokol	Perintah / tanggapan
Toleransi kesalahan	Khas redundan kedua redundan ganda dalam status cadangan panas
Jenis terminal	Terminal jarak jauh (RT) Pengontrol bus (BC) Monitor bus (BM)
Jenis transfer pesan	BC ke RT transfer RT ke BC transfer RT ke RT transfer BC ke RT (siaran) RT ke RT (siaran) Kontrol sistem
Jumlah terminal jarak jauh	Maks 31 RT
Data kata / pesan	32 kata data
Format kata data	3 bit pola sinkronisasi 16 bit informasi 1 bit paritas
Impedansi karakteristik kabel	70–85 ▲

6.3.4 Proses Kontrol Kualitas

Menurut, pengenalan Quality Control Process (QCP) yang efisien dalam industri avionik dan otomasi merupakan faktor penting dalam desain peralatan dan solusi terbaik untuk mengendalikan keandalan peralatan. evaluasi dan penilaian pengendalian adalah sebagai berikut:

- Deskripsi atribut
- Metodologi pengukuran
- Observasi eksperimental, pengumpulan dan analisis data

- Verifikasi dan validasi berbasis skenario.

Tabel 6.3 Atribut kualitas jaringan MIL-STD-1553

Domain berkualitas	Atribut kualitas	Sub-atribut
Pertunjukan	Integritas data Keandalan informasi Overhead protokol komunikasi Portabilitas sistem Skalabilitas bus data Daya dukung Ketersediaan informasi Waktu tunda sistem	Deteksi kesalahan Kontrol prioritas data Latensi jaringan throughput Sinkronisasi waktu Ketepatan waktu dan akurasi data Biaya
Keamanan	Overhead protokol komunikasi throughput	Latensi jaringan Biaya
Bandwidth	Overhead protokol komunikasi throughput	Latensi jaringan Biaya
Arsitektur	Interoperabilitas perangkat bus data Portabilitas Sistem Kontrol akses bus data Skalabilitas bus data Pemeliharaan bus data Daya dukung	Sinkronisasi waktu Ketepatan waktu dan akurasi data Biaya

Daftar atribut kualitas MIL-STD-1553 dikategorikan dalam bentuk tabel pada Tabel 6.3. Sistem kontrol penerbangan dan avionik generasi berikutnya diharapkan sangat kolaboratif Perangkat Lunak/Perangkat Keras, beroperasi pada kecepatan data 200+ Mbps. Sistem ini harus efisien, hemat biaya, andal, dan fleksibel di lingkungan yang keras. MIL-STD-1553 akan mengusulkan variabel desain yang harus dipertimbangkan selama proses pengembangan sebagai:

1. Panjang bus
2. Jumlah rintisan
3. Panjang rintisan
4. Lokasi rintisan
5. Jumlah terminal jarak jauh
6. Skema pengkodean bus

6.4 Analisis Perbandingan Teknologi Bus Data Berkecepatan Tinggi

6.4.1 Arsitektur Tradisional MIL-STD-1553

MIL-STD-1553 masih merupakan antarmuka digital multipleks pembagian waktu yang sesuai untuk sebagian besar aplikasi avionik dan kontrol penerbangan, tetapi setiap teknologi jaringan diputuskan secara selektif untuk domain avionik tertentu, tidak ada satu

teknologi pun yang dianggap "terbaik" untuk semua aplikasi . 1553 standar beroperasi pada 1 Mbps masih dapat digunakan untuk sebagian besar aplikasi, tetapi aplikasi avionik berkecepatan tinggi yang muncul membutuhkan kecepatan data lebih dari 1 Mbps.

Setelah aplikasi berkecepatan tinggi dalam operasi lapangan, keandalan data, kontrol kesalahan, efisiensi, dan fleksibilitas muncul dalam pertimbangan untuk mendukung standar lama, untuk memberikan solusi optimal yang konsisten. Dua pendekatan revolusioner diselidiki dan dianalisis secara komparatif untuk mendukung standar warisan (MIL-STD-1553) mengenai peningkatan efisiensi BW, komunikasi data berkecepatan tinggi yang andal, fleksibilitas antarmuka, dan kinerja. Dalam beberapa aplikasi, trade-off yang optimal antara beberapa teknologi lebih disukai. Lapisan arsitektur protokol MIL-STD-1553 dirangkum dalam Tabel 6.4.

6.4.2 Teknologi Bus Data HyPer-1553TM

6.4.2.1 Ikhtisar

Teknologi bus data HyPer-1553TM telah diimplementasikan oleh Device Data Corporation (DDC) yang mentransmisikan data pada kecepatan data yang jauh lebih tinggi (>1 Mbps), di atas bus MIL-STD-1553 yang ada dengan menetapkan dua tujuan, yaitu :

- Teknologi HyPer-1553TM memungkinkan komunikasi berkecepatan tinggi melalui kabel MIL-TD-1553 yang ada.
- Teknologi HyPer-1553TM memungkinkan komunikasi berkecepatan tinggi pada 5 Mbps melalui kabel MIL-STD-1553 yang ada dan berdampingan secara damai dengan kabel bus 1 Mbps lama tanpa gangguan.
- Teknologi baru ini membantu meningkatkan BW antara subsistem yang banyak digunakan dalam operasi yang berpusat pada jaringan dan aplikasi fusi sensor.

Data Device Corporation (DDC) telah melakukan serangkaian studi penelitian secara real time untuk mengimplementasikan aplikasi kontrol penerbangan avionik berkecepatan tinggi (BW mahal) yang sedang berkembang, di mana warisan Standar MIL-STD-1553 1 Mpbs dapat berdampingan secara damai hingga kecepatan data 200 Mbps, namun standar tersebut memiliki tingkat keandalan yang tinggi untuk ditingkatkan hingga 200+ Mbps dalam waktu dekat.

Teknologi HyPer-1553TM menggabungkan topologi bus multi-drop yang digunakan untuk jaringan berkecepatan menengah (dari 10 Mbps hingga 100 Mbps). Multi-drop bus hemat biaya, topologi jaringan berkecepatan rendah menggunakan Frequency Division Multiplexing (FDM) untuk memungkinkan komunikasi data berkecepatan rendah dan berkecepatan tinggi secara bersamaan melalui kabel MIL-STD-1553. *Bus multi-drop* menghilangkan hub dan sakelar aktif yang secara signifikan mengurangi ukuran, berat, daya, dan biaya.

Teknologi HyPer-1553TM dapat memberikan solusi untuk komunikasi berkecepatan tinggi yang efisien dan andal pada bus multi-drop menggunakan teknik pensinyalan dan penyaringan canggih. Komunikasi data rate berkecepatan tinggi

sangat bergantung pada panjang bus, jumlah stub, dan panjang stub. Teknologi HyPer-1553TM adalah pendekatan yang terukur dan fleksibel dengan menambahkan aplikasi kecepatan data tinggi, berbagi kabel yang sama tanpa mengganggu antarmuka 1 Mbps lama.

Tabel 6.4 Fitur arsitektur protokol MIL-STD-1553 tradisional

Lapisan arsitektur	Fitur arsitektur
Lapisan fisik	• Kopling transformator Fitur arsitektur MIL-STD-1553 ini melayani dua tujuan: 1. Isolasi galvanik 2. Pencocokan impedansi Kopling transformator menguntungkan sistem kontrol penerbangan pesawat dari interferensi elektromagnetik dan penerangan di lingkungan yang keras. Bus yang digabungkan dengan transformator meminimalkan refleksi bentuk gelombang dan redaman sinyal Topologi bus linier multi-drop Tujuan dari topologi bus linier multi-drop cenderung untuk biaya yang lebih rendah, kompleksitas yang lebih rendah dan bobot yang lebih rendah Penghubung bus Fitur arsitektur ini mengurangi pantulan bentuk gelombang yang menghasilkan lapisan fisik yang kuat Isolasi kesalahan Isolasi kesalahan melalui rangkaian resistor
Lapisan protokol	Antarmuka perintah/respons dan deterministik yang sangat seimbang Fungsi kontrol waktu nyata dan kemampuan deteksi kesalahan 1553 bus transfer data berkala MIL-STD-1553 meningkatkan akurasi transmisi Protokol MIL-STD-1553 mendapatkan penundaan dan jitter yang lebih rendah
Lapisan tautan data yang andal	Fasilitas pengakuan perintah/tanggapan MIL-STD-1553 untuk transmisi ulang digabungkan dengan deteksi kesalahan Ukuran muatan kecil (64 byte) Topologi bus multi-drop redundan ganda telah digunakan untuk sistem yang membutuhkan keandalan tinggi Sinkronisasi waktu di MIL-STD-1553 memungkinkan

	transfer data yang andal

6.4.2.2 Analisis Hasil Uji

DDC telah melakukan demonstrasi penerbangan selama 2 jam, menguji bus digital HyPer-1553TM menggunakan pesawat tempur elang pemogokan USAF F-15 E1 pada bulan Desember 2005. Data citra ditransmisikan antara komputer kasar di teluk avionik depan dan senjata yang dipasang di stasiun tiang sayap. Selama pengujian, tim berhasil mentransmisikan data dengan kecepatan 40 Mbps melalui bus MIL-STD-1553 lama secara paralel dengan MIL-STD-1553 1 Mbps selama 2 jam. Tim juga mentransfer data dengan kecepatan 80 dan 120 Mbps pada bus 1553 kedua yang didedikasikan untuk kecepatan tinggi. Data citra berkecepatan tinggi yang diterima bebas dari kesalahan memvalidasi keandalan, efisiensi, dan fleksibilitas bus Multi-drop HyPer-1553TM melalui kabel MIL-STD-1553 1 Mbps yang lama.

6.4.3 Pendekatan Turbo 1553

6.4.3.1 Ikhtisar

MIL-STD-1553 memiliki seperangkat pedoman desain yang mapan untuk jaringan yang beroperasi pada 1 Mbps. Selain lebih dari 30 tahun sejarah in-service, ada dasar analitis yang kuat untuk pedoman ini yang didokumentasikan dengan baik di MIL-HDBK-1553A. Variabel desain utama dalam jaringan 1553 adalah panjang bus, jumlah stub, lokasi stub, dan panjang stub. Konsep yang didefinisikan dalam standar dan buku pegangan dapat diperluas ke kecepatan data di atas 1 Mbps. Pertanyaannya adalah apa dampak kecepatan data yang lebih tinggi pada variabel desain ini dan kinerja jaringan yang dihasilkan.

Langkah pertama menuju implementasi Turbo 1553 adalah memahami dampak frekuensi yang lebih tinggi pada redaman dan distorsi fasa. Atenuasi berdampak pada amplitudo sinyal yang disajikan ke penerima, dan dengan demikian berdampak pada Rasio Sinyal-ke-*Noise* (SNR) yang dihasilkan. SNR adalah tolok ukur utama dalam menentukan kapasitas throughput dan *Bit Error Rate* (BER) jaringan. Distorsi fase, juga disebut sebagai jitter atau kesalahan penyeberangan nol, berdampak pada waktu relatif pulsa yang pada gilirannya dapat menyebabkan masalah dengan interferensi antar-simbol yang juga berdampak pada tingkat kesalahan bit penerima. Pengaturan jaringan uji MIL-STD-1553 untuk Turbo-1553 (Skenario 1, Skenario 2) dirangkum dalam Tabel 6.5.

6.4.3.2 Analisis Hasil Uji

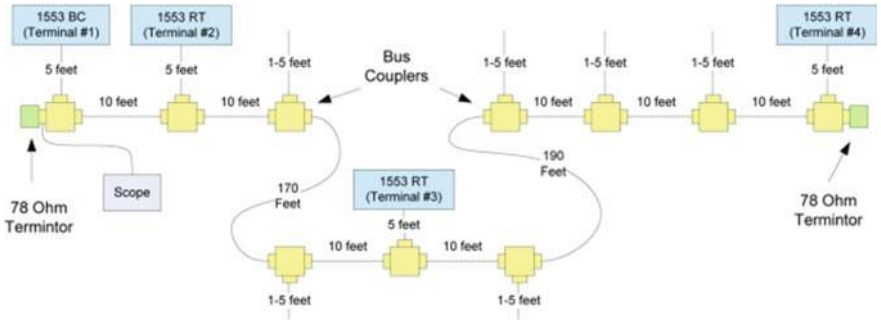
Konfigurasi eksperimental jaringan uji Turbo-1553 diilustrasikan pada Gambar 6.4 untuk mengevaluasi antarmuka bus MIL-STD-1553 yang berjalan pada kecepatan

yang lebih tinggi (>1 Mbps). Panjang bus adalah 460 kaki dengan 10 rintisan interkoneksi mulai dari 1 kaki sampai 5 kaki dengan impedansi terminal 78 diberikan sebagai ilustrasi. Komunikasi diuji antara 1553 pengontrol bus (1553-BC-Terminal 1) dan 1553 Terminal Jarak Jauh (1553-RT-2, 1553 RT-3, dan 1553 RT-4).

Dua skenario jaringan uji, satu menggambarkan Turbo-1553 dengan 10 stub interkoneksi dan kedua tanpa stub diuji dan dibandingkan. Dua skenario jaringan Turbo-1553 diuji dan dibandingkan dalam hal respons frekuensi yang dihasilkan dan distorsi fase terkait yang berjalan pada 5 Mbps. Respon frekuensi kabel 460 kaki dengan 10 stub interkoneksi versus kabel 460 kaki tanpa stub diukur seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6.5. Dari Gambar 6.5, terlihat jelas bahwa pada frekuensi yang lebih tinggi, redaman sinyal akan lebih banyak di kabel dengan 10 stub dibandingkan dengan yang tidak memiliki stub.

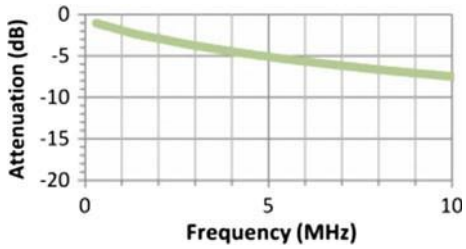
Tabel 6.5 Pengaturan jaringan uji Turbo-1553

Pengaturan tes	Skenario Turbo-1553 1	Skenario Turbo-1553 2	Hyper-1553
Kecepatan data	5 Mbps	5 Mbps	100+ Mbps
Panjang bus	460 kaki	460 kaki	
Panjang rintisan	1-5 kaki	1-5 kaki	
Jumlah rintisan yang saling berhubungan	10 rintisan	0 rintisan	
SM	Terminal 1	Terminal 1	
RT	RT-2, RT-3, RT-4	RT-2, RT-3, RT-4	
Kehilangan sinyal	12,6 dB	12,6 dB	
Tegangan rintisan	1.4v P-P	1.4v P-P	
Tegangan pemancar	minimal 6V	minimal 6V	
redaman	RT-2: paling sedikit RT-3: sedang RT-4: paling		
Distorsi fase	RT-2: terbesar karena refleksi RT-3: sedang karena refleksi RT-4: terbesar karena dispersi		
MIL-STD-1553 terminator	78 ▲		

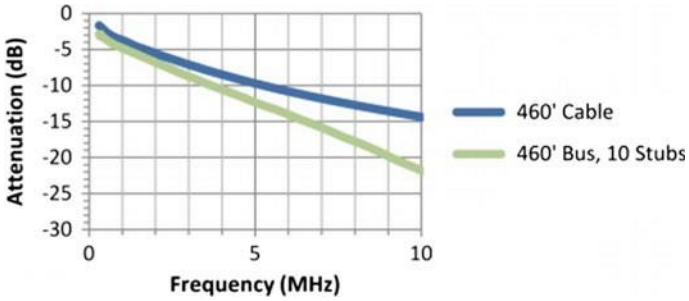


Gambar 6.4 Pengaturan eksperimental jaringan Turbo-1553

Percobaan uji serupa telah dilakukan oleh DDC menggunakan kabel 300 kaki, dan respons frekuensi yang sesuai mulai dari 300 kHz hingga 10 MHz dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.6. Hasil pengujian menunjukkan bahwa redaman sinyal yang diamati sebesar 2 dB pada 1 MHz dan 5 dB pada 5 MHz, keduanya berada dalam kisaran MIL-STD-1553 yang ditentukan yaitu 12,6 dB. Redaman sinyal dan distorsi fase yang diukur dari tiga terminal jarak jauh berada dalam kisaran penerima yang ditentukan. Redaman sinyal dan distorsi fasa juga dipengaruhi oleh jumlah stub yang terhubung ke bus dan panjang stub. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengontrol bus berkomunikasi dengan Terminal Jarak Jauh secara efisien dan andal dalam aplikasi kecepatan tinggi.



Gambar 6.5 Respon frekuensi 300 kaki kabel 1553



Gambar 6.6 Kehilangan Ppenyisipan kabel 460 kaki dan bus 460 kaki dari 300 kHz ke 20,3 MHz

6.4.4 Alat untuk Pengujian dan Simulasi

Pengujian dan simulasi desain adalah fase terpenting dari Siklus Hidup Pengembangan Produk (PDLC) dan hingga 80% dari total biaya pesawat ditetapkan selama

fase awal pengembangan . Tujuan dari pengujian dan simulasi bus MIL-STD-1553 adalah untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko dan cacat arsitektur untuk memastikan keandalan produk dan jaminan kualitas. Proses penghapusan cacat/bug arsitektur sangat mahal setelah produk diluncurkan untuk operasi secara real time. Jadi, pengujian dan simulasi integrasi berkelanjutan selama fase pengembangan sangat disukai untuk mengontrol keandalan peralatan. Tingkat pengujian MIL-STD-1553 diklasifikasikan dalam tingkat pengujian dirangkum dalam Tabel 6.6 dengan deskripsi pengujian dan jenis skenario.

Tabel 6.6 Tingkat pengujian MIL-STD-1553

tingkat pengujian	Keterangan	Skenario
Pengujian tingkat lapangan/operasional (pengujian tingkat tinggi)	Uji papan waktu nyata untuk memverifikasi dan memvalidasi antarmuka digital MIL-STD-1553 terpasang	Pengujian bus HyPer-1553 (pada 4 Mbps) 2 jam penerbangan pesawat tempur USAF F15-E1 strike eagle pada Desember 2005
Pengujian integrasi system	Mengintegrasikan komponen SW/HW sistem MIL-STD-1553 untuk menguji interoperabilitas, skalabilitas, dan fleksibilitas bus untuk memastikan keandalan sistem secara keseluruhan	Pengujian integrasi sistem model sistem KAI ETS termasuk komputer misi kartu kartu EVA MIL-STD-1553B
Pengujian produksi	Fungsi unit pengujian/kompo nen/operasi/jaminan kesalahan tingkat unit	Kit FPGA Xilinx Spartan menggunakan Xilinx ISA
Verifikasi desain	Pengujian persyaratan spesifikasi model pengujian fase praproduksi	ALTARICA perilaku fungsional dan disfungsional untuk keandalan komponen
Tes perkembangan	Pengujian tingkat sirkuit, desain tingkat rendah	ModelSim Verilog HDL VHDL OPNET dan NS-2

6.5 Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan

Dalam bab ini, MIL-STD-1553 digital time division multiplex serial interface bus diselidiki untuk keandalan dan fleksibilitas dalam aplikasi kecepatan data tinggi. Standar ini memiliki 40+ tahun pengalaman penerbangan dengan kontrol kualitas, menjadikan dirinya sebagai teknologi yang telah terbukti banyak digunakan dalam aplikasi kontrol penerbangan dan avionik. MIL-STD-1553 adalah teknologi murah dengan secara dramatis mengurangi ukuran, berat, kekuatan, dan biaya dalam 10 tahun terakhir.

MIL-STD-1553 tradisional telah diselidiki dan dianalisis untuk aplikasi kecepatan data tinggi menggunakan 1553 teknologi turunan seperti Turbo-1553 (50–100+ Mbps) dan HyPer-1553TM (5 Mbps). Analisis jaringan uji yang dihasilkan memverifikasi bahwa pada kecepatan data yang lebih tinggi, standar menyediakan transfer data yang andal (bebas kesalahan) dan kontrol fleksibel atas standar 1553 lawas yang ada. Avionik generasi berikutnya, ruang, otomatisasi, dan sistem kontrol digital perlu menyelidiki solusi optimal untuk bus data berkecepatan tinggi dengan tingkat kompatibilitas yang tinggi untuk mendukung MIL-STD-1553.

Sistem kontrol penerbangan dan avionik generasi berikutnya diprediksi mendukung transfer file data besar, menangani gambar volumetrik, dan transmisi video dalam misi penerbangan kritis dan akhirnya menyediakan kolaborasi Perangkat Lunak/Perangkat Keras tingkat abstrak. Penekanannya adalah pada keandalan bus data digital tingkat tinggi, deteksi kesalahan yang cerdas, kontrol akses bus, fleksibilitas, dan dukungan komponen. Desain encoder dan dekoder dua fase Manchester generasi berikutnya untuk komunikasi data berkecepatan tinggi akan menjadi pendekatan yang lebih disukai untuk meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

BAB 7
PENELITIAN DAN DESAIN
UNIT KONTROL BUS PROTOKOL 1553B

7.1 Pendahuluan

Bus data digital MIL-STD-1553B dirancang pada awal 1970-an untuk menggantikan bundel kawat point-to-point analog antara instrumentasi elektronik. Versi terbaru dari serial Local Area Network (LAN) untuk avionik militer yang dikenal sebagai MIL-STD-1553B dikeluarkan pada tahun 1978. Setelah 30 tahun mengenal dan menghasilkan produk yang andal, bus data terus menjadi jaringan militer yang paling populer.

Dalam sistem avionik, papan antarmuka 1553B merupakan bagian penting dalam keseluruhan sistem dan terutama mengintegrasikan data dalam bus, berbagi sumber daya, tugas koordinasi, dan rekonstruksi yang toleran terhadap kesalahan. Teknologi yang kompatibel dengan komputer mikro tujuan umum berkinerja tinggi dan sirkuit terpadu skala besar diterapkan secara luas untuk menyelesaikan komunikasi antarmuka dari tahun 80-an di negara kita. Pengontrol bus tidak hanya memastikan pengiriman atau penerimaan perintah benar, tetapi juga memantau status bus.

Sekarang, kita harus mengadopsi prosesor protokol 1553B asing yang mahal untuk merancang BCU, bab ini memperkenalkan metode desain baru dari protokol 1553B BCU (*Bus Control Unit*), pengontrol bus merupakan bagian komponen penting dari sistem komunikasi, dan platform perangkat keras utama adalah chip FPGA (*Field Programmable Gate Array*) yang disebut XC2V2000 dari perusahaan Xilinx. Berdasarkan studi mendalam, protokol transportasi bus 1553B dan metode desain chip asing, dan dikombinasikan dengan teknologi EDA populer, bab ini berhasil merancang 1553B MIL-STD-BCU digital di bawah metode desain top-down, dan terbukti benar pada papan eksperimen yang dirancang sendiri juga .

7.2 1553B Protokol

7.2.1 Karakteristik Perangkat Keras

Bus MIL-STD-1553B memiliki empat elemen utama:

- Pengontrol bus yang mengatur aliran informasi.
- Terminal jarak jauh yang menghubungkan satu atau lebih subsistem sederhana ke bus data dan menanggapi perintah dari pengontrol bus.
- Monitor bus yang digunakan untuk pengujian bus data.
- Komponen bus data (skrup bus, kabel, terminator, dan konektor). Data ditransmisikan dan diterima secara berurutan dalam skema multiplexing melalui dua kabel tembaga dari komputer ke komputer dengan kecepatan 1 megabit per detik.

7.2.2 Pengkodean

Encode data harus level dua fase Manchester II. Logika satu harus ditransmisikan sebagai sinyal kode bipolar 1/0 (yaitu, pulsa positif diikuti oleh pulsa negatif). Logika nol harus berupa sinyal kode bipolar 0/1 (yaitu, pulsa negatif diikuti oleh pulsa positif). Transisi

melalui nol terjadi pada titik tengah setiap waktu bit. Kecepatan bit transmisi pada bus harus 1,0 megabit per detik. Bentuk gelombang sinkronisasi perintah akan menjadi bentuk gelombang Manchester yang tidak valid. Lebarnya harus tiga kali bit, dengan bentuk gelombang sinkronisasi menjadi positif untuk satu setengah kali bit pertama, dan kemudian negatif untuk satu setengah kali bit berikutnya. Jika bit berikutnya yang mengikuti bentuk gelombang sinkron adalah logika nol, maka paruh terakhir dari bentuk gelombang sinkron akan memiliki lebar yang tampak dari dua periode jam karena pengkodean Manchester.

7.2.3 Kata dan Pesan

Format kata termasuk kata perintah, data, dan status. Ukuran kata harus 16 bit ditambah bentuk gelombang sinkronisasi dan bit paritas dengan total 20 bit kali. Kata perintah harus terdiri dari bentuk gelombang sinkronisasi, bidang alamat terminal jarak jauh, bit pengirim/penerima (TIR), bidang sub-alamat/mode, bidang jumlah kata/kode mode, dan bit Paritas (P). Kata data harus terdiri dari bentuk gelombang sinkronisasi, bit data, dan bit paritas. Kata status harus terdiri dari bentuk gelombang sinkronisasi, alamat RT, bit kesalahan pesan, bit instrumentasi, bit permintaan layanan, tiga bit yang dicadangkan, bit perintah siaran yang diterima, bit sibuk, bit bendera subsistem, bit penerimaan kontrol bus dinamis, bit bendera terminal , dan sedikit paritas. Untuk operasi siaran opsional, transmisi kata status harus ditekan. Pesan yang ditransmisikan pada bus data meliputi transfer pengontrol bus ke terminal jarak jauh, transfer terminal jarak jauh ke pengontrol bus, transfer terminal jarak jauh ke terminal jarak jauh, perintah mode tanpa kata data, perintah mode dengan kata data (transmit), perintah mode dengan kata data (menerima), dan perintah siaran opsional.

7.2.4 Divisi Hirarki

Sistem komunikasi terdiri dari physical layer (PHY), Data Link Layer (DLL), transport layer, dan application layer.

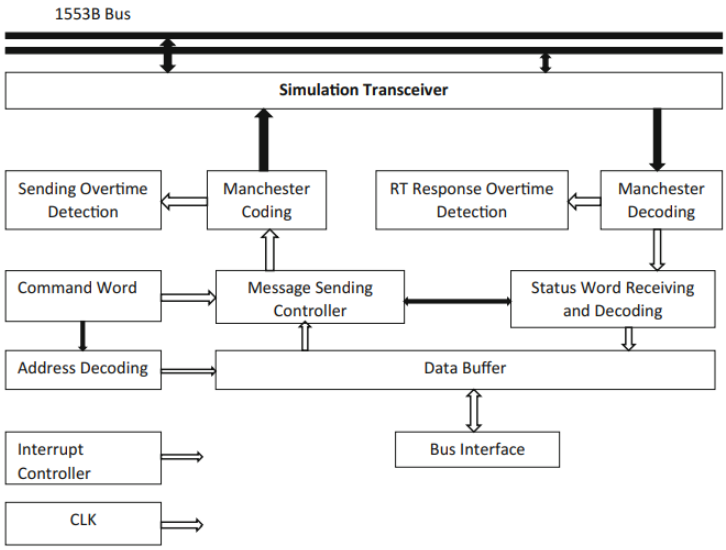
- PHY: Menyediakan media komunikasi, manajemen atas transmisi aliran media fisik, untuk memastikan karakteristik transmisi yang diperlukan dengan bit informasi 1553B yang dikirim ke lapisan data link.
- DLL: Untuk mentransmisikan yang andal, lapisan mendefinisikan urutan data sesuai dengan protokol 1553B, dan mendeteksi kesalahan komunikasi dan melaporkan ke lapisan transportasi tepat waktu.
- Transport Layer: Query dan mengirimkan pesan node, menangani kesalahan, dan beralih saluran.
- Application Layer: Layanan memfasilitasi komunikasi antara aplikasi perangkat lunak dan layanan jaringan lapisan bawah sehingga jaringan dapat menginterpretasikan permintaan aplikasi dan, pada gilirannya, aplikasi dapat menginterpretasikan data yang dikirim dari jaringan.

7.3 Desain BCU

BCU adalah satu-satunya perangkat bus dalam sistem transmisi, bertanggung jawab untuk menjadwalkan data di bus, dan mengirimkan perintah kontrol ke terminal lain. Fungsi BCU adalah sebagai berikut:

- Menerima Kata Data: Fungsi ini mencakup simulasi penerima, deteksi sinkron, membuat konversi antara data paralel dan data serial, deteksi kode Manchester, paritas, jumlah bit/kata, dan sebagainya.
- Mengirim Data Words: Fungsinya termasuk menghasilkan CLK dan bentuk gelombang sinkronisasi, encoding, mengontrol pengiriman, dan sebagainya.
- Menangani Kata/Pesan: Fungsi ini mencakup decoding kata perintah, menerima dan mendekode kata status, menghasilkan interupsi, dan mendeteksi kesalahan.

BC Struktur logis berdasarkan FPGA ditunjukkan pada Gambar. 7.1 dan alur kerja BC ditunjukkan pada Gambar. 7.2.



Gambar 7.1 Struktur logika BC pada FPGA

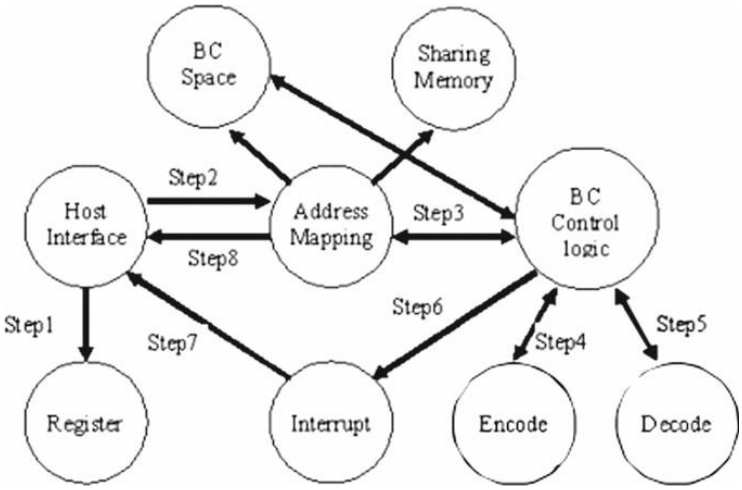
7.3.1 Unit Penguraian Kode

Ketika papan antarmuka bus menerima data serial, FPGA mendapatkan data dengan transceiver simulasi juga, dan mencari bentuk gelombang sinkronisasi pada saat yang sama, jika berhasil, ia mulai mendeteksi encode Manchester II, paritas, dan jumlah bit/kata, dll. , akhirnya, data paralel 16-bit yang ditangani dapat didekodekan oleh modul pasca-pemrosesan.

- Deteksi bentuk gelombang sinkronisasi dari kata perintah dan kata status: Dengan frekuensi input 12 MHz, setelah menyetel ulang mesin status, sistem bersiap untuk mendeteksi bentuk gelombang sinkronisasi, dan ketika status data bus dari tidak aktif berubah menjadi aktif, sistem mulai mendeteksi bentuk gelombang sinkronisasi kata perintah dan kata status. Protokol 1553B ditentukan sebagai bentuk gelombang sinkronisasi yang terdiri dari 1,5 s oleh level tinggi dan 1,5 s level rendah, dan juga mendefinisikan ada kata perintah baru atau kata keadaan ketika sampel terus

menerus 18 level tinggi dan 18 level rendah. Karena semua jenis gangguan di bus, level rendah tidak dapat diubah menjadi level tinggi dalam waktu, seringkali membutuhkan waktu. Kita tidak bisa mendapatkan bentuk gelombang dengan kenaikan curam yang ideal juga, jadi jumlah level tinggi dan level rendah tidak boleh 18, tetapi 14 dan 16 di bab ini.

- Decode: Seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 7.3, frekuensi 12 MHz dibagi enam salinan yang sama terlebih dahulu, dan sampel dengan frekuensi 2 MHz. Kami akan mendapatkan dua data sampel pada posisi seperempat dan tiga perempat setiap siklus, kemudian menilai apakah kode tersebut benar sesuai dengan data, jika dua nilai berbeda, menunjukkan data bus benar.
- Paritas: Bit terakhir dalam kata akan digunakan untuk paritas atas 16 bit sebelumnya. Paritas ganjil harus digunakan. Jika tidak benar, harus disetel PARITY_ERR l, dan mengirim pesan ke modul lain yang relevan.
- Deteksi bentuk gelombang sinkronisasi kata data: Bentuk gelombang sinkronisasi data harus berupa gelombang Manchester yang tidak valid. Lebarnya harus tiga kali bit, dengan bentuk gelombang negatif untuk satu setengah kali bit pertama, dan kemudian positif untuk satu setengah kali bit berikutnya. Perhatikan bahwa jika bit sebelum dan sesudah sinkronisasi adalah bit logika, maka lebar nyata dari bentuk gelombang sinkronisasi akan ditingkatkan menjadi empat kali bit.
-



Gambar 7.2 Alur kerja SM

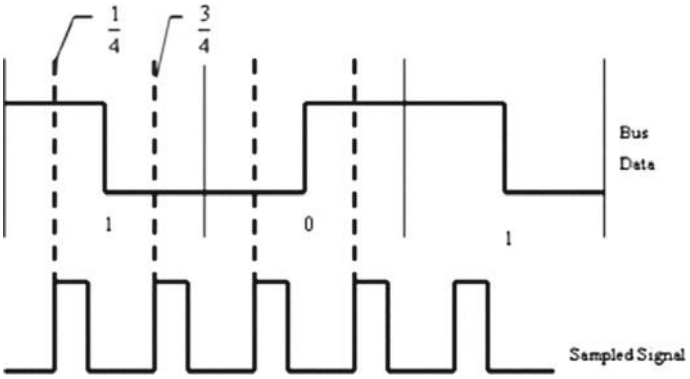
Petunjuk

Langkah l: Mengatur Register Pola Kerja BC.

Langkah 2: Atur Parameter BC dan Tulis pesan Sync/Async. Langkah 3: Tangani pesan sinkronisasi Sync/A di BC.

Langkah 4: Kirim kata perintah dan kata data. Langkah 5: Menerima kata-kata Status dan kata-kata data. Langkah 6: Prosedur Pemrosesan Pesan selesai. Langkah 7: Menyajikan interupsi.

Langkah 8: Dapatkan Hasil yang Ditangani oleh Host.



Gambar 7.3 Pengambilan sampel data dengan sinyal sampel

7.3.2 Unit Enkode Data

Encode data harus level dua fase Manchester II. Logika satu harus ditransmisikan sebagai sinyal kode bipolar 1/0 (yaitu, pulsa positif diikuti oleh pulsa negatif). Logika nol harus berupa sinyal kode bipolar 0/1 (yaitu, pulsa negatif diikuti oleh pulsa positif). Transisi melalui nol terjadi pada titik tengah setiap waktu bit. Fungsi unit mencakup kode non-RZ (NRZ) yang diubah menjadi kode Manchester, penyandian bentuk gelombang sinkronisasi, membuat bit paritas, dan konversi paralel/serial.

Proses encode adalah sebagai berikut: membuat bentuk gelombang sinkronisasi, konversi paralel/serial, membuat bit paritas, dan mengkodekan 16 bit data dan satu bit paritas. Dengan frekuensi input 12 MHz, ketika TX-CSW bernilai true, tempatkan bit bentuk gelombang sinkron di depan bit data yang valid dalam kata perintah, dan dikodekan dengan enkode Manchester.

7.3.3 Unit Dekode Kata Perintah

Sebagai salah satu bagian dari unit decoding, fungsi utamanya adalah untuk men-decode kata-kata perintah yang dikirim dan kata-kata status yang diterima kembali oleh RT dalam mode BC, dan mengirim perintah kontrol ke unit lain. Alur kerja unit mencakup set MODE "00" ("00": mode BC, "01":RT, "10":MT) sebelum mengirim pesan, menghitung alamat RT, sub-alamat, jenis pesan, jumlah kata kirim, alamat di decoder, alamat awal, dan sinyal pemilihan alamat berdasarkan protokol 1553B. Selain itu, langkah selanjutnya perlu juga, yaitu mendapatkan perintah kontrol sesuai dengan membaca data dari RAM atau menulis RAM.

7.3.4 Kirim Unit Kontrol

Fungsi utamanya adalah mendapatkan data untuk pengiriman encoder, menentukan waktu mulai pengiriman data ke RT, dan membuat bentuk gelombang sinkronisasi. Alur kerja unit termasuk memuat kata-kata perintah untuk pengkodean ke encoder, menyinkronkan output tunggal pada saat yang sama, dan menilai apakah ada kata-kata data untuk mengirim di belakang kata-kata perintah, jika demikian, mulai menyandikan dan mengirim data, jika tidak, status pekerjaan berubah menjadi menganggur.

7.3.5 Kata Status Menerima Unit Kontrol dan Dekode

Kata status harus terdiri dari bentuk gelombang sinkronisasi, alamat RT, bit kesalahan pesan, bit instrumentasi, bit permintaan layanan, tiga bit yang dicadangkan, bit perintah

siaran yang diterima, bit sibuk, bit bendera subsistem, bit penerimaan kontrol bus dinamis, bit bendera terminal, dan sedikit paritas. Fungsi utamanya adalah untuk menentukan apakah bus terus menerima data sesuai dengan parameter output yang diatur oleh mode operasional dan sinyal input. Melalui decoding kata status yang dikembalikan RT, kita dapat mengetahui status kerja sistem dalam mode BC.

Alur kerja unit sebagai berikut, pertama, ditentukan apakah data adalah kata-kata status sesuai dengan bendera bentuk gelombang sinkron dari unit dekode. Kedua, perlu untuk menentukan apakah alamat RT benar sesuai dengan lima bit pertama dari kata status, jika tidak, harus ditetapkan RTADDR-ERR 1, jika tidak, dekode kata status. Akhirnya, ia akan menerima kata-kata data di belakang kata-kata status di bawah kendali kata-kata perintah.

7.3.6 Unit Dekode Alamat

Fungsi utamanya adalah untuk mendekode alamat dalam unit decode kata perintah, memuat data, alamat awal, penghitung kata data awal, dan inisial RX-RDY, TX-RDY. Perlu dicatat bahwa alamat RAM awal sebagai input dihitung dengan daftar alamat RT dalam kata-kata perintah, di mana ada alamat RT, ada buffer di RAM, dan nilainya sama dengan posisi awal pengalokasian buffer di RAM.

Di bawah kendali sinyal alamat, inisialisasi alamat terlebih dahulu, kemudian menerima atau mengirim kata-kata data dan ditambah satu ke alamat sesuai dengan umpan balik sinyal yang berasal dari unit encode/decode, sampai semua data diterima atau dikirim. Operasi akan dipicu oleh sinyal siap data dari RX-RDY dan TX-RDY. Karena waktu menghasilkan sinyal alamat lebih lambat dari sinyal siap, sehingga operasi hanya dipicu setelah penundaan tertentu.

7.3.7 Kirim Unit Deteksi Lembur

Kita dapat memahami waktu pengiriman data dengan mudah, sesuai dengan interval antara mengirim dan menerima pesan. Ada penghitung untuk memantau output penyelam, jika nilainya lebih besar dari 800 s saat mengirim data, itu akan berhenti untuk mengirim dan menyandikan, menghasilkan sinyal lembur untuk mengatur ulang akhirnya.

7.3.8 Unit Deteksi Kesalahan

Untuk memastikan sistem komunikasi dapat diandalkan, kami akan mengadopsi protokol Automatic Repeat Request (ARQ). Bab ini memperkenalkan metode deteksi baru untuk menemukan kesalahan, yang disebut sebagai pendekatan desain perangkat lunak. Fungsi utamanya adalah untuk memeriksa data encode/decode yang mengadopsi teknologi, menentukan respon RT lembur, mendeteksi jumlah kata, dan menghasilkan interupsi kesalahan.

- Deteksi Jumlah Kata: Fungsi utamanya adalah untuk memeriksa jumlah kata data yang dikirim, jumlah kata data yang diterima, dan mengontrol jumlah kata dengan nilai positif dan negatif Manchester.
- Respon RT Lembur: Fungsi utamanya adalah untuk menentukan apakah kata-kata status diterima tepat waktu setelah kata-kata perintah atau kata-kata data dikirim. Pada saat yang sama, itu juga menentukan waktu kata status pengembalian RT.

- Hasilkan Interupsi: Atur INT 1 1 sesuai dengan jenis kesalahan seperti kesalahan paritas, kesalahan penghitung, lembur respons RT, kesalahan alamat RT, dll.

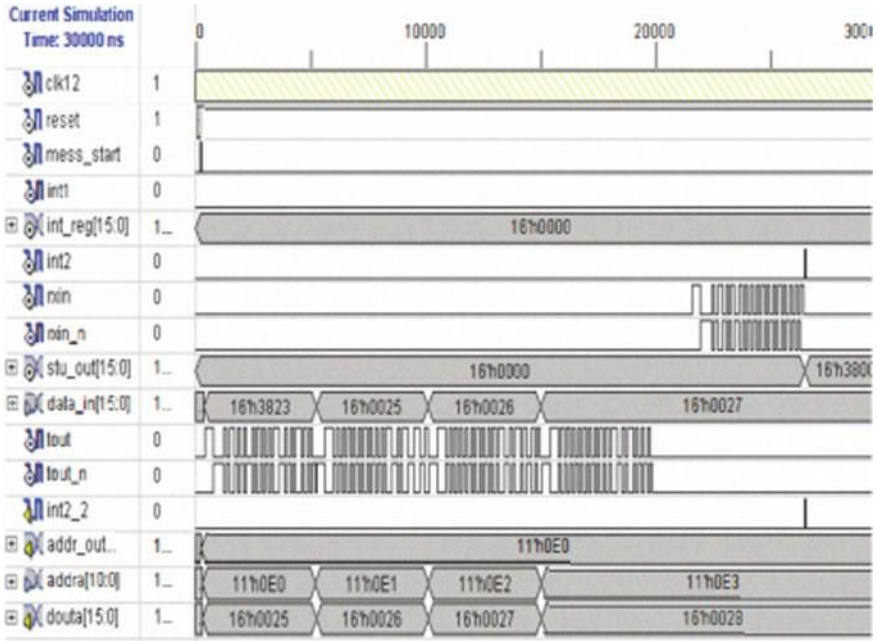
7.3.9 Antarmuka Komunikasi DSP

Bab ini memperkenalkan prosesor utama bernama ADSP-21161. Dengan menggunakan antarmuka komunikasi paralel, kami menyelesaikan pertukaran informasi dan penyimpanan data antara prosesor utama dan chip protokol pada bus alamat, bus data, dan bus kontrol.

- Komunikasi Paralel: Fungsi utamanya adalah untuk mengontrol komunikasi antara modul protokol dan DSP, termasuk sinyal data, sinyal alamat, WRIRD, dan MSO-MS3 dari DSP.
- Antarmuka Penyimpanan: Ini menyediakan antarmuka antara membaca/menulis sinyal dalam chip dan mengunjungi sinyal di DSP, dan menghindari konflik akses membaca atau menulis pada saat yang sama di bawah kendali prioritas.
- Dual Port RAM: Ini menyediakan buffer dalam chip, dan mengadopsi RAM 2K 16 di bab ini.

7.4 Emulasi Logika

Bab ini memperkenalkan proses simulasi dan analisis hasil simulasi tentang membaca atau menulis ke CPU, transisi keadaan pengontrol dan mesin keadaan protokol. Gambar 7.4 menunjukkan pengiriman kata-kata perintah ke RT dan menerima kata-kata status yang dikembalikan dari RT.



Gambar 7.4 Hasil simulasi pengiriman kata perintah

7.5 Kesimpulan

Dalam bab ini, protokol BCU 1553B berhasil dirancang berdasarkan penelitian mendalam untuk protokol 1553B. Metode desain menunjukkan pemahaman yang baik tentang perencanaan desain dan fokus pada detail teknis. Hasil simulasi menunjukkan efektivitas metode ini.

BAGIAN II
JARINGAN SENSOR NIRKABEL INDUSTRI

Bagian II dari buku berjudul Jaringan Sensor Nirkabel Industri memuat 11 proposal penelitian yang menganalisis dan mengevaluasi Industrial Wireless Sensor Networks (IWSN) atau Jaringan Sensor Nirkabel Industri dalam hal teknologi nirkabel. Aspek tersebut disorot oleh poin-poin kunci yang terdiri dari mekanisme Medium Access Control (MAC), standar komunikasi nirkabel untuk bidang industri. Selain itu, aplikasi jaringan tersebut dari penginderaan lingkungan, pemantauan kondisi, dan aplikasi proses otomatisasi yang ditentukan. Merancang jaringan yang sesuai didasarkan pada persyaratan aplikasi yang spesifik. Hal ini menunjukkan tantangan teknologi dalam menyebarkan WSN di lingkungan industri serta solusi yang diusulkan untuk masalah tersebut. Daftar ekstensif solusi komersial IWSN dan penyedia layanan yang disediakan serta tren masa depan di bidang IWSN telah dirangkum pada bagian ini.

BAB 8
GAMBARAN UMUM
JARINGAN SENSOR NIRKABEL

8.1 Pendahuluan

Wireless Sensor Networks (WSN) atau Jaringan sensor nirkabel secara umum digambarkan sebagai jaringan node yang secara kooperatif merasakan dan dapat mengontrol lingkungan yang memungkinkan interaksi antara orang atau komputer dan lingkungan sekitarnya. Di satu sisi, WSN memungkinkan aplikasi baru dan dengan demikian kemungkinan pasar baru; di sisi lain, desain dipengaruhi oleh beberapa kendala yang membutuhkan paradigma baru.

Faktanya, aktivitas penginderaan, pemrosesan, dan komunikasi di bawah jumlah energi yang terbatas, memicu pendekatan desain lintas-lapisan yang biasanya memerlukan pertimbangan bersama dari pemrosesan sinyal/data terdistribusi, kontrol akses media, dan protokol komunikasi. WSNs memiliki beberapa aspek umum dengan jaringan ad hoc nirkabel dan dalam banyak kasus, mereka hanya dianggap sebagai kasus khusus dari mereka. Hal ini dapat menyebabkan kesimpulan yang salah, terutama ketika protokol dan algoritma yang dirancang untuk jaringan ad hoc digunakan di WSN. Untuk alasan ini, dalam Bab 8.2, definisi yang tepat dari WSN dan diskusi disediakan.

Serangga. 8.3, area aplikasi utama untuk WSN dikategorikan menurut jenis informasi yang diukur atau dibawa oleh jaringan. Aplikasi, di atas tumpukan, menetapkan persyaratan yang mendorong pemilihan protokol dan teknik transmisi; di sisi lain, saluran nirkabel menimbulkan kendala pada kemampuan dan kinerja komunikasi. Berdasarkan persyaratan yang ditetapkan oleh aplikasi dan kendala yang ditimbulkan oleh saluran nirkabel, protokol dan teknik komunikasi dipilih. Fitur utama di WSN dijelaskan di bab 8.4. Secara khusus, desain protokol komunikasi hemat energi adalah masalah yang sangat aneh dari WSN, tanpa preseden yang signifikan dalam sejarah jaringan nirkabel.

Umumnya, ketika sebuah node dalam mode transmisi, transceiver mengalirkan lebih banyak arus dari baterai daripada mikroprosesor dalam keadaan aktif atau sensor dan chip memori. Rasio antara energi yang dibutuhkan untuk transmisi dan untuk memproses sedikit informasi biasanya diasumsikan jauh lebih besar dari satu (lebih dari 100 atau 1000 di sebagian besar platform komersial). Untuk alasan ini, protokol komunikasi perlu dirancang sesuai dengan paradigma efisiensi energi, sementara batasan ini tidak terlalu membatasi untuk memproses tugas. Kemudian, desain protokol komunikasi hemat energi adalah masalah yang sangat aneh dari WSN, tanpa preseden yang signifikan dalam sejarah jaringan nirkabel.

Sebagian besar literatur tentang WSN berkaitan dengan desain protokol hemat energi, mengabaikan peran energi yang dikonsumsi saat memproses data di dalam node, dan menyimpulkan bahwa transceiver adalah bagian yang bertanggung jawab atas konsumsi sebagian besar energi. Di sisi lain, pemrosesan data di WSN mungkin memerlukan tugas yang

memakan waktu untuk dilakukan di mikroprosesor, jauh lebih lama daripada waktu sebenarnya yang dihabiskan transceiver dalam mode transmisi. Hal ini dapat menyebabkan konsumsi energi yang signifikan oleh mikroprosesor, bahkan sebanding dengan energi yang dikonsumsi selama transmisi, atau penerimaan, oleh transceiver. Dengan demikian, aturan umum bahwa desain desain protokol komunikasi jauh lebih penting daripada penjadwalan tugas pemrosesan tidak selalu benar.

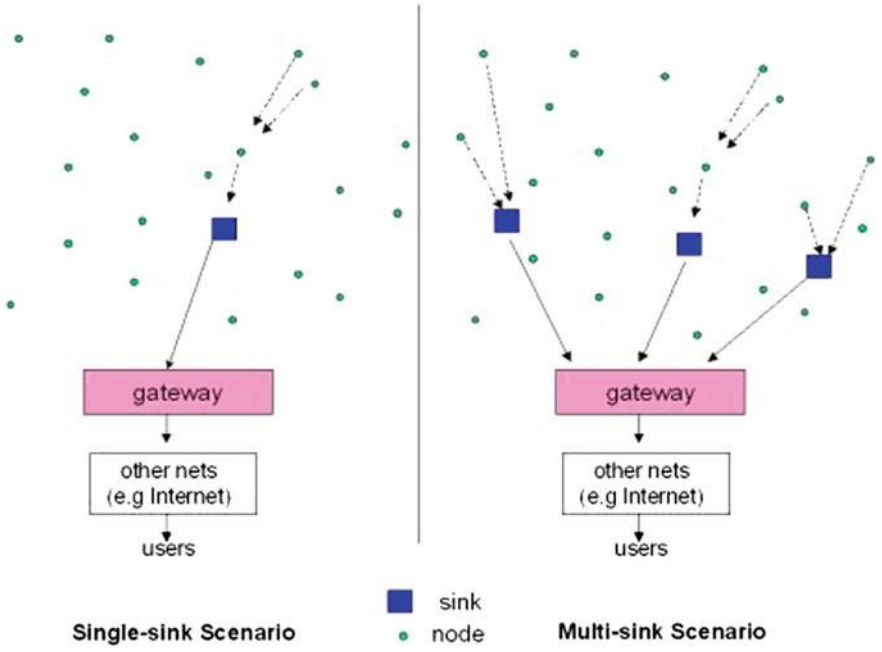
8.2 Jaringan Sensor Nirkabel

WSN dapat didefinisikan sebagai jaringan perangkat, dilambangkan sebagai node, yang dapat merasakan lingkungan dan mengkomunikasikan informasi yang dikumpulkan dari bidang yang dipantau (misalnya, area atau volume) melalui tautan nirkabel. Data diteruskan, mungkin melalui beberapa hop, ke sink (kadang-kadang dilambangkan sebagai pengontrol atau monitor) yang dapat menggunakannya secara lokal atau terhubung ke jaringan lain (mis., Internet) melalui gateway. Node dapat stasioner atau bergerak. Mereka dapat menyadari lokasi mereka atau tidak dan mereka dapat homogen atau tidak.

Ini adalah WSN wastafel tunggal tradisional (lihat Gambar 8.1, bagian kiri). Hampir semua karya ilmiah dalam literatur berurusan dengan definisi seperti itu. Skenario single-sink ini mengalami kekurangan skalabilitas: dengan meningkatkan jumlah node, jumlah data yang dikumpulkan oleh sink meningkat dan begitu kapasitasnya tercapai, ukuran jaringan tidak dapat ditambah. Selain itu, untuk alasan yang terkait dengan aspek MAC dan perutean, kinerja jaringan tidak dapat dianggap terlepas dari ukuran jaringan.

Skenario yang lebih umum mencakup beberapa sink dalam jaringan (lihat Gambar 8.1, bagian kanan) . Mengingat tingkat kepadatan node, jumlah sink yang lebih besar akan mengurangi kemungkinan kluster node yang terisolasi yang tidak dapat mengirimkan datanya karena kondisi propagasi sinyal yang tidak menguntungkan. Pada prinsipnya, WSN multiple-sink dapat diskalakan (yaitu, kinerja yang sama dapat dicapai bahkan dengan meningkatkan jumlah node), sementara ini jelas tidak benar untuk jaringan single-sink.

Namun, WSN multi-sink tidak mewakili perpanjangan sepele dari kasus single-sink untuk insinyur jaringan. Dalam banyak kasus node, mengirim data yang dikumpulkan ke salah satu sink, dipilih di antara banyak, yang meneruskan data ke gateway, menuju pengguna akhir (lihat Gambar 8.1, bagian kanan). Dari sudut pandang protokol, ini berarti bahwa pemilihan dapat dilakukan, berdasarkan kriteria yang sesuai, misalnya penundaan minimum, throughput maksimum, jumlah hop minimum, dll. Oleh karena itu, keberadaan beberapa sink memastikan kinerja jaringan yang lebih baik. sehubungan dengan kasus single-sink (dengan asumsi jumlah node yang sama digunakan di area yang sama), tetapi protokol komunikasi harus lebih kompleks dan harus dirancang sesuai dengan kriteria yang sesuai.

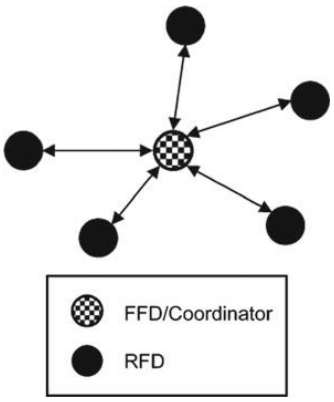


Gambar 8.1 Bagian kiri: WSN wastafel tunggal. Bagian kanan: skenario multi-sink

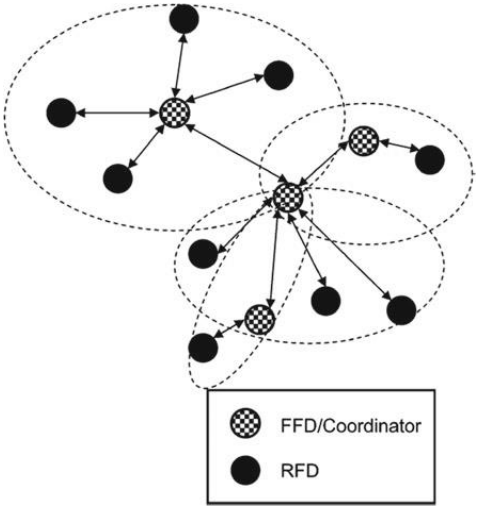
8.3 Topologi Jaringan dari Jaringan Sensor Nirkabel

Untuk membantu diskusi kita tentang Jaringan Sensor Nirkabel, pembaca dapat merujuk ke Gambar 8.2, yang menggambarkan jaringan bintang sederhana yang terdiri dari enam node. Menggunakan terminologi IEEE 802.15.4, kumpulan node ini disebut PAN; dan diasumsikan mencakup wilayah geografis yang kecil (G 10 m). Selain itu, ada dua jenis node yang didefinisikan dalam standar; perangkat fungsi penuh (FFD) dan perangkat fungsi yang dikurangi (RFD). Dari kontrol PAN dan sudut pandang multi-akses, FFD berisi perangkat lunak yang memungkinkan inisiasi PAN, pembentukan jaringan, dan kontrol saluran nirkabel untuk beberapa akses di antara RFD.

FFD biasanya disebut sebagai “koordinator” karena kemampuannya untuk menyediakan fungsi-fungsi di atas. Pada gambar, node FFD digambarkan di tengah PAN sedangkan node RFD ditampilkan di sekitar koordinator. Panah menunjukkan bahwa perangkat RFD secara logis terkait dengan koordinator dan mengandalkannya untuk layanan akses ganda dan transportasi data.



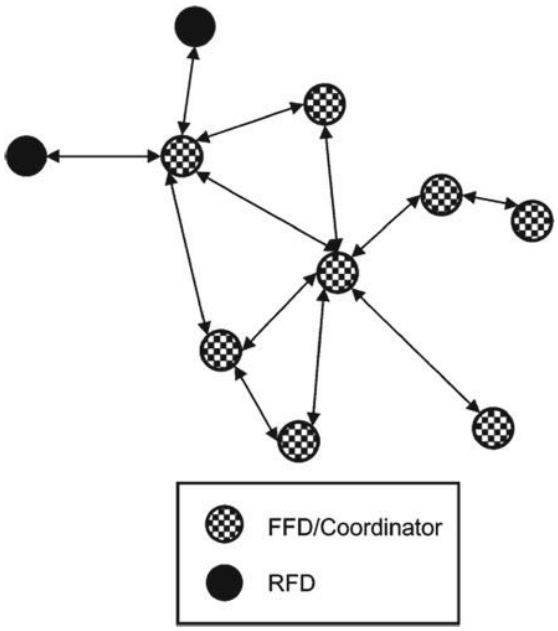
Gambar 8.2 Jaringan sensor sederhana dengan topologi star



Gambar 8.3 Jaringan sensor dengan topologi pohon

Gambar 8.3 menunjukkan contoh lain dari topologi jaringan sensor, biasanya disebut sebagai jaringan pohon. Pada gambar ini, kita kembali mempertimbangkan perangkat FFD dan RFD seperti pada Gambar 8.2.

Jaringan pohon dapat dilihat sebagai penggabungan jaringan bintang (digambarkan oleh lingkaran putus-putus) di mana jaringan bintang dihubungkan bersama dengan menghubungkan FFD di setiap bintang bersama-sama. Perhatikan di sini bahwa data mungkin perlu dirutekan melalui beberapa lompatan jika perangkat ingin berkomunikasi di luar jaringan bintang lokal mereka.



Gambar 8.4 Jaringan sensor dengan topologi mesh

Topologi ketiga yang perlu dipertimbangkan adalah topologi mesh, yang mirip dengan topologi pohon multi-hop tetapi dengan penambahan beberapa tautan di antara perangkat. (Dalam jaringan pohon, hanya ada satu jalur antara dua perangkat.) Topologi mesh pada Gambar 8.4 memberikan keandalan ke jaringan dalam bentuk jalur yang

berlebihan di antara perangkat sehingga, jika terjadi kegagalan perangkat atau tautan, data mungkin dialihkan.

8.4 Aplikasi WSN

Berbagai kemungkinan penerapan WSNs ke dunia nyata praktis tidak terbatas, dari pemantauan lingkungan, perawatan kesehatan, penentuan posisi dan pelacakan, hingga logistik, lokalisasi, dan sebagainya. Klasifikasi yang mungkin untuk aplikasi disediakan di bagian ini. Penting untuk digarisbawahi bahwa aplikasi sangat mempengaruhi pilihan teknologi nirkabel yang akan digunakan. Setelah persyaratan aplikasi ditetapkan, pada kenyataannya, perancang harus memilih teknologi yang memungkinkan untuk memenuhi persyaratan ini. Untuk tujuan ini pengetahuan tentang fitur, keuntungan dan kerugian dari teknologi yang berbeda sangat mendasar.

8.4.1 Klasifikasi Aplikasi

Salah satu klasifikasi yang mungkin membedakan aplikasi menurut jenis data yang harus dikumpulkan dalam jaringan. Hampir semua aplikasi, pada kenyataannya, dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori: deteksi peristiwa (ED) dan Estimasi Proses Spasial (SPE).

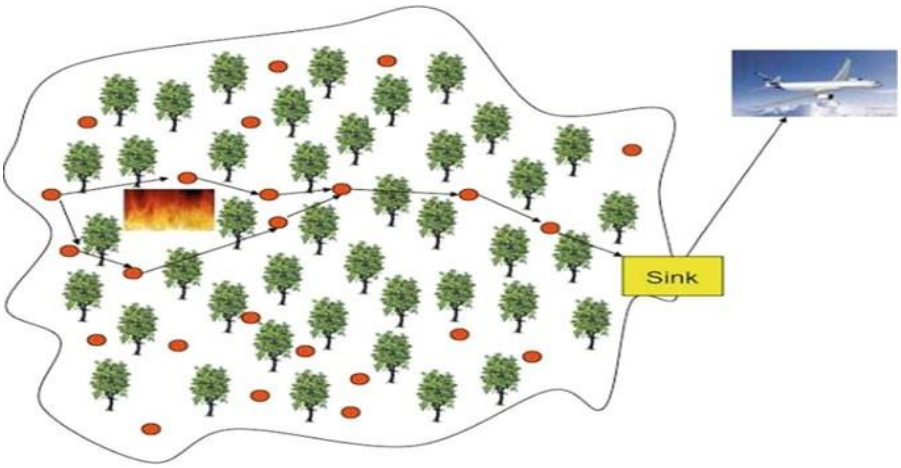
Dalam kasus pertama, sensor dikerahkan untuk mendeteksi suatu peristiwa, misalnya kebakaran di hutan, gempa, dll. Pemrosesan sinyal dalam perangkat sangat sederhana, karena fakta bahwa setiap perangkat harus membandingkan kuantitas yang diukur dengan ambang batas yang diberikan dan untuk mengirim informasi biner ke wastafel. Kepadatan node harus memastikan bahwa peristiwa tersebut terdeteksi dan diteruskan ke sink dengan probabilitas keberhasilan yang sesuai sambil mempertahankan probabilitas alarm palsu yang rendah. Deteksi Fenomena Kepentingan (POI) dapat dilakukan dengan cara terdesentralisasi (atau terdistribusi), yang berarti bahwa sensor, bersama dengan wastafel, secara kooperatif melakukan tugas mengidentifikasi POI.

Namun, tidak seperti dalam masalah deteksi desentralisasi klasik, tantangan yang lebih besar ada dalam pengaturan WSN. Ada kendala daya yang ketat untuk setiap node, saluran komunikasi antara node dan pusat fusi sangat dibatasi bandwidth dan tidak lagi lossless (misalnya, memudar, kebisingan dan, mungkin, sumber gangguan eksternal hadir), dan pengamatan di masing-masing node. node sensor bervariasi secara spasial. Dalam konteks deteksi terdesentralisasi, kerjasama memungkinkan pertukaran informasi di antara node sensor untuk terus memperbarui keputusan lokal mereka sampai konsensus tercapai di seluruh node.

Dalam SPE, WSN bertujuan untuk memperkirakan fenomena fisik tertentu (misalnya, tekanan atmosfer di area yang luas, atau variasi suhu tanah di situs vulkanik kecil), yang dapat dimodelkan sebagai proses acak dua dimensi (umumnya nonstasioner) . Dalam hal ini, masalah utama adalah untuk mendapatkan estimasi seluruh perilaku proses spasial berdasarkan sampel yang diambil oleh sensor yang biasanya ditempatkan pada posisi acak. Pengukuran kemudian akan tunduk pada pemrosesan yang tepat yang dapat dilakukan baik secara terdistribusi oleh node, atau secara terpusat di supervisor. Kesalahan estimasi sangat

terkait dengan kepadatan node serta variabilitas spasial dari proses. Kepadatan node yang lebih tinggi menghasilkan rekonstruksi medan skalar yang lebih akurat dengan mengorbankan throughput dan biaya jaringan yang lebih besar.

Ada juga aplikasi yang termasuk dalam kedua kategori tersebut. Sebagai contoh, aplikasi pemantauan lingkungan dapat berbasis ED atau SPE. Untuk kategori pertama termasuk, misalnya, lokasi kebakaran di hutan, atau deteksi gempa, dll (lihat Gambar 8.5). Atau, estimasi suhu area tertentu termasuk dalam kategori kedua. Secara umum, aplikasi ini bertujuan untuk memantau lingkungan dalam atau luar ruangan, di mana area yang diawasi mungkin beberapa ratus meter persegi atau ribuan kilometer persegi, dan durasi pengawasan dapat berlangsung selama bertahun-tahun. Bencana alam seperti banjir, kebakaran hutan, dan gempa bumi dapat dirasakan lebih awal dengan memasang sistem tertanam berjejaring lebih dekat ke tempat-tempat di mana fenomena ini dapat terjadi. Sistem seperti itu tidak dapat mengandalkan infrastruktur tetap dan harus sangat kuat, karena gangguan yang tak terhindarkan ditemui di lingkungan terbuka.



Gambar 8.5 Aplikasi pendeteksi kejadian

Sistem harus merespons perubahan lingkungan secepat mungkin. Lingkungan yang akan diamati sebagian besar tidak dapat diakses oleh manusia sepanjang waktu. Oleh karena itu, ketangguhan memainkan peran penting. Selain itu, aplikasi keamanan dan pengawasan memiliki beberapa persyaratan yang menuntut dan menantang seperti pemantauan waktu nyata dan keamanan tinggi.

Aplikasi lain yang dapat termasuk dalam kedua kategori yang ditentukan di atas dikhususkan untuk realisasi bangunan hemat energi. Dalam aplikasi ini, sebenarnya, node sensor dapat bertujuan untuk memperkirakan proses (SPE), tetapi juga peristiwa (ED).

Dalam hal ini, WSN didistribusikan di gedung-gedung (perumahan atau bukan) untuk mengelola konsumsi energi semua peralatan listrik secara efisien. Akibatnya, node harus terus memantau energi yang dikonsumsi oleh semua peralatan yang terhubung ke jaringan listrik. Oleh karena itu, sensor harus memperkirakan suatu proses, yaitu konsumsi energi yang bervariasi dengan waktu, tetapi dalam beberapa kasus, mereka dapat digunakan untuk mendeteksi beberapa peristiwa. Sebagai contoh, sensor dapat mendeteksi kedatangan seseorang di suatu ruangan untuk menyalakan beberapa peralatan listrik.

8.4.2 Contoh Persyaratan Aplikasi

Karena berbagai kemungkinan aplikasi WSN, persyaratan sistem dapat berubah secara signifikan. Misalnya, dalam kasus aplikasi pemantauan lingkungan, persyaratan berikut biasanya dominan: efisiensi energi, node bertenaga baterai atau memiliki catu daya terbatas; kecepatan data rendah, biasanya jumlah data yang akan dirasakan terbatas; komunikasi satu arah, node bertindak hanya sebagai sensor dan karenanya aliran data dari node ke sink(s); backbone nirkabel, biasanya dalam pemantauan lingkungan tidak ada koneksi kabel yang tersedia untuk menghubungkan wastafel ke jaringan tetap.

Secara signifikan berbeda adalah persyaratan aplikasi industri yang khas di mana node nirkabel digunakan untuk penggantian kabel: keandalan, komunikasi harus kuat terhadap kegagalan dan gangguan; keamanan, komunikasi harus kuat terhadap serangan yang disengaja; interoperabilitas, standar diperlukan; kecepatan data tinggi, proses yang akan dipantau biasanya membawa sejumlah besar data; komunikasi dua arah, dalam aplikasi industri node biasanya bertindak juga sebagai aktuator dan karenanya komunikasi antara sink dan node harus dijamin; backbone kabel, sink dapat dihubungkan langsung ke jaringan tetap menggunakan koneksi kabel.

Bahkan jika persyaratan sangat bergantung pada aplikasi, salah satu masalah terpenting dalam desain WSN, terutama dalam skenario di mana ketersediaan catu daya terbatas, adalah efisiensi energi. Efisiensi energi yang tinggi berarti masa pakai jaringan yang lama dan penyebaran jaringan serta biaya pemeliharaan yang terbatas. Efisiensi energi dapat dicapai pada tingkat yang berbeda mulai dari tingkat teknologi (misalnya, dengan mengadopsi komponen perangkat keras konsumsi rendah), lapisan fisik, MAC, dan protokol perutean hingga tingkat aplikasi. Misalnya, pada lapisan fisik dan MAC, node dapat beroperasi dengan siklus tugas rendah dengan menghabiskan sebagian besar waktunya dalam mode tidur untuk menghemat energi. Ini menimbulkan masalah baru seperti node mungkin tidak bangun pada saat yang sama, karena penyimpangan jam lokal mereka, sehingga membuat komunikasi menjadi tidak mungkin.

Persyaratan utama untuk transceiver dalam jaringan sensor diberikan di ZigBee.

- Biaya rendah: Karena sejumlah besar node akan digunakan, biaya setiap node harus dijaga agar tetap kecil. Misalnya, biaya sebuah simpul harus kurang dari 1% dari biaya produk yang dilampirkannya.
- Faktor bentuk kecil: Faktor bentuk transceiver (termasuk catu daya dan antena) harus kecil sehingga dapat dengan mudah ditempatkan di lokasi di mana penginderaan sebenarnya terjadi.
- Konsumsi energi rendah: Sebuah sensor biasanya harus beroperasi selama beberapa tahun tanpa perawatan baterai, membutuhkan konsumsi energi yang sangat rendah.

Beberapa persyaratan tambahan diperlukan untuk membuat jaringan sensor nirkabel efektif.

- Robustness: Keandalan komunikasi data meskipun ada gangguan, fading skala kecil, dan shadowing diperlukan agar kualitas layanan yang tinggi (misalnya, sehubungan dengan penundaan dan pemadaman) dapat dijamin.
- Kecepatan data variabel: Meskipun kecepatan data yang diperlukan untuk jaringan sensor tidak setinggi transmisi multimedia, kecepatan data yang rendah mungkin cukup untuk aplikasi sederhana sementara beberapa aplikasi lain memerlukan kecepatan data sedang.
- Jaringan heterogen: Sebagian besar jaringan sensor bersifat heterogen, yaitu, ada node dengan kemampuan dan persyaratan yang berbeda. Biasanya, jaringan memiliki beberapa perangkat fungsi penuh (FFD) yang mengumpulkan data dari berbagai sensor, memprosesnya, dan meneruskannya ke stasiun pemantauan pusat. FFD memiliki batasan yang lebih sedikit sehubungan dengan kompleksitas pemrosesan (karena hanya ada sedikit FFD, biaya bukanlah faktor yang penting) dan konsumsi energi (karena FFD biasanya terhubung ke catu daya permanen). Node sensor itu sendiri, di sisi lain, biasanya adalah perangkat fungsi yang dikurangi (RFD) dengan batasan yang sangat ketat pada kompleksitas dan konsumsi daya.

Selain komunikasi data, geolokasi adalah aspek kunci lain untuk banyak aplikasi jaringan sensor nirkabel. Biasanya, sejumlah node mengkomunikasikan hasil penginderaan (pengukuran) mereka satu sama lain dan/atau pusat kendali. Dalam banyak kasus, pusat kendali atau node penerima perlu mengetahui lokasi yang tepat dari pemancar. Misalnya, ketika sensor api mendeteksi kebakaran, pusat kendali tidak hanya ingin mengetahui ada kebakaran tetapi juga ingin mengetahui di lokasi mana. Dalam sistem otomasi gedung, sejumlah besar sensor akan dipasang dengan peralatan gedung. Setiap kondisi abnormal yang terdeteksi beserta lokasinya akan sangat membantu upaya diagnosis dan pemeliharaan. Meskipun beberapa aplikasi dengan kebutuhan geolokasi mungkin memilih untuk memasukkan lokasi perangkat secara manual, banyak aplikasi tidak mampu membayar waktu atau biaya yang terkait dengan praktik ini. Informasi lokasi juga penting karena sistem pemantauan dan kontrol sering melakukan analisis data berdasarkan korelasi spasial dan temporal dari sensor jarak dekat.

8.5 Fitur Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel

Dalam jaringan ad hoc, node nirkabel mengatur dirinya sendiri menjadi jaringan tanpa infrastruktur dengan topologi dinamis. Jaringan sensor nirkabel memiliki ciri-ciri ini, tetapi juga memiliki beberapa fitur yang membedakan. Jumlah node dalam jaringan sensor tipikal jauh lebih tinggi daripada di jaringan ad hoc tipikal, dan penyebaran yang padat sering kali diinginkan untuk memastikan cakupan dan konektivitas; untuk alasan ini, perangkat keras jaringan sensor harus murah. Node biasanya memiliki batasan energi yang ketat, yang membuatnya lebih rentan terhadap kegagalan. Mereka umumnya dianggap stasioner, tetapi kerusakan yang relatif sering dan sifat saluran nirkabel yang tidak stabil tetap menghasilkan topologi jaringan yang bervariasi. Idealnya, perangkat keras jaringan sensor harus hemat

daya, kecil, murah, dan andal untuk memaksimalkan masa pakai jaringan, menambah fleksibilitas, memfasilitasi pengumpulan data, dan meminimalkan kebutuhan pemeliharaan.

8.5.1 Seumur Hidup

Seumur hidup sangat penting untuk sebagian besar aplikasi, dan faktor pembatas utamanya adalah konsumsi energi dari node, yang perlu *self-powering.* Meskipun sering diasumsikan bahwa daya pancar yang terkait dengan transmisi paket menyumbang bagian terbesar dari konsumsi daya, penginderaan, pemrosesan sinyal, dan bahkan operasi perangkat keras dalam mode siaga juga mengkonsumsi jumlah daya yang konsisten. Banyak peneliti menyarankan bahwa konsumsi energi dapat dikurangi dengan mempertimbangkan saling ketergantungan yang ada antara lapisan individu dalam tumpukan protokol jaringan. Perutean dan protokol akses saluran, misalnya, dapat sangat diuntungkan dari pertukaran informasi dengan lapisan fisik.

Pada lapisan fisik, manfaat dapat diperoleh dengan siklus tugas radio yang lebih rendah dan penskalaan modulasi dinamis (memvariasikan ukuran konstelasi untuk meminimalkan pengeluaran energi). Solusi *Medium Access Control (MAC)* memiliki dampak langsung pada konsumsi energi, karena beberapa penyebab utama pemborosan energi ditemukan di lapisan MAC: tabrakan, overhead paket kontrol, dan mendengarkan saat idle. Perutean hemat energi harus menghindari hilangnya node karena penipisan baterai.

8.5.2 Fleksibilitas

Jaringan sensor harus dapat diskalakan, dan mereka harus dapat beradaptasi secara dinamis dengan perubahan kepadatan node dan topologi, seperti dalam kasus ladang ranjau yang menyembuhkan diri sendiri. Dalam aplikasi pengawasan, sebagian besar node mungkin tetap diam selama tidak ada hal menarik yang terjadi. Namun, mereka harus dapat menanggapi peristiwa khusus yang ingin dipelajari oleh jaringan dengan tingkat perincian tertentu. Di ladang ranjau yang menyembuhkan diri sendiri, sejumlah ranjau penginderaan dapat tidur selama tidak ada ranjau yang meledak, tetapi harus segera beroperasi jika ada serangan musuh. Waktu respons juga sangat penting dalam aplikasi kontrol (jaringan sensor/aktuator) di mana jaringan akan menyediakan layanan jaminan penundaan.

8.5.3 Pemeliharaan

Satu-satunya bentuk pemeliharaan yang diinginkan dalam jaringan sensor adalah pembaruan lengkap atau sebagian dari kode program di node sensor melalui saluran nirkabel. Fungsi jaringan secara keseluruhan tidak boleh terancam oleh kegagalan node tunggal yang tidak dapat dihindari, yang dapat terjadi karena sejumlah alasan, mulai dari penipisan baterai hingga kejadian eksternal yang tidak dapat diprediksi, dan mungkin independen atau berkorelasi spasial. Toleransi kesalahan sangat penting karena pemeliharaan berkelanjutan jarang menjadi pilihan dalam aplikasi jaringan sensor. Node yang dapat dikonfigurasi sendiri diperlukan untuk memungkinkan proses penyebaran berjalan dengan lancar tanpa interaksi manusia, yang pada prinsipnya harus dibatasi untuk menempatkan node ke dalam area geografis tertentu. Kesadaran lokasi penting untuk konfigurasi sendiri dan memiliki keuntungan pasti dalam hal perutean dan keamanan. Sinkronisasi waktu menguntungkan dalam mempromosikan kerjasama antar node seperti fusi data, akses saluran, atau interaksi terkait keamanan.

8.6 Teknologi dan Aplikasi yang Ada

Baru-baru ini, sebagian besar jaringan sensor nirkabel mengandalkan skema transmisi pita sempit seperti urutan langsung atau frekuensi hopping bersama dengan teknik akses ganda seperti *carrier sense multiple access (CSMA).* Misalnya, lapisan PHY spektrum penyebaran urutan langsung pita sempit (DSSS) yang saat ini digunakan bersama dengan standar jaringan ZigBee di pita 2,4 GHz 2 menggunakan modulasi key shift kode 2 Mchip per detik untuk menyediakan 250 kbit /S. ZigBee dapat digunakan untuk solusi kontrol dan pemantauan nirkabel tanpa kabel infrastruktur yang ekstensif.

Jaringan sensor nirkabel menggunakan ZigBee juga dapat digunakan untuk memantau aset logistik dan melacak objek. Namun, estimasi lokasi berdasarkan DSSS pita sempit dapat mencapai akurasi pada urutan beberapa meter, yang hanya sedikit lebih akurat daripada RFID tradisional. Pasar awal utama ZigBee adalah rumah, gedung, dan otomasi industri seperti pemantauan dan kontrol lampu dan HVAC, keamanan di gedung komersial dan rumah, pemantauan dan kontrol industri, pembacaan meter otomatis, pemantauan medis dan kesehatan pasien, peralatan, dan fasilitas.

Teknologi kandidat lain untuk WSN adalah berbagai bentuk IEEE 802.11 atau WiFi. IEEE meratifikasi spesifikasi awal IEEE 802.11 pada tahun 1997 sebagai standar untuk Jaringan Area Lokal (WLAN) nirkabel. Versi awal 802.11 (yaitu 802.11b) mendukung transmisi hingga 11 Mbits/dtk. Standar WLAN utama berikutnya adalah 802.11a dan 802.11g, yang mencapai 54 Mbits/s. Baru-baru ini, standar 802.11n sedang dikembangkan untuk mencapai lebih dari 100 Mbits/s untuk aplikasi kecepatan data tinggi dan IEEE 802.11s dikembangkan untuk mewujudkan jaringan mesh.

WiFi dirancang untuk jaringan PC, printer, dan perangkat lain yang cepat dan mudah di lingkungan lokal. Ini dapat memberikan kecepatan data yang jauh lebih tinggi daripada ZigBee dengan jarak komunikasi yang lebih jauh per tautan. Selain itu, WiFi merupakan teknologi yang lebih matang dan telah diadopsi secara luas di berbagai aplikasi. Namun, kompleksitas dan konsumsi energinya jauh lebih tinggi daripada ZigBee. Untuk alasan ini, teknologi WiFi telah diterapkan hanya untuk melakukan beberapa fungsi tertentu dalam jaringan sensor nirkabel. Dalam banyak kasus, ini digunakan untuk mengumpulkan data sensor untuk transmisi jarak jauh dengan catu daya tetap. Di beberapa sistem jaringan nirkabel industri dan rumah sakit, WiFi juga telah digunakan untuk memantau dan menemukan fasilitas dengan akurasi beberapa meter.

Dibandingkan dengan DSSS dan WiFi pita sempit, UWB menawarkan keuntungan yang signifikan sehubungan dengan ketahanan, konsumsi energi, dan akurasi lokasi. UWB menyebarkan sinyal transmisi melalui bandwidth yang sangat besar (biasanya 500 MHz atau lebih). Dengan menggunakan faktor penyebaran yang besar, ketahanan yang lebih tinggi terhadap interferensi dan fading tercapai. Penggunaan pulsa yang sangat pendek dalam transmisi radio impuls dengan sinyal hati-hati dan desain arsitektur menghasilkan pemancar yang sangat sederhana dan memungkinkan konsumsi energi yang sangat rendah. Konsumsi daya rata-rata untuk transceiver UWB adalah sekitar 30 mW yang mirip dengan ZigBee pita sempit (20–40 mW) dan jauh lebih rendah dari 802.11g (500 mW–1 W).

Tabel 8.1 Perbandingan teknologi nirkabel

	2.4 GHz ZigBee	**WiFi 2,4 GHz**	**UWB**
Kecepatan data	Rendah, 250 kbps	Tinggi, 11 Mbps untuk 802.11b dan	Sedang, 1 Mbit/dtk wajib, dan hingga 27 Mbps untuk 802.15.4a
Jarak transmisi	Pendek, <30 m	100 Mbps untuk 802.11n	Pendek, <30 m
Akurasi lokasi	Rendah, beberapa meter	Panjang, hingga 100 m	Tinggi, <50 cm
Konsumsi daya	Rendah, 20–40 mW	Rendah, beberapa meter	Rendah, 30 mW
Performa multipath	Miskin	Tinggi, 500 mW-1 W	Bagus
Ketahanan gangguan	Rendah	Miskin	Tinggi dengan tinggi penerima kompleksitas, rendah dengan penerima paling sederhana
Gangguan ke sistem lain	Tinggi	Medium	Rendah
Kompleksitas dan biaya	Rendah	Tinggi	Rendah-sedang-tinggi dimungkinkan

Ketepatan pengukuran jarak, yang menjadi dasar geolokasi, sebanding dengan bandwidth yang dapat digunakan. Oleh karena itu, UWB juga menawarkan keuntungan yang cukup besar untuk geolokasi dengan akurasi submeter. Lebih baik dari akurasi rentang 15 cm dan akurasi lokasi kurang dari 50 cm dapat dicapai. Tabel 8.1 memberikan perbandingan antara ketiga teknologi tersebut di atas.

8.7 Kesimpulan

Jaringan sensor menawarkan tantangan yang tak terhitung jumlahnya, tetapi keserbagunaan dan jangkauan aplikasinya yang luas semakin menarik minat komunitas riset dan juga industri. Jaringan sensor berpotensi memicu revolusi teknologi informasi berikutnya. Tujuan dari bab ini adalah untuk mendiskusikan beberapa isu WSN yang paling relevan, dari sudut pandang aplikasi, desain, dan teknologi. Untuk merancang sebuah WSN, sebenarnya, diperlukan teknologi yang paling sesuai untuk menentukan yang akan digunakan dan protokol komunikasi yang akan diterapkan (topologi, strategi pemrosesan sinyal, dll.).

BAB 9
FIELDBUS NIRKABEL UNTUK JARINGAN INDUSTRI

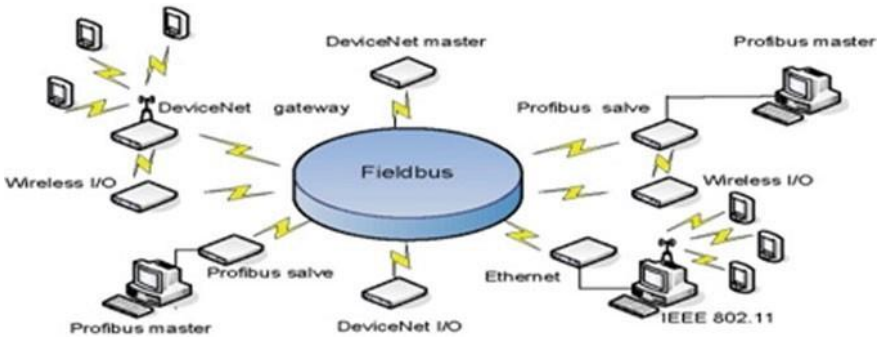
9.1 Pendahuluan

Peningkatan jaringan komunikasi nirkabel baru-baru ini memungkinkan penggunaan jaringan tersebut pada tingkat sistem otomasi pabrik yang paling rendah, yang biasanya memerlukan persyaratan yang berat baik dari segi kinerja waktu nyata dan keandalan. Namun, pabrik industri mewakili lingkungan yang tidak bersahabat karena adanya sumber kebisingan yang berbeda. Kehadiran suara-suara ini dapat dengan mudah menimbulkan kerusakan pada sinyal informasi nirkabel dan menciptakan interupsi yang salah pada data yang dikirimkan. Bab ini menyajikan survei dan analisis fieldbus nirkabel di lingkungan industri. Untuk lingkungan industri, keandalan, dan persyaratan waktu yang ketat sulit dipenuhi oleh sifat khusus dari komunikasi nirkabel.

Saat ini, jaringan komunikasi kabel digunakan di lingkungan pabrik industri. Lingkungan dikenal sebagai tingkat lapangan dan jaringan komunikasi yang bersangkutan disebut Fieldbuses. Dalam jaringan industri, jaringan tingkat rendah yang terhubung dengan sensor dan aktuator memainkan peran penting. Lingkungan industri umum terdiri dari sejumlah sensor dan aktuator. Mereka mengirim data yang dirasakan ke base station dengan peer-to-peer. Fieldbus membuat komunikasi real-time antara pengontrol dan sensor/aktuator. Pada tingkat ini, biasanya ada transmisi data dalam jumlah terbatas (puluhan byte atau bahkan kurang) antara pengontrol dan sensor/aktuator yang berasal dari dua fungsi: pertukaran data siklis dan penanganan data asiklik. Fieldbus harus dapat mengirimkan data periodik secara real-time untuk alarm dan pemeliharaan jaringan. Dengan keterbatasan ini, sebagian besar Fieldbus yang ada berdasarkan teknologi kabel diperkenalkan.

Pada tingkat ini, biasanya ada transmisi data dalam jumlah terbatas (beberapa puluh byte atau bahkan kurang) antara pengontrol dan sensor/aktuator yang berasal dari dua fungsi: pertukaran data siklis dan penanganan data asiklik. Pertukaran data siklik memperhitungkan polling periodik yang dilakukan oleh pengontrol pada perangkat lapangan untuk mengirimkan, misalnya, nilai proses, titik setel, dll. Dalam hal ini, parameter fundamental adalah jitter yang didefinisikan sebagai variasi waktu dengan yang budaknya disurvei. Fungsi penanganan data asiklik memungkinkan pertukaran data penting seperti, misalnya, yang berasal dari situasi alarm. Dalam hal ini, parameter fundamental adalah latency, yang didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk transmisi data asiklik yang sebenarnya ke tujuan. Kedua fungsi harus dilakukan dengan batasan waktu yang sangat ketat (saat ini, Fieldbus mungkin diminta untuk bekerja dengan periode dan latensi dalam urutan milidetik).

Lingkungan industri mewakili serangkaian kondisi tertentu seperti kebisingan elektromagnetik yang tinggi, namun baru-baru ini, seiring dengan pertumbuhan LAN nirkabel yang mengesankan, jaringan seperti ini telah menjadi bagian dari sistem komunikasi yang sesuai. Dengan demikian, sangat mungkin bahwa penggunaan jaringan nirkabel akan ditingkatkan di sistem komunikasi pabrik dalam waktu dekat. Karena kemajuan terbaru dalam teknologi nirkabel, jaringan nirkabel telah diintegrasikan ke sistem Fieldbus yang ada [2]. Wireless Fieldbus memiliki banyak kekuatan pada mobilitas, pemasangan dan perawatan yang mudah. Secara umum, lingkungan industri harus rawan kesalahan dan dapat diandalkan. Oleh karena itu, penting untuk merancang sistem Fieldbus nirkabel yang dapat mendukung banyak node dan menjamin transmisi data real-time seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1 Fieldbus Nirkabel

Pada Tabel 9.1, ditunjukkan Fieldbus berkabel/nirkabel seperti PROFIBUS, DeviceNet, R-Fieldbus, dan protokol khusus vendor dengan teknologi Elpro . Ada banyak pemasok yang mensuplai sistem Wireless Fieldbus tetapi masing-masing menyediakan “jenis” sistem Wireless Fieldbus mereka sendiri, yang berarti mereka memiliki aplikasi modem sendiri, seperti modem 802.11 WiFi Transparan, Transparan Frekuensi Tetap 869 MHz, Smart Radio Modem, dan banyak lagi, dll. Pabrikan menyadari banyak sistem Fieldbus berbeda yang diabaikan daripada menarik pelanggan. Perusahaan kemudian membuat perangkat mereka kompatibel satu sama lain dan mereka juga membuat spesifikasi mereka tersedia untuk umum sehingga vendor yang berbeda dapat menghasilkan perangkat yang kompatibel.
Ada beberapa perbedaan utama antara Sistem Fieldbus Nirkabel:

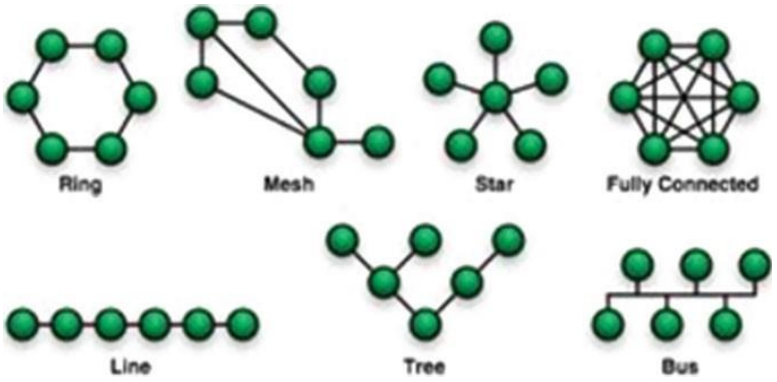
- Frekuensi/bandwidth operasi: Di dunia Wireless Fieldbus, ada dua bandwidth yang berbeda, 900 MHz (902–928) dan 2,4 GHz (2,4–2,4385). Pita 900 MHz sebagian besar digunakan di Amerika Serikat. Sinyal pita 900 MHz dapat dibagi menjadi frekuensi spesifik yang berbeda. Pita 2,4 GHz adalah pita penerimaan (RX) dan transmisi (TX) standar di seluruh dunia yang dirancang dari sistem WiFi dan dapat digunakan untuk komunikasi antara perangkat Ethernet dan non-Ethernet.
- Standar: IEEE 802.11—juga dikenal sebagai WiFi atau Ethernet nirkabel—adalah keluarga standar untuk jaringan area lokal nirkabel. Teknologi 802.11 dapat digunakan untuk menghubungkan PC laptop ke jaringan perusahaan atau rumah. Dalam aplikasi

pabrik, ini menyediakan cara hemat biaya untuk menghubungkan jaringan kecil perangkat nirkabel ke sistem host atau Jaringan Area Lokal (LAN) pabrik. Ini juga dapat digunakan untuk menghubungkan komputer pekerja lapangan atau Personal Digital Assistant (PDA) ke LAN. IEEE

- Standar radio 802.15.4 menyediakan platform sederhana untuk komunikasi berbiaya rendah, berdaya rendah, dan dengan keandalan tinggi. Standar ini dapat memberikan dasar fisik untuk standar industri proses seperti ISA-SP100, WirelessHART, atau lainnya. Ini menggunakan dua lapisan OSI yang lebih rendah termasuk lapisan fisik dan lapisan data link. Lapisan fisiknya adalah radio spektrum tersebar yang beroperasi di pita 2,4 GHz dengan kecepatan 250 kbps. Lapisan medium-access control (MAC) mendukung tiga topologi nirkabel umum: star, mesh, dan cluster-tree.
- Topologi jaringan: Topologi jaringan nirkabel menggambarkan tata letak fisik perangkat dan rute yang diikuti data untuk komunikasi. Ada beberapa jenis topologi nirkabel (ditunjukkan pada Gambar 9.2) dan topologi nirkabel yang paling umum terhubung sepenuhnya. Keuntungan dari topologi mesh dan cluster-tree adalah bahwa pemancar dapat berkomunikasi dengan penerima melalui satu sama lain. Dengan demikian, jika ada penghalang yang memecah sinyal antara pemancar dan penerima, itu dapat dikirim melalui pemancar lain di jaringan.

Tabel 9.1 Perbandingan antara Fieldbus berkabel dan nirkabel

Teknologi	**berkabel**		**Wireless**	
Nama	**PROFIBUS**	**PerangkatNet**	**R-Fieldbus**	**R-Fieldbus**
Panjang segmen (m)	1200 600 200	500 250 100	100	2000
Kecepatan data (kbps)	93.75 182.5 500	125 250 500	2000	4.8
Node	32	64	30	95



Gambar 9.2 Topologi nirkabel yang berbeda

9.2 Teknologi Fieldbus Nirkabel

9.2.1 Ikhtisar

Ide untuk masa depan adalah membuat satu standar untuk semua sistem Wireless Fieldbus. Berbagai perusahaan atau konsorsium termasuk perusahaan, pengguna akhir, dan laboratorium telah mengembangkan Fieldbus selama bertahun-tahun. Tidak mungkin menemukan konsensus nyata di tingkat standardisasi internasional karena beberapa alasan. Yang pertama adalah jumlah dan variasi aplikasi (kontrol proses, sistem manufaktur, dan sistem tertanam otomotif, sistem otomasi gedung, dan sebagainya). Yang kedua terkait dengan prinsip arsitektur yang berbeda untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol. Alasan ketiga, dan mungkin yang paling penting, adalah aspek strategis Fieldbus untuk kualitas layanan dalam sistem terdistribusi. Untuk detail lebih lanjut tentang cerita ini, pembaca yang tertarik dapat melihat.

Sejak perkembangan pesat sistem Wireless Fieldbus, ada banyak standar yang berbeda. Standar terpenting yang digunakan oleh pabrikan Fieldbus terkenal:

- Proposal pertama, diproduksi oleh ABB, Emerson, Endress & Hauser, dan Siemens, didasarkan pada karya yang disebut "Heathrow Group". Solusi mereka menggunakan protokol WirelessHART dan menentukan beberapa fitur standar ISA100.11a dan konvergensi dengan standar WIA-PA China. Ini akan menghasilkan standar nirkabel tunggal, sesuatu yang telah dituntut oleh pengguna akhir selama setengah dekade terakhir sekarang.
- Proposal kedua, diproduksi oleh Honeywell, Invensys, Nivis, Yokogawa, Fuji Electric, Hitachi America, dan Yamatake, adalah untuk mengadopsi ISA100.11a sebagai standar.
- Usulan ketiga adalah menulis ulang ISA100.11a dan membuatnya kompatibel dengan WirelessHART, ISA100.11a, dan WIA-PA.
- Sementara itu, ISA membentuk panitia baru yaitu panitia ISA100.12. Idenya adalah untuk memasukkan ZigBee dan standar Cina yang baru, serta WirelessHART dalam standar ISA100 yang terkonvergensi.

9.2.2 Proposal Sistem Fieldbus Nirkabel

Seperti dijelaskan dalam, pendekatan berbeda dalam cara perangkat saling berhubungan. Dalam kasus yang paling sederhana, semua perangkat milik satu sel nirkabel dan tidak ada koneksi yang dibuat ke segmen kabel. Sementara itu, segmen kabel dan sel nirkabel, dalam pendekatan repeater, dihubungkan bersama oleh repeater yang mengubah sinyal sedikit demi sedikit, atau karakter demi karakter, dari satu media ke media lainnya. Dalam pendekatan jembatan, kontrol akses media yang berbeda digunakan pada segmen kabel meninggalkan sel nirkabel dan dalam pendekatan gateway, perangkat khusus dengan gateway, memungkinkan untuk "melihat" set perangkat nirkabel seolah-olah mereka terhubung ke segmen kabel.

R-Fieldbus

Pada Januari 2000, proyek IST “Fieldbus Nirkabel Kinerja Tinggi di Lingkungan Multimedia terkait Industri (R-FIELDBUS)” telah dimulai. Konsorsium menetapkan target untuk mengembangkan arsitektur Wireless Fieldbus berkinerja tinggi, menyediakan kecepatan data hingga 2 Mbit/s dan waktu respons serupa dengan solusi Fieldbus kabel. Untuk mencapai target ini, teknologi radio kinerja tinggi baru dan protokol komunikasi industri yang ada harus diintegrasikan untuk menyediakan arsitektur Fieldbus nirkabel yang fleksibel. Arsitektur ini harus mampu menangani kebutuhan *real-time* dari data kontrol terdistribusi, untuk mendukung Quality of Service (QoS) yang ditentukan pengguna mengenai layanan multimedia industri, untuk mendukung mobilitas perangkat dan untuk mendukung interoperabilitas dengan infrastruktur komunikasi yang ada. Tindakan utama harus dilakukan untuk desain, pengembangan, implementasi, dan demonstrasi sistem R-FIELDBUS yang diusulkan.

Arsitektur R-Fieldbus adalah salah satu contoh integrasi teknologi nirkabel yang muncul untuk sistem dan jaringan broadband dengan protokol komunikasi industri yang ada seperti yang ditentukan dalam Standar Eropa EN50170. Sistem R-Fieldbus harus menyediakan akses transparan penuh ke setiap informasi yang dibutuhkan di lokasi, seperti data mengenai kontrol waktu nyata dan informasi status, atau transparan terhadap gambar spesifikasi dan informasi multimedia tipe industri lainnya (suara waktu nyata dan suara rendah). R-Fieldbus mendukung perangkat industri bergerak dan interoperabilitasnya dengan perangkat yang ada yang didukung oleh jaringan industri kabel. Subsistem utama dari sistem R-Fieldbus adalah:

1. Lapisan fisik radio berkecepatan tinggi, berkinerja tinggi, dan andal untuk kebutuhan industri penting seperti waktu nyata dan keandalan.
2. Lapisan data link hidup berdampingan dengan ekstensi protokol yang diperlukan untuk layanan tambahan (lalu lintas kontrol terdistribusi real-time, lalu lintas multimedia terkait industri, dll.).
3. Perangkat yang memungkinkan interkoneksi pengaturan R-Fieldbus ke jaringan Wireless Fieldbus di lingkungan industri.

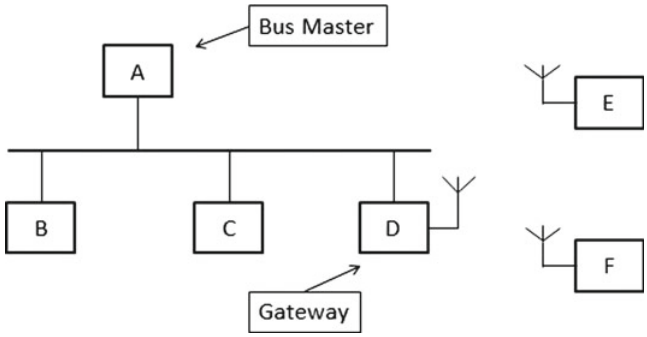
4. Mekanisme QoS untuk menjamin kualitas layanan yang dibutuhkan untuk layanan komunikasi multimedia.
5. Serangkaian layanan pemeliharaan tingkat aplikasi yang mencakup masalah seperti pertukaran data kontrol waktu nyata yang sulit, pertukaran data lalu lintas multimedia industri dan IP seluler, memberikan akses transparan ke sistem informasi manufaktur dan manajemen.
6. Layanan manajemen jaringan tingkat lanjut untuk mendukung persyaratan waktu nyata dan kekokohan yang diperlukan dari Wireless Fieldbus, dengan toleransi kesalahan, keamanan, dan mekanisme keselamatan. Sistem R-Fieldbus dapat diuji dan dievaluasi dalam dua uji coba lapangan yang berbeda berdasarkan aplikasi percontohan. Uji coba ini dapat menunjukkan kelayakan teknis R-Fieldbus di lingkungan industri nyata dan manfaatnya bagi aplikasi pengguna akhir.

WLAN Industri

Dalam studi dan penelitian terbaru, standar IEEE 802.11 untuk jaringan area lokal nirkabel, memiliki kemampuan terbaik untuk aplikasi industri. Standar IEEE 802.11 hanya cocok untuk lapisan bawah dari tumpukan komunikasi; namun, perlu untuk melengkapi tumpukan dengan protokol yang sesuai dalam komunikasi industri. Para peneliti telah mengeksplorasi penggunaan IEEE 802.11 dalam komunikasi industri dengan menganalisis kemungkinan penerapan protokol, berdasarkan arsitektur Master-Slave dari Fieldbus kabel pada IEEE 802.11 Physical dan Data Link Layers.

Penulis menggunakan beberapa set pengukuran tautan nirkabel IEEE 802.11 di lingkungan industri untuk menyimpulkan bahwa perilaku tautan nirkabel dicirikan oleh perilaku saluran nirkabel yang berubah-ubah waktu, kehilangan paket, dan kesalahan bit. Semua arsitektur yang disebutkan di atas telah menggunakan skema polling sederhana untuk pertukaran data siklik dan telah mempertimbangkan tiga teknik berbeda (Terlambat, Saat Ini, dan Segera) untuk menangani permintaan asiklik di saluran AWGN. Namun, node IEEE 802.11 memiliki batasan biaya dan keandalan yang tinggi. Secara umum, banyak node harus dialokasikan di lingkungan industri. Oleh karena itu, Wireless Fieldbus berbasis IEEE 802.11 memiliki masalah karena biaya instalasi dan pemeliharaan yang tinggi.

IEEE 802.15.4 (LR-WPAN)



Gambar 9.3 Jaringan FIP

IEEE 802.15.4 disebut jaringan area pribadi nirkabel tingkat rendah (LR-WPAN). LR-WPAN diusulkan untuk pengumpulan dan kontrol data melalui sensor. Node koordinator LR-WPAN dapat mengatur banyak node dengan jaringan mesh. Setiap node di LR-WPAN memiliki harga yang murah dan sebuah node koordinator dapat mendukung banyak node I/O. Namun, itu tidak dapat menangani lalu lintas waktu nyata campuran secara efisien. Oleh karena itu, transmisi yang efisien dari lalu lintas real-time campuran telah diperlukan.

Protokol Informasi Pabrik (FIP)

Laboratorium Komputasi Industri aktif dalam mempelajari protokol Fieldbus termasuk protokol FIP (*Factory Information Protocol*). Dalam konteks ini, kebutuhan telah diidentifikasi untuk menyediakan akses nirkabel ke sensor dan aktuator jauh melalui FIP Fieldbus, menggunakan modem nirkabel murah yang tersedia secara komersial. Situasi yang ideal adalah sensor dan aktuator yang jauh diintegrasikan ke dalam jaringan FIP dengan cara yang benar-benar transparan, sehingga stasiun dari jaringan FIP diberikan akses ke stasiun yang jauh seperti stasiun lain dalam jaringan, baik terhubung lokal atau nirkabel (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.3).

Sayangnya, bandwidth dan tingkat kesalahan koneksi nirkabel yang tersedia akan menurunkan kinerja Fieldbus secara signifikan. FIP, khususnya, mengharuskan urutan polling dijawab dalam waktu 70-bit dari penerimaannya. Masalah lain adalah bahwa FIP beroperasi dalam mode siaran, di mana setiap stasiun mendengarkan semua yang lain dan menyalin variabel yang dibutuhkan saat ditransmisikan dari produsennya. Dalam lingkungan industri mungkin sangat sulit untuk menyediakan konektivitas *any-to-any* di antara stasiun nirkabel, jauh lebih mudah untuk mengatur konektivitas *one-to-any* di sekitar base station. Gambar 9.3 menunjukkan contoh jaringan FIP yang terhubung dengan bus master A, stasiun tetap dengan sensor/aktuator, B, C, gateway D, dan stasiun nirkabel E dan F. Stasiun nirkabel bertukar variabel secara transparan melalui gateway.

Morel dkk. telah mempelajari beberapa solusi untuk mengintegrasikan node nirkabel ke *FIP Fieldbus*. Solusi pertama adalah *repeater* sederhana yang mengubah dari kabel ke radio dan sebaliknya. Berbagai cara untuk menangani kendala FIP dibahas. Solusi kedua disebut pendekatan "pengulang kata" di mana mereka menggunakan semua frame yang berasal dari segmen kabel yang diulang byte demi byte dengan kode koreksi kesalahan maju tambahan untuk meningkatkan untuk mengurangi tingkat kesalahan bit di sisi nirkabel. Mereka menggunakan kode Golay yang tampaknya menjadi solusi terbaik untuk mengatasi keterbatasan karena waktu *switching transceiver nirkabel.*

Sistem Fieldbus Nirkabel Lainnya

Standar internasional Fieldbus telah menetapkan lapisan fisik radio yang dapat digunakan sebagai pengganti *transceiver* kabel. Selain itu, ada beberapa produk individual yang tersedia yang menggunakan semacam tautan nirkabel. Namun, tidak satu pun dari produk ini adalah standar. Hampir penelitian tentang

Fieldbus, pada awalnya, difokuskan pada definisi layanan dan protokol baru untuk memberikan kualitas layanan yang tepat untuk jenis aplikasi tertentu, dan untuk distribusi sistem kontrol tertentu. Selama beberapa tahun, penelitian ini berorientasi pada kualitas layanan dan desain arsitektur sistem. Dan saat ini, ada dua bidang minat utama. Yang pertama terkait dengan pengembangan aplikasi dan yang kedua didedikasikan untuk definisi layanan baru atau protokol baru. Beberapa topik terkait termasuk pengembangan penggunaan media transmisi baru (sebagai nirkabel) tetapi juga definisi kebijakan manajemen lalu lintas baru.

penelitain yang disajikan oleh Juanole fokus pada pemodelan gabungan dari tumpukan komunikasi dan proses aplikasi untuk mengevaluasi kualitas layanan yang dilihat oleh pengguna akhir, dalam hal aplikasi. Penelitian lain yang dipresentasikan oleh Simonot-Lion dan Elloy didedikasikan untuk Bahasa Deskripsi Arsitektur untuk pengembangan sistem terdistribusi dan tertanam berbasis Fieldbus. Bahasa ini dapat dianggap sebagai proposal yang menarik untuk spesifikasi aplikasi.

9.3 Masalah di Jaringan Fieldbus Nirkabel

Jaringan Area Lokal Nirkabel (WLAN) dan standar PAN Nirkabel (Bluetooth dan ZigBee) menggunakan pita ISM 2,4 GHz tanpa izin. Karena ketergantungan mereka pada pita yang sama, ada potensi interferensi. Percobaan dan pengukuran dievaluasi untuk memenuhi syarat efek interferensi perangkat Bluetooth pada kinerja throughput IEEE 802.11g dan 802.11b. Hasilnya menunjukkan bagaimana 802.11g kebal terhadap interferensi daripada 802.11b ketika kekuatan sinyal WLAN kuat. Packet Error Rate (PER) dari IEEE802.15.4 WPAN tingkat rendah di bawah gangguan IEEE802.11b WLAN dianalisis.

Bit Error Rate (BER) dari IEEE 802.15.4 diperoleh dari modulasi penguncian fase kuadratur offset. Bandwidth IEEE802.11b lebih besar daripada IEEE 802.15.4, daya interferensi in-band IEEE 802.11b dianggap sebagai derau Gaussian putih aditif untuk IEEE 802.15.4. Karena tabrakan, waktu dihitung dengan asumsi bahwa kedua transmisi paket independen. Jika jarak antara IEEE 802.15.4 dan WLAN lebih panjang dari 8 m, interferensi WLAN tidak mempengaruhi kinerja IEEE 802.15.4. Jika offset frekuensi lebih tinggi dari 7 MHz, pengaruh interferensi WLAN dapat diabaikan terhadap kinerja IEEE 802.15.4. Akhirnya, tiga saluran tambahan IEEE 802.15.4 pada 2260, 2350, dan 2470 MHz dapat digunakan untuk saluran koeksistensi di bawah gangguan antara IEEE 802.15.4.

9.3.1 Masalah Konsistensi Teknologi Fieldbus

Ketika pengaturan jaringan kontrol nirkabel menggunakan model komunikasi produsen distributor-konsumen, yang dipastikan oleh Fieldbus nirkabel, komunikasi dipusatkan pada siaran pengenal data yang diakui ke stasiun yang memiliki item data yang diidentifikasi menyiarkan nilai sebenarnya. Jika saluran nirkabel sama untuk setiap pasangan pemancar-penerima paket rusak secara independen dengan kemungkinan yang kuat. Ketika produsen memperoleh pengenal dan menyiarkan nilai data, keandalan spasial kemenangan mengharuskan konsumen memperoleh paket data, yang kemungkinan dengan probabilitas. Untuk mencapai keandalan temporal komparatif, semua sensor harus mengambil sampel proses dalam jendela waktu yang telah ditentukan sebelumnya.

9.3.2 Masalah untuk Protokol Token-Passing

Pengaturan Fieldbus Nirkabel yang mirip dengan PROFIBUS bergantung pada token passing yang didistribusikan untuk mengedarkan hak untuk memulai transmisi di antara sejumlah pengontrol. Area stasiun master berkisar dalam cincin logis di atas media transmisi yang kehilangan berulang dari paket token adalah masalah tanpa hiasan untuk keteguhan cincin logis. Protokol token-passing dengan demikian berfungsi sebagai contoh untuk fakta bahwa seringkali tidak hanya keberadaan kesalahan bit mentah yang penting, tetapi juga karakteristik kesalahannya. Peningkatannya adalah bahwa hak berkomunikasi dapat diberikan kepada setiap stasiun. Kekurangannya adalah ketika beban kecil, token dapat berputar, dalam efektivitas terjadi. Karena ada kehilangan token atau pengulangan token, sistem harus menjadi berbelit-belit.

9.3.3 Masalah dalam Protokol Berbasis CSMA

Sistem fieldbus pada CAN menggunakan protokol berbasis CSMA di mana tabrakan mungkin terjadi. Protokol berbasis CSMA bekerja dengan cara yang tersebar, di mana stasiun yang membutuhkan transmisi terlebih dahulu perlu merasakan media transmisi. Jika media ditentukan untuk menganggur, stasiun mulai mentransmisikan. Banyaknya varian *Carrier Sense Multiple Access (CSMA)* yang ada berbeda dengan apa yang terjadi saat merasakan medium bus. Protokol CAN didasarkan pada mekanisme deterministik untuk menentukan argumen ini. Namun, mekanisme ini sulit digunakan untuk media nirkabel. Ini mempercayai kemampuan stasiun untuk mengirim dan menerima secara bersamaan pada saluran yang sama, yang tidak mungkin dilakukan dengan transceiver nirkabel setengah dupleks.

9.4 Kesimpulan

Dalam bab ini telah disajikan gambaran umum tentang masalah dan isu-isu tentang penerapan teknologi nirkabel pada teknologi Wireless Fieldbus. Pemodelan Fieldbus dengan tujuan pembuktian dan evaluasi kinerja merupakan kepentingan utama untuk kualitas hasil desain aplikasi. Semua makalah sesi ini terkait dengan masalah utama ini. Proposal yang berbeda dalam domain industri dan solusi dijelaskan. Pada titik ini, kami kekurangan solusi yang mencakup semua persyaratan terutama karena solusi kabel yang ada tidak dapat dengan mudah diperluas. Oleh karena itu sulit untuk menawarkan keandalan dan jaminan temporal yang diperlukan kecuali lingkungan dapat dilindungi. Ini membutuhkan solusi menggunakan pita yang dilindungi. Dengan meledaknya proyek di bidang jaringan sensor nirkabel, kita mungkin melihat solusi yang baik dalam waktu dekat.

BAB 10
JARINGAN SENSOR NIRKABEL
UNTUK APLIKASI INDUSTRI

10.1 Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi jaringan sensor nirkabel (WSNs) telah berhasil diterapkan di militer, lingkungan, kesehatan, rumah, dan area komersial lainnya. Dibandingkan dengan sistem pemantauan dan diagnosis kondisi perangkat kabel tradisional, menggunakan nirkabel industri jaringan sensor (IWSNs) memiliki keunggulan yang melekat, seperti biaya yang relatif rendah, dan kemudahan pemasangan dan relokasi.Dengan mengganti pemeriksaan manual berkala dengan pemantauan nirkabel berkelanjutan, diklaim bahwa industri dapat menghemat hingga 18% energi yang dikonsumsi oleh sistem motor Jadi, sistem pemantauan industri berdasarkan IWSNs memiliki banyak keuntungan potensial, meskipun mereka relatif belum dieksplorasi sampai saat ini.

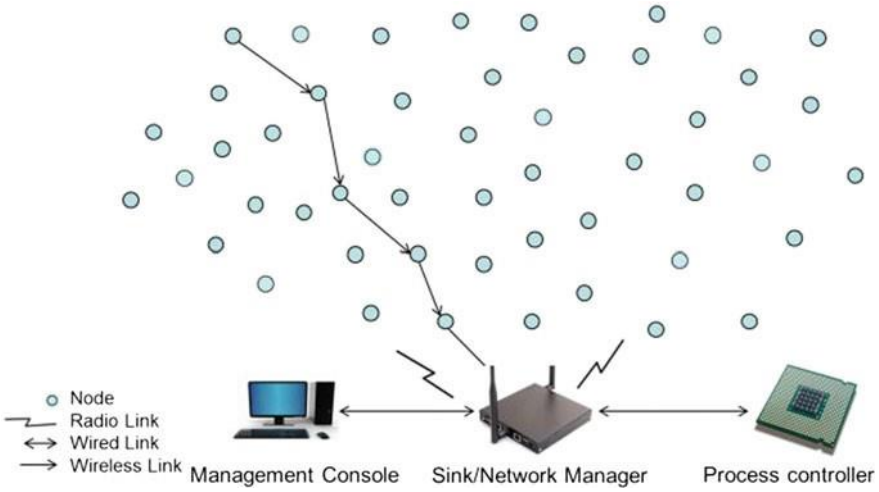
Bab ini berfokus pada penggunaan WSN dalam aplikasi industri yang juga disebut sebagai Industrial Wireless Sensor Networks (IWSN) dan secara khusus mempertimbangkan aplikasi industri untuk sistem kontrol, yang berbeda dari sistem kontrol konvensional. sektor dan sejumlah besar modal diinvestasikan pada kegiatan penelitian untuk mendukung kemajuan teknologi WSN.

Skenario IWSN terpusat umum digambarkan pada Gambar 10.1 dengan node, sink/manajer jaringan, konsol manajemen, dan pengontrol proses Node mengumpulkan data dan mengkomunikasikannya ke sink/manajer jaringan yang pada gilirannya mengomunikasikan data ini ke proses Node dikelola oleh manajer jaringan dan manajer jaringan dapat dikontrol melalui konsol manajemen. Panah hitam menunjukkan jalur di mana node sensor di ujung jauh berkomunikasi ke wastafel melalui node lain. Di segmen otomatisasi kontrol. Dalam jenis jaringan ini, pengontrol proses (aktuator) adalah bagian dari jaringan sensor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.2.

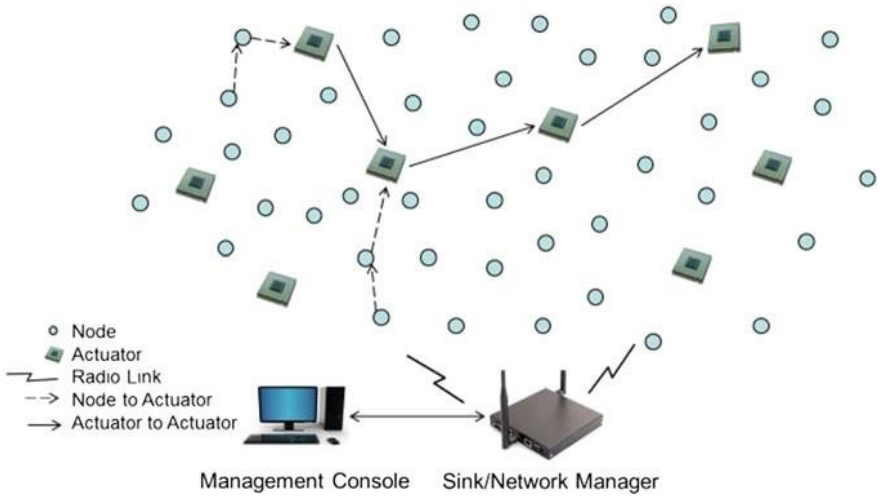
Node mengkomunikasikan data langsung ke aktuator (panah putus-putus) dan aktuator juga mungkin memiliki beberapa komunikasi di antara mereka sendiri (panah padat).

Jaringan ini disebut sebagai jaringan sensor nirkabel dan aktuator (aktor) (WSAN).Aktuator digunakan untuk mengoperasikan unit, misalnya katup dan ini dilakukan berdasarkan data yang dikirim oleh sensor, misalnya, suhu dan tekanan.

Ada berbagai standar nirkabel yang diusulkan untuk digunakan di IWSN, yang paling penting, ZigBee, ISA100.11a , dan WirelessHART Standar ini digunakan dalam berbagai aplikasi IWSN dan dirancang seperti kerangka kerja yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengaturan aplikasi tertentu, karena tidak ditentukan secara ketat pada setiap lapisan tumpukan protokol komunikasi.



Gambar 10.1 Umum IWSN



Gambar 10.2 Jaringan sensor / aktuator nirkabel

10.2 Jaringan Sensor Nirkabel Industri

Menurut International Society of Automation, sistem industri dapat diklasifikasikan ke dalam enam kelas berdasarkan kekritisan data dan persyaratan operasional Kelas-kelas ini berkisar dari sistem kontrol kritis hingga sistem pemantauan, dan persyaratan operasional dan kekritisannya berbeda-beda.

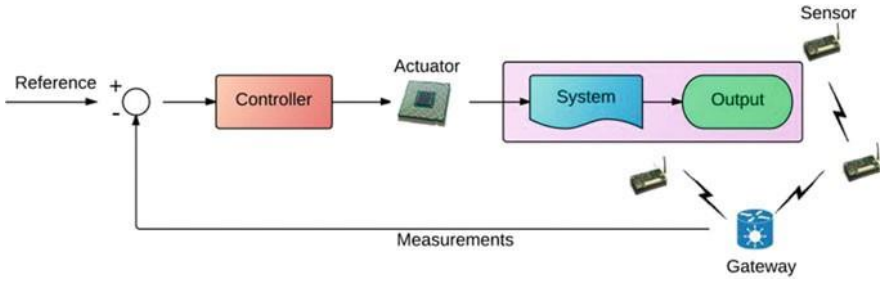
10.2.1 Sistem Keamanan

Sistem di mana tindakan segera (dalam urutan ms atau s) pada peristiwa diperlukan dalam urutan detik, termasuk dalam kelas ini, misalnya, sistem alarm kebakaran. Node WSN disebarkan secara seragam di seluruh area yang menjadi perhatian untuk mencakup seluruh area Node biasanya stasioner.

10.2.2 Sistem Regulasi Loop Tertutup

Node WSN ditempatkan di area yang menjadi perhatian dalam topologi yang diinginkan. Secara berkala dan berdasarkan kejadian, pengukuran dikirim ke pengontrol. Pengukuran berkala sangat penting untuk kelancaran pengoperasian sistem. Sistem ini mungkin memiliki persyaratan waktu yang lebih ketat daripada sistem keamanan. Berdasarkan pengukuran ini, pengontrol membuat keputusan dan mengirimkannya ke

aktuator yang bertindak berdasarkan data ini. Karena persyaratannya yang ketat, rangkaian protokol baru diusulkan untuk kelas sistem ini. Kontrol sederhana loop dengan sensor nirkabel dan aktuator ditunjukkan pada Gambar. 10.3.



Gambar. 10.3 Kontrol loop tertutup nirkabel dengan sensor dan actuator

10.2.3 Sistem Pengawasan Loop Tertutup

Mirip dengan sistem regulasi dengan perbedaan bahwa umpan balik / pengukuran tidak diharapkan secara berkala tetapi dapat didasarkan pada peristiwa tertentu Umpan balik tidak kritis, misalnya, sistem pengawasan yang mengumpulkan data statistik dan bereaksi hanya ketika tren tertentu diamati, yang dapat dikaitkan ke sebuah acara.

10.2.4 Sistem Kontrol Loop Terbuka

Sistem kontrol yang dioperasikan oleh operator manusia, di mana WSN bertanggung jawab untuk pengumpulan data dan menyampaikan data yang dikumpulkan ke database pusat. Operator menganalisis data ini dan melakukan tindakan apa pun jika diperlukan.

10.2.5 Sistem Peringatan

Sistem dengan peringatan reguler/berbasis kejadian.Contohnya adalah WSN untuk pemantauan suhu secara terus-menerus dalam tungku dan peringatan pada tahap yang berbeda untuk menunjukkan bagian dari pekerjaan yang dilakukan.

10.2.6 Sistem Pengumpulan Informasi

Sistem yang digunakan untuk pengumpulan data dan penerusan data ke server. Contohnya adalah node WSN yang ditempatkan di lapangan untuk mengumpulkan data tentang area yang diminati, seperti suhu dan kelembapan, untuk jangka waktu tertentu. Data ini dikumpulkan selama waktu yang lama kemudian dapat digunakan untuk memutuskan rencana jangka panjang untuk mengelola suhu dan kelembapan.

10.3 Standar Industri

IWSN diharuskan memiliki beberapa kualitas dasar: daya rendah, keandalan tinggi, dan penerapan, administrasi, dan pemeliharaan yang mudah. Persyaratan dasar ini mendorong tujuan desain untuk perangkat ini. Berbagai kelompok kerja seperti Wireless Networking Alliance (WINA), ZigBee, Alliance, HART Communication Foundation (HCF), International Society of Automation, dan Chinese Industrial Wireless Alliance telah menetapkan standar untuk IWSN. Standar yang dihasilkan adalah wirelessHART, ZigBee, dan ISA100.11a yang semuanya didasarkan pada IEEE Standar 802.15.4 Dalam bab ini, kita membahas proyek ZigBee ,, wirelessHART, dan ISA100.11a.

ZigBee

ZigBee adalah salah satu teknologi yang mendukung media komunikasi.ZigBee adalah spesifikasi untuk rangkaian protokol komunikasi tingkat tinggi.Teknologi ZigBee adalah kecepatan data yang rendah, konsumsi daya yang rendah, biaya rendah, dan protokol jaringan nirkabel yang ditargetkan untuk otomatisasi dan kendali jarak jauh Aplikasi ini berfokus pada aplikasi Radio Frequency (RF) yang membutuhkan konsumsi daya yang rendah, baterai yang tahan lama, dan jaringan yang aman.

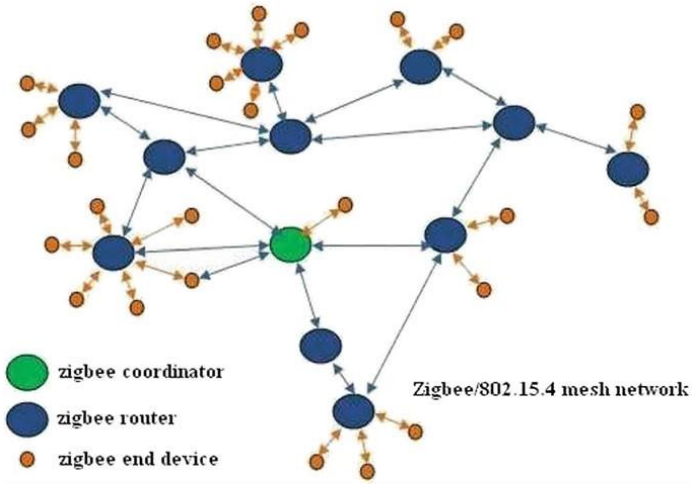
ZigBee mengklasifikasikan keluarga standar IEEE 802.15 dengan Bluetooth (802.15.1) dan UWB (802.15.3) dengan kode standar IEEE 802.4. Kecepatan komunikasi maksimum sekitar 250 kbps, jangkauan komunikasi 10–70 m, dan menggunakan tiga frekuensi pita: 915 MHz (Amerika), 868 MHz (Eropa), 2,4 GHz (Jepang). ZigBee, dan Bluetooth berada dalam keluarga Wireless Personal Area Network (WPAN). Perbedaan antara ZigBee dan Bluetooth terletak pada kecepatan data, jangkauan, dan Kualitas Layanan (QoS) Berdasarkan prinsip kerja, ZigBee memanfaatkan sepenuhnya keunggulan dari radio fisik yang sangat berguna dari standar IEEE 802.15.4, yaitu menambahkan jaringan logika, sistem keamanan, dan perangkat lunak aplikasi.

Perangkat ZigBee terdiri dari tiga jenis:

1. ZigBee Coordinator (ZC): Perangkat yang paling mumpuni, Coordinator membentuk akar dari pohon jaringan dan mungkin menjembatani ke jaringan lain. Ada tepat satu ZigBee Coordinator di setiap jaringan karena itu adalah perangkat yang memulai jaringan awalnya (ZigBee Light) Spesifikasi tautan juga memungkinkan pengoperasian tanpa ZigBee Coordinator, membuatnya lebih dapat digunakan untuk produk rumah yang dijual bebas.Ini menyimpan informasi tentang jaringan, termasuk bertindak sebagai Pusat Kepercayaan dan penyimpanan untuk kunci keamanan.
2. ZigBee Router (ZR): Selain menjalankan fungsi aplikasi, Router dapat bertindak sebagai router perantara, meneruskan data dari perangkat lain.
3. ZigBee End Device (ZED): Berisi fungsionalitas yang cukup untuk berbicara dengan node induk (baik Koordinator atau Router); ia tidak dapat menyampaikan data dari perangkat lain. Hubungan ini memungkinkan node untuk tertidur dalam jumlah waktu yang signifikan sehingga memberikan masa pakai baterai yang lama. ZED membutuhkan jumlah memori paling sedikit, dan oleh karena itu bisa lebih murah untuk diproduksi daripada ZR atau ZC.

Protokol ZigBee saat ini mendukung jaringan beacon dan non-beacon-enabled. Dalam jaringan non-beacon-enabled, mekanisme akses saluran CSMA / CA yang tidak memiliki slot digunakan. Dalam jenis jaringan ini, Router ZigBee biasanya memiliki penerima yang terus aktif, Memerlukan catu daya yang lebih kuat. Namun, ini memungkinkan jaringan heterogen di mana beberapa perangkat menerima terus menerus, sementara yang lain hanya mentransmisikan ketika stimulus eksternal terdeteksi. Contoh khas jaringan heterogen adalah sakelar lampu nirkabel: Node ZigBee di lampu dapat menerima terus-

menerus, karena terhubung ke catu daya, sementara sakelar lampu bertenaga baterai akan tetap tidur sampai sakelar dilempar.



Gambar 10.4 Ikhtisar jaringan ZigBee

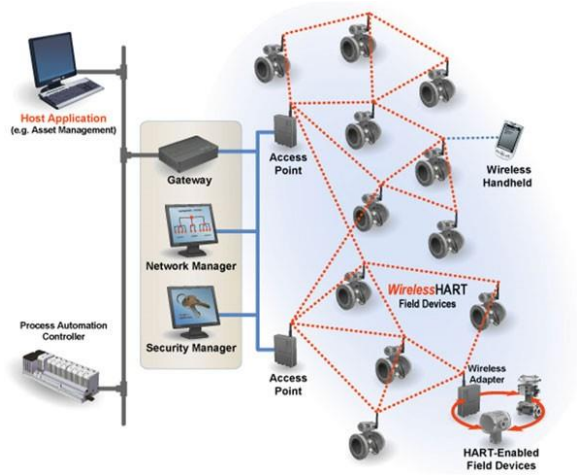
Saklar kemudian bangun, mengirim perintah ke lampu, menerima pengakuan, dan kembali tidur.Dalam jaringan seperti itu node lampu akan menjadi setidaknya Router ZigBee, jika bukan Koordinator ZigBee; node switch biasanya Dalam jaringan yang mendukung suar, node jaringan khusus yang disebut ZigBee Routers mengirimkan suar berkala untuk mengonfirmasi kehadirannya ke node jaringan lain. Node dapat tidur di antara suar, sehingga menurunkan siklus tugasnya dan memperpanjang masa pakai baterainya. Interval suar bergantung pada kecepatan data; dapat berkisar dari 15,36 ms hingga 251,65824 s pada 250 kbit / detik, dari 24 ms hingga 393.216 detik pada 40 kbit / detik, dan dari 48 ms hingga 786.432 s pada 20 kbit / detik. Namun, operasi siklus tugas rendah dengan interval suar yang panjang memerlukan waktu yang tepat, yang dapat bertentangan dengan kebutuhan akan biaya produk yang rendah.

Seperti disebutkan dalam diagram jaringan, jaringan ZigBee disinter dari koordinator (ZC), router ZigBee (ZR) dan perangkat ZigBee akhir (ZE) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.4.

10.3.2 HART Nirkabel

Standar ini didasarkan pada lapisan fisik IEEE 802.15.4, dengan frekuensi operasi 2,4 GHz dan menggunakan 15 saluran berbeda, menggunakan Time Synchronized Mesh Protocol (TSMP) yang dikembangkan oleh Dust Networks untuk kontrol akses menengah dan jaringan. Fungsi lapisan TSMP menggunakan TDMA untuk akses saluran dan memungkinkan channel hopping dan channel blacklisting pada lapisan jaringan Channel hopping adalah teknik di mana transfer data terjadi pada frekuensi yang berbeda pada periode waktu yang berbeda Standar WirelessHART mendukung hingga 15 saluran yang WirelessHART mendukung perutean redundan untuk meningkatkan keandalan. Penggunaan TDMA dengan saluran hopping dan daftar hitam saluran ini telah mengurangi efek interferensi dan kebisingan. Dengan demikian, WirelessHART dianggap kuat, hemat energi, dan andal, tetapi karena ini masih merupakan stan yang muncul WirelessHART dirancang, dikembangkan, dan

distandarisasi dengan mempertimbangkan sistem industri dan mendukung sistem lama yang dibangun di atas kabel HART. Topologi jaringan yang didukung oleh manajer jaringan di WirelessHART adalah Star dan Mesh.



Gambar 10.5 Ikhtisar jaringan WirelessHART

WirelessHART adalah protokol komunikasi jaringan mesh nirkabel untuk aplikasi otomatisasi proses yang menambahkan kemampuan nirkabel ke Protokol HART sambil mempertahankan kompatibilitas dengan perangkat, perintah, dan alat HART yang ada seperti Gambar 10.5.

Setiap jaringan WirelessHART mencakup tiga elemen utama:

1. Perangkat lapangan nirkabel yang terhubung ke peralatan proses atau pabrik. Perangkat ini dapat berupa perangkat dengan WirelessHART yang terpasang di dalamnya atau perangkat berkemampuan HART terpasang yang sudah ada dengan adaptor WirelessHART yang terpasang padanya.
2. Gateway memungkinkan komunikasi antara perangkat ini dan aplikasi host yang terhubung ke backbone berkecepatan tinggi atau jaringan komunikasi pabrik lain yang ada.
3. Manajer Jaringan bertanggung jawab untuk mengonfigurasi jaringan, menjadwalkan komunikasi antar perangkat, mengelola rute pesan, dan memantau kesehatan jaringan. Manajer Jaringan dapat diintegrasikan ke dalam gateway, aplikasi host, atau pengontrol otomatisasi proses.

Jaringan ini menggunakan radio yang kompatibel dengan IEEE 802.15.4 yang beroperasi di pita radio Industri, Ilmiah, dan Medis 2,4 GHz. Radio menggunakan teknologi spektrum sebaran urutan langsung dan lompatan saluran untuk keamanan dan keandalan komunikasi, serta sinkronisasi TDMA, kontrol latensi Komunikasi antar perangkat di jaringan Teknologi ini telah terbukti dalam uji coba lapangan dan instalasi pabrik nyata di berbagai industri kontrol proses Manajer jaringan menentukan rute redundan berdasarkan latensi, efisiensi, dan keandalan Untuk memastikan redundan tetap terbuka dan tidak terhalang, pesan terus berganti di antara jalur yang redundan. Oleh karena itu, seperti internet, jika sebuah pesan tidak dapat mencapai tujuannya dengan satu jalur, pesan tersebut secara

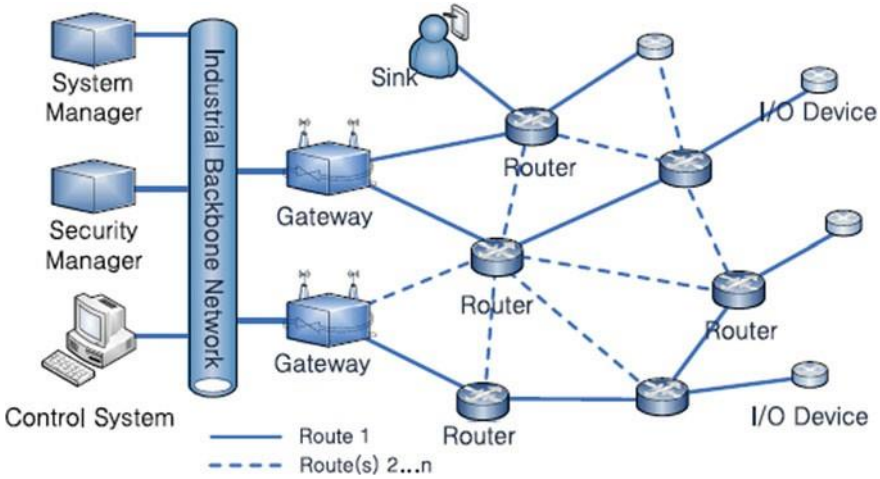
otomatis dialihkan untuk mengikuti jalur yang diketahui baik dan redundan tanpa kehilangan dari data.

10.3.3 ISA100.11a

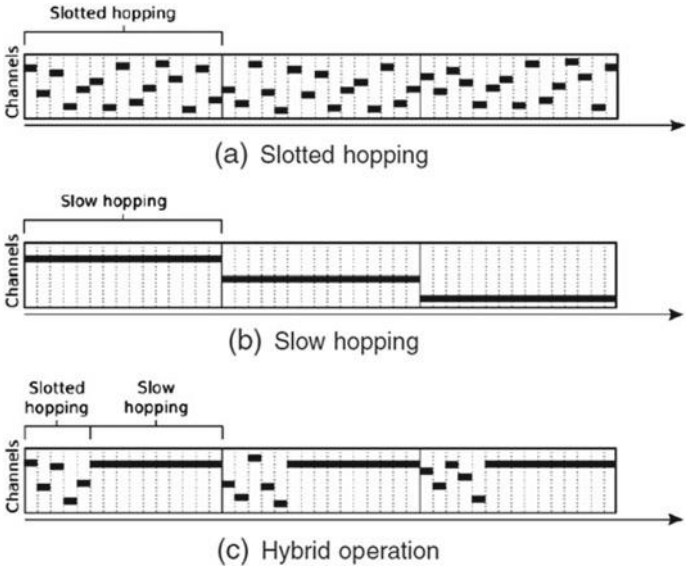
Kelompok kerja ISA100 mengembangkan standar ini untuk menyediakan komunikasi yang kuat dan aman untuk aplikasi dalam otomatisasi proses [9]. Mirip dengan wirelessHART, lapisan fisik didasarkan pada IEEE 802.15.4. ISA100.11a juga menggunakan hopping saluran dan daftar hitam saluran untuk mengurangi efek interferensi. ISA100.11a menerapkan metode yang berbeda untuk saluran hopping seperti hopping lambat, hopping cepat, dan hopping campuran. Pada lapisan data link, menggabungkan TDMA dengan CSMA untuk memanfaatkan keuntungan di kedua solusi.

Secara umum, sistem ISA100.11a yang lengkap terdiri dari tiga bagian: subnet Data Link (DL), Backbone Network (BN), dan Manager Network (MN), seperti yang digambarkan pada Gambar 10.6. Subnet DL adalah Jaringan tulang punggung mencakup router tulang punggung, dan gateway (GW). Akhirnya, MN terdiri dari manajer sistem dan manajer keamanan. Sistem yang sesuai dengan ISA100.11a adalah jaringan terpusat yang diatur oleh MN. Berkat informasi yang dikumpulkan dari seluruh jaringan, MN menyediakan algoritma perutean kemudian memuat tabel perutean ke setiap perangkat di subnet DL. Data dari perangkat lapangan dapat berubah secara langsung ke GW (satu hop) atau dengan bantuan router (multi-hop), seperti yang diputuskan oleh MN.

Lapisan fisik perangkat ISA100.11a menggunakan perangkat keras transmisi radio IEEE 802.15.4-2006. Bahkan, ISA100.11a hanya menggunakan 16 saluran (dari 11 hingga 26), yang beroperasi pada kecepatan maksimum 250 kbps dengan saluran melompat. Selama operasi, sumbu waktu setiap perangkat dipecah menjadi slot yang biasanya bervariasi dari 10 hingga 12 ms. Durasi slot waktu ini dalam subnet DL diatur ke nilai tertentu oleh MN saat perangkat bergabung dengan jaringan.



Gambar 10.6 Jaringan mesh ISA100.11a dengan tulang punggung



Gambar 10.7 Tiga operasi alternatif dari satu subnet ISA100.11a: a slotted hopping, b slow hopping, dan c operasi hybrid

Agar kompatibel dengan WirelessHART, 10 ms adalah nilai tipikal untuk durasi slot waktu; namun, pemeran duo dapat melibatkan peningkatan durasi slot waktu sekitar 1-2 ms. Dengan total 16 saluran, topologi ISA100.11a mendukung tiga operasi alternatif umum dalam satu subnet: slotted channel hopping, slow channel hopping, dan metode hybrid yang menggabungkan dua metode pertama, seperti yang digambarkan pada Gambar 10.7. Dengan metode slotted hopping, setiap slot waktu menggunakan saluran radio yang berbeda untuk mengakomodasi transaksi tunggal (dengan) opsional pengakuan).

Pada lapisan jaringan, kompatibilitas dengan IPv6 memberikan peluang bagi pengguna untuk terhubung ke Internet, sehingga memberikan kemungkinan yang beragam. Standar ISA mendukung integrasi dengan protokol lama seperti HART berkabel. Selain itu, ISA juga menyediakan antarmuka untuk memfasilitasi koeksistensi dengan HART nirkabel.

Berdasarkan ringkasan standar nirkabel tercanggih, kami membahas beberapa kemajuan terkini dan pangsa pasar saat ini. Di antara semua standar ini, wirelessHART dan ISA100.11a adalah dua standar utama dan mendominasi yang sudah ada di pasar. kompetisi, Hart Communication Foundation (HCF) dan International Society of Automation (ISA) telah sepakat untuk berkolaborasi bersama untuk menghasilkan satu standar tunggal yang diturunkan dari wirelessHART dan ISA100.11a. Sebuah subkomite bernama ISA100.12 telah dibentuk untuk menyelidiki kemungkinan konvergensi Konvergensi dapat menghasilkan standar global dengan positif dari kedua standar ini dan solusi IWSN yang lebih baik.

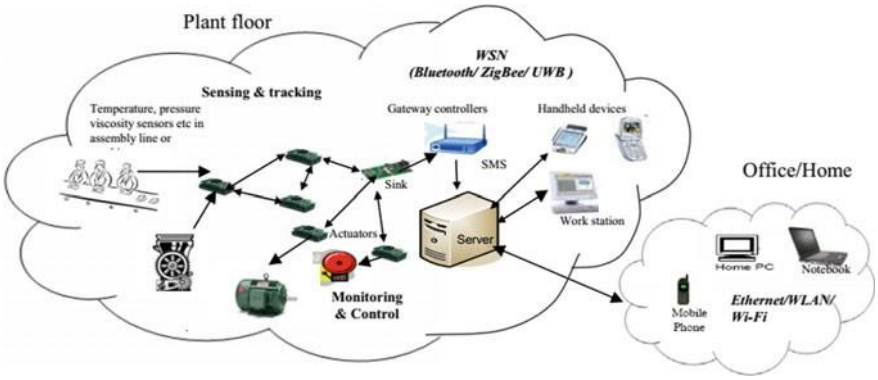
10.4 Jaringan Sensor Nirkabel untuk Aplikasi Industri

Dengan demikian, WSN dapat digunakan untuk deteksi kejadian langka atau kolaborasi data berkala untuk aplikasi industri. Dalam pendeteksian kejadian langka, sensor digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kejadian langka, acak, dan singkat, seperti alarm dan pemberitahuan deteksi kesalahan karena perubahan penting. Di sisi lain, pengumpulan data berkala diperlukan untuk operasi seperti pelacakan aliran material,

pemantauan kesehatan peralatan / proses. Aplikasi pemantauan dan kontrol tersebut, mengurangi biaya tenaga kerja, kesalahan manusia, dan mencegah waktu henti produksi yang mahal.

Pabrikan, saat ini, berinvestasi dalam teknologi nirkabel untuk memungkinkan para insinyur memperoleh dan mengontrol data real-time dari jaringan sensor / aktuator nirkabel pabrik kapan saja, di mana saja. Lingkungan tunggal menjadi umum saat ini. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 10.8, sistem kontrol dan pemeliharaan proses real-time dilengkapi dengan sensor nirkabel / jaringan aktuator di lantai pabrik dan dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak perusahaan back end serta layanan web internet.

Data dapat dimasukkan atau diperoleh sementara peringatan / alarm dapat diberitahukan melalui SMS atau email ke teknisi di kantor atau lokasi terpencil. Memasukkan teknologi komunikasi jarak pendek seperti ZigBee / Bluetooth ke dalam sistem otomasi akan memungkinkan para insinyur untuk mengumpulkan dan mengontrol data sensor / aktuator waktu nyata dari lantai pabrik, dan perangkat genggam yang mendukung internet seperti ponsel / PDA untuk terhubung dengan dunia luar (Internet) memungkinkan komputasi di mana-mana dalam sistem otomasi industri. perangkat dan teknologi yang berbeda bersama-sama memberikan kemungkinan kekuatan leverage dari satu dan lainnya sehingga menghasilkan sistem otomatis yang efisien.



Gambar 10.8 Jaringan industri

10.4.1 Robot Bergerak Industri

Robot bergerak otonom telah digunakan secara luas di industri. Mereka sangat cocok untuk aplikasi yang rumit, berisiko, berat, dan tugas yang berulang. Sebagian besar robot yang digunakan di industri bersifat tetap dan berdedikasi seperti pemuatan mesin, pengelasan, perakitan / pembongkaran, dll. Penggunaan robot seluler cerdas dan jaringan nirkabel sedang dieksploitasi dalam beberapa tahun terakhir. Tidak seperti navigasi tradisional yang menggunakan sensor tertanam terbatas dan objek tengara untuk menghindari rintangan di jalur, sensor, dan prosesor dilengkapi pada robot Interaksi antara sensor di lapangan, sensor yang dipasang pada robot, laptop, dan manusia meningkatkan persepsi lingkungan dari ruang kerja dengan navigasi bebas tabrakan.

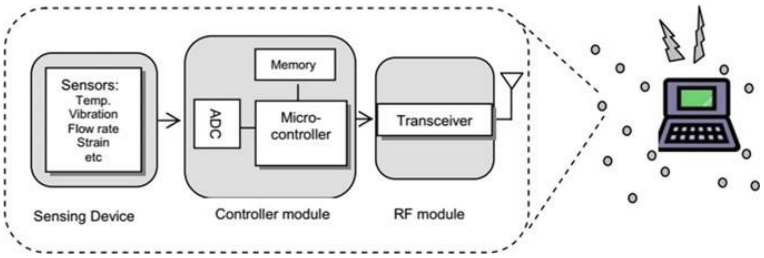
Alokasi tugas multi-robot digunakan di mana tugas dialokasikan secara eksplisit ke robot oleh jaringan sensor statis yang digunakan kembali.Dengan cara ini, robot dapat menavigasi secara efisien di seluruh ruang kerja menggunakan jaringan sensor yang

digunakan untuk menjelajahi lingkungan mereka. Aplikasi potensial termasuk memindahkan tumpukan kontainer antara ruang mesin dan gudang, robot pembersih lantai industri, robot patroli di area yang tidak diawasi, atau pembersihan limbah beracun, dll. Robot bergerak juga dapat digunakan untuk mengkalibrasi, mengkalibrasi ulang, atau mengirimkan daya ke sensor secara keseluruhan. robot penjaga / layanan dari jaringan sensor nirkabel. Robot bergerak yang dilengkapi dengan sensor yang dikalibrasi akan mengunjungi lapangan untuk mengumpulkan data dari banyak sensor dan memutuskan apakah sensor perlu dikalibrasi ulang.

10.4.2 Manajemen Inventaris Waktu Nyata

Sistem manajemen persediaan berdasarkan proses manual dapat menyebabkan situasi kehabisan stok, pengiriman dipercepat, perlambatan produksi, persediaan buffer berlebih, dan situasi penundaan penagihan. Dengan teknologi WSN, inventaris dan aset dapat dipantau secara *real time* dan informasi seperti kedatangan dari bahan mentah, dll., dapat dialihkan melintasi jarak yang jauh ke pintu gerbang untuk pengambilan keputusan dan pengendalian manajemen.

General Motors menerapkan sistem pelacakan persediaan real-time. Proses pelacakan persediaan mulai dari pemasok komponen, hingga mobil yang dirakit di pabrik, dealer mobil dan sampai pembeli mobil. Pelacakan persediaan secara real time dengan WSN meningkatkan visibilitas material, lokasi dan pemanfaatan asetnya, mengurangi pencurian, menyediakan kemampuan untuk segera menemukan peralatan dan pada akhirnya meningkatkan efisiensi rantai pasokan.



Gambar 10.9 Pemantauan kondisi mesin

10.4.3 Pemantauan Proses dan Peralatan

WSN dapat digunakan untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh terhadap kesehatan mesin tanpa kebutuhan infrastruktur untuk pemasangan kabel. Dengan terus memantau suhu, tekanan, getaran, dan penggunaan daya, dll., seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.9, produsen dapat mengurangi biaya yang tidak perlu Grup proyek EcoSense Intel menerapkan aplikasi pemeliharaan preventif percontohan yang menggunakan jaringan sensor nirkabel untuk memantau kesehatan peralatan fabrikasi manufaktur.

Dengan sistem pemantauan waktu nyata yang maju ini, tanda getaran air. Peralatan pemurnian dianalisis dan datanya digunakan untuk operasi pemeliharaan preventif. Dalam penerapan uji coba lainnya, Intel dan BP juga telah berkolaborasi dan berhasil melakukan

eksperimen WSN pada kapal tanker minyak mentah di Skotlandia untuk memantau getaran mesin guna mendukung pemeliharaan preventif. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa WSN dapat berfungsi dengan baik di lingkungan kapal yang tidak bersahabat di mana ia harus o tahan terhadap suhu ekstrem, getaran besar, dan kebisingan RF yang signifikan.

Menurut Departemen Energi Amerika Serikat, motor listrik di industri mengkonsumsi 23% energi di industri AS.Untuk mengatasi penggunaan energi yang begitu besar, Departemen telah menugaskan sebuah proyek untuk mengembangkan nirkabel yang dapat dikonfigurasi sendiri dengan biaya rendah. Informasi transmisi nirkabel ini kemudian akan digunakan oleh sistem manajemen energi jaringan untuk jaringan sensor untuk menerapkan sistem pemantauan dan diagnostik untuk digunakan pada motor listrik.Sensor akan memiliki kecerdasan yang tertanam dan dapat mengukur parameter seperti tegangan, arus, dan suhu. pengendalian pembangkit. Ditargetkan pengurangan energi sebesar 5% bila diterapkan dengan sukses.

10.4.4 Pemantauan Lingkungan

Penginderaan nirkabel dapat digunakan untuk memberikan solusi dalam industri untuk deteksi kebocoran, pelaporan iklim, pemeriksaan radiasi, pemberitahuan intrusi, dll. Peringatan darurat dapat dikirim ke manajer operasi yang meminta tindakan pencegahan segera. Dengan WSN, keberadaan atau pergerakan kelainan seperti bahan kimia beracun, biologi, zat radioaktif atau personel yang tidak berwenang dapat dilacak di seluruh fasilitas.

Kebocoran cairan dan gas yang mudah terbakar seperti amonia, klorin, dll., di pabrik petrokimia dapat menyebabkan kerugian besar, risiko bagi publik, dan emisi berbahaya bagi lingkungan. Banyak perusahaan minyak dan gas sekarang menguji coba WSN dan berencana untuk menyebarkannya secara luas Dengan sensor nirkabel, setelah kebocoran terdeteksi, tindakan responsif dapat diaktifkan seperti peringatan darurat kepada operator, mematikan mesin secara otomatis atau memicu alarm sprinkler, dll.

Menjalankan kabel di lingkungan berbahaya tidak praktis dan juga sangat mahal Untuk melakukan fungsi kritis di lingkungan yang sensitif dan keras seperti uji propulsi, WSN digunakan oleh NASA untuk menyediakan penginderaan jauh dan pemantauan mesin pengujian dengan keandalan dan akurasi tinggi. Parameter yang dipantau meliputi akustik, regangan, tingkat getaran, tingkat vakum, suhu, dll.

Sistem berbasis jaringan sensor nirkabel dari pencatatan suhu otomatis tangkapan ikan telah berhasil diuji di lepas pantai Irlandia. Tujuannya adalah untuk meningkatkan keamanan pangan dan juga keterlacakan rantai. Untuk implementasinya, kotak ikan individu Informasi yang telah diproses kemudian ditransmisikan ke server komputer di darat secara real time melalui modem GSM. Dilengkapi dengan sensor node yang mentransmisikan data suhu dan identifikasi node secara berkala ke base station di kapal.

10.5 Kesimpulan

Jaringan sensor nirkabel memberi industri pelacakan waktu nyata dan kemampuan pemantauan / kontrol jarak jauh pada sistem atau perangkat. Untuk beberapa pabrik besar, ada kebutuhan kantor pusat untuk melacak dan mencatat lokasi dan status peralatan di lantai produksi. Juga diperlukan untuk melacak karyawan dan pengunjung, biasanya dengan

akurasi lebih dari 1 m. Solusi saat ini menggunakan WiFi untuk komunikasi data dan sistem terpisah untuk menemukan peralatan dan personel. Sistem UWB dapat menyelesaikan kebutuhan komunikasi dan lokasi, mungkin sebagai bagian dari sistem hierarkis di mana lokasi UWB dan sistem komunikasi dipasang untuk setiap lantai dan terhubung melalui WiFi untuk seluruh pabrik. Bab ini menyajikan beberapa aplikasi industri yang memanfaatkan jaringan sensor nirkabel. Bab ini menyoroti teknologi nirkabel dan tren standarisasinya untuk proses otomatisasi dijelaskan. Memperkenalkan teknologi nirkabel ke pabrik dan pabrik akan red mengurangi biaya produksi dan meningkatkan produktivitas lebih dan lebih.

BAB 11
PROTOKOL MAC UNTUK JARINGAN SENSOR NIRKABEL HEMAT ENERGI

11.1 Pendahuluan

Peningkatan teknologi perangkat keras telah menghasilkan node sensor berbiaya rendah, yang terdiri dari satu chip yang disematkan dengan memori, prosesor, dan transceiver. Kapasitas daya yang rendah menyebabkan cakupan dan jangkauan komunikasi yang terbatas untuk node sensor dibandingkan dengan perangkat seluler lainnya. Oleh karena itu, misalnya, dalam aplikasi pelacakan target dan pengawasan perbatasan, jaringan sensor harus menyertakan sejumlah besar node agar dapat mencakup area target dengan sukses.

Tidak seperti jaringan nirkabel lainnya, biasanya sulit atau tidak praktis untuk mengisi / mengganti baterai yang habis. Itulah sebabnya tujuan utama dalam desain jaringan sensor nirkabel adalah memaksimalkan masa pakai node / jaringan, meninggalkan metrik kinerja lainnya sebagai tujuan sekunder. Sejak komunikasi node sensor akan lebih memakan energi daripada perhitungannya, itu adalah perhatian utama untuk meminimalkan komunikasi sambil mencapai operasi jaringan yang diinginkan.

Namun, keputusan akses menengah dalam jaringan padat yang terdiri dari node dengan siklus tugas rendah adalah masalah yang menantang yang harus diselesaikan dengan cara yang hemat energi.Dengan mengingat hal ini, pertama-tama kami menekankan fitur khas jaringan sensor, termasuk alasan kemudian, kami memberikan definisi singkat untuk protokol kontrol akses menengah (MAC) kunci yang diusulkan untuk jaringan sensor, daftar kelebihan dan kekurangannya.Selain itu, protokol yang mengusulkan integrasi lapisan MAC dengan Akhirnya, survei protokol MAC diakhiri dengan perbandingan protokol diselidiki dan arah masa depan disediakan untuk peneliti berkaitan dengan isu-isu terbuka yang belum dipelajari secara menyeluruh.

11.2 Properti Jaringan Sensor Terkait Lapisan MAC

Memaksimalkan masa pakai jaringan adalah tujuan umum dari penelitian jaringan sensor, karena node sensor diasumsikan mati saat kehabisan baterai. Dalam keadaan ini, protokol MAC yang diusulkan harus hemat energi dengan mengurangi potensi pemborosan energi yang disajikan di bawah ini. pola komunikasi yang diamati dalam aplikasi jaringan sensor harus diselidiki, karena pola ini menentukan perilaku lalu lintas jaringan sensor yang harus ditangani oleh protokol MAC yang diberikan Kategorisasi pola komunikasi yang mungkin diuraikan, dan protokol MAC yang diperlukan properti yang cocok untuk lingkungan jaringan sensor disajikan.

11.2.1 Alasan Pemborosan Energi

Ketika sebuah node menerima lebih dari satu paket pada saat yang sama, paket-paket ini disebut bertabrakan, bahkan ketika mereka bertepatan hanya sebagian.Semua

paket yang menyebabkan tabrakan harus dibuang dan transmisi ulang dari paket-paket ini diperlukan, yang meningkatkan konsumsi energi. Meskipun beberapa paket dapat dipulihkan dengan efek penangkapan, sejumlah persyaratan harus dicapai untuk pemulihan yang sukses. Alasan kedua untuk pemborosan energi adalah pendengaran, yang berarti bahwa sebuah node menerima paket yang ditujukan ke node lain. Pemborosan energi ketiga terjadi Sejumlah minimal paket kontrol harus digunakan untuk membuat transmisi data Salah satu sumber utama pemborosan energi adalah mendengarkan idle, yaitu mendengarkan saluran yang tidak digunakan untuk menerima kemungkinan lalu lintas Alasan terakhir pemborosan energi adalah overemitting , yang disebabkan oleh pengiriman pesan ketika node tujuan tidak siap. Mengingat fakta di atas, a benar des protokol MAC yang ditandatangani harus mencegah pemborosan energi ini.

11.2.2 Pola Komunikasi

Kulkarni mendefinisikan tiga jenis pola komunikasi dalam jaringan sensor nirkabel: siaran, konvergensi, dan gosip lokal.Pola siaran umumnya digunakan oleh stasiun pangkalan (sink) untuk mengirimkan beberapa informasi ke semua node sensor jaringan Informasi yang disiarkan dapat mencakup kueri arsitektur pemrosesan kueri sensor, pembaruan program untuk node sensor, atau paket kontrol untuk keseluruhan sistem. Pola komunikasi siaran tidak boleh disamakan dengan paket siaran. Untuk yang pertama, semua node jaringan dimaksudkan penerima, yang terakhir, penerima yang dimaksud adalah node dalam jangkauan komunikasi dari node transmisi.

Dalam beberapa skenario, sensor yang mendeteksi suatu peristiwa berkomunikasi satu sama lain secara lokal. Pola komunikasi semacam ini disebut gosip lokal, di mana sensor mengirim pesan ke node tetangganya dalam suatu jangkauan. Setelah sensor mendeteksi suatu peristiwa, mereka perlu Pola komunikasi itu disebut konvergencast, di mana sekelompok sensor berkomunikasi dengan sensor tertentu. Node tujuan bisa menjadi kepala cluster, pusat fusi data, atau base station. Dalam protokol yang mencakup pengelompokan, kepala cluster berkomunikasi dengan anggota mereka dan dengan demikian penerima yang dimaksud mungkin tidak semua tetangga dari kepala cluster, tetapi hanya sebagian dari tetangga.

11.2.3 Properti dari Protokol MAC yang Didefinisikan dengan Baik

Untuk merancang protokol MAC yang baik untuk jaringan sensor nirkabel, atribut berikut harus dipertimbangkan. Atribut pertama adalah efisiensi energi. Oleh karena itu, protokol hemat energi didefinisikan untuk memperpanjang masa pakai jaringan. Atribut penting lainnya adalah skalabilitas dan adaptasi terhadap perubahan Perubahan ukuran jaringan, kepadatan node, dan topologi harus ditangani dengan cepat dan efektif untuk adaptasi yang berhasil Beberapa alasan di balik perubahan properti jaringan ini adalah umur node yang terbatas, penambahan node baru ke jaringan, dan variasi Interferensi, yang dapat mengubah konektivitas dan topologi jaringan. Protokol MAC yang baik harus mengakomodasi perubahan jaringan tersebut. Atribut penting lainnya seperti latensi, throughput, dan pemanfaatan bandwidth mungkin sekunder dalam jaringan sensor. Berlawanan dengan jaringan nirkabel lainnya, keadilan di antara node sensor biasanya bukan merupakan tujuan desain, karena semua node sensor berbagi tugas yang sama.

11.3 Pertimbangan Akses Ganda dalam Properti Jaringan Sensor

Jaringan sensor mempertimbangkan kebutuhan komunikasi kumpulan perangkat nirkabel, dan bukan hanya desain tautan radio tunggal.Algoritme dan protokol yang digunakan perangkat jaringan untuk berkomunikasi secara efisien adalah topik bagian ini.

Dalam jaringan nirkabel, cara perangkat mengakses dan menggunakan media transmisi (dalam hal ini, saluran nirkabel) disebut akses ganda; dalam terminologi IEEE 802, ia berada di bawah cakupan sublapisan Kontrol Akses Ganda (MAC). Semua perangkat di jaringan harus berbagi saluran nirkabel karena komunikasi nirkabel secara inheren merupakan skema komunikasi siaran dan sinyal yang dikirim oleh satu pemancar terdengar di beberapa lokasi.Dengan demikian, tujuan utama MAC adalah membatasi / meminimalkan gangguan di dalam jaringan. Ada beberapa metode terkenal di mana perangkat nirkabel dapat berbagi saluran. Ini biasanya melibatkan transmisi sinyal yang ortogonal dalam satu atau lebih dimensi seperti waktu, frekuensi, atau kode.

11.3.1 Topologi Jaringan

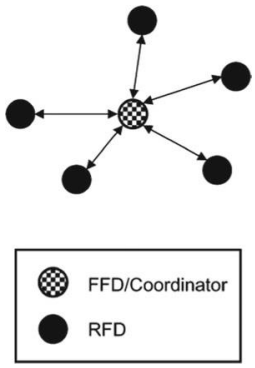
Untuk diskusi lebih lanjut tentang akses ganda, pembaca dapat merujuk ke Gambar 11.1, yang menggambarkan jaringan bintang sederhana yang terdiri dari enam node Menggunakan terminologi IEEE 802.15.4, kumpulan node ini disebut PAN, dan diasumsikan menjangkau a kecil (10 m) wilayah geografis.Selain itu, ada dua jenis node didefinisikan dalam standar, FFD dan RFD.

Dari kontrol PAN dan sudut pandang multi-akses, FFD berisi perangkat lunak yang memungkinkan inisiasi PAN, pembentukan jaringan, dan kontrol saluran nirkabel untuk beberapa akses di antara RFD.

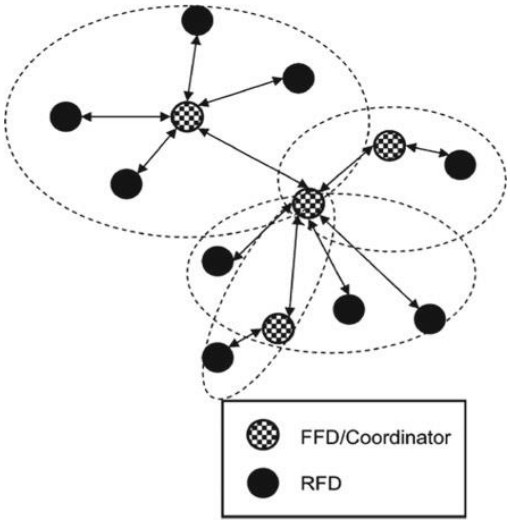
Sebuah FFD sering disebut sebagai "koordinator" karena kemampuannya untuk menyediakan fungsi di atas. Pada gambar, node FFD digambarkan di tengah PAN sedangkan node RFD ditampilkan di sekitar koordinator. Panah menunjukkan bahwa perangkat RFD secara logis terkait dengan koordinator dan mengandalkannya untuk layanan akses ganda dan transportasi data.

Gambar 11.2 menunjukkan contoh lain dari topologi jaringan sensor, biasanya disebut sebagai jaringan pohon.Pada gambar ini, kita kembali mempertimbangkan perangkat FFD dan RFD seperti pada Gambar 11.1.

Jaringan pohon dapat dilihat sebagai penggabungan jaringan bintang (digambarkan dengan lingkaran putus-putus) di mana jaringan bintang dihubungkan bersama dengan menghubungkan FFD di setiap bintang bersama-sama.Perhatikan di sini bahwa data mungkin perlu dirutekan melalui beberapa lompatan jika perangkat ingin untuk berkomunikasi di luar jaringan bintang lokal mereka. Topologi ketiga yang perlu dipertimbangkan adalah topologi mesh, yang mirip dengan topologi pohon multi-hop tetapi dengan penambahan beberapa tautan di antara perangkat. (Dalam jaringan pohon, hanya ada satu jalur antara dua perangkat.) Topologi mesh pada Gambar 11.3 memberikan keandalan ke jaringan dalam bentuk jalur redundan di antara perangkat sehingga, jika terjadi kegagalan perangkat atau tautan, data dapat dirutekan ulang.



Gambar 11.1 Jaringan sensor sederhana dengan topologi star



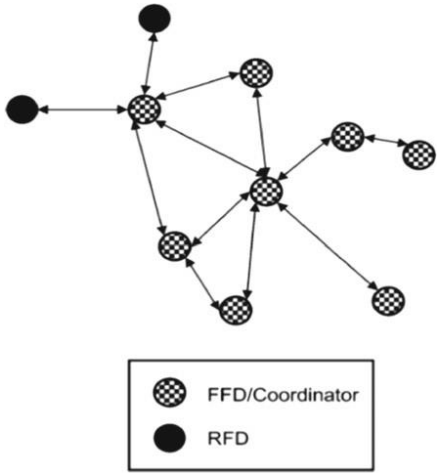
Gambar 11.2 Jaringan sensor dengan topologi pohon

Ketika mempertimbangkan metode akses ganda, akan berguna untuk memahami bagaimana topologi mempengaruhi persyaratan akses ganda.Biasanya, topologi sederhana mengarah ke desain akses ganda sederhana karena lebih sedikit perangkat yang mengakses saluran dan dengan demikian lebih sedikit kemungkinan interferensi di antara saluran. Lebih penting lagi, topologi sederhana dapat menawarkan kemampuan untuk mengontrol akses pada titik pusat; seperti halnya jaringan bintang di mana perangkat FFD tunggal mengontrol waktu transmisi. Topologi yang lebih kompleks memerlukan perencanaan akses saluran yang lebih hati-hati untuk meminimalkan gangguan, tetapi mereka memungkinkan cakupan area yang lebih besar oleh satu jaringan bahkan dengan daya pancar yang sangat terbatas, seperti halnya jaringan UWB.

Mengingat topologi yang dijelaskan di atas, kita sekarang siap untuk membahas berbagai teknik akses ganda. Pertama, mari kita bedakan antara dua kategori besar teknik akses ganda: terpusat dan terdesentralisasi. Dalam skema akses terpusat, node tunggal atau subset kecil dari node bertanggung jawab untuk mengontrol transmisi perangkat lain dalam jaringan. Dalam skema desentralisasi, setiap node bertanggung jawab untuk memutuskan apakah dan kapan harus mengirim pada saluran. Biasanya skema terpusat menawarkan efisiensi dan keandalan yang lebih baik karena tabrakan dapat lebih mudah dihindari, tetapi hal ini mengakibatkan peningkatan kompleksitas pada node yang mengontrol akses serta

kebutuhan akan informasi di seluruh jaringan mengenai kebutuhan komunikasi setiap node dalam jaringan. kontrol yang kuat, sehingga node memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk mengakses saluran Skema terdistribusi biasanya diwujudkan melalui pendekatan berbasis jabat tangan.

Jabat tangan dapat mencegah tabrakan, tetapi perhatikan bahwa pesan tambahan untuk berjabat tangan perlu ditransmisikan. Perangkat memulai permintaan untuk mengirim / menghapus untuk mengirim (RTS / CTS) pertukaran pada saluran umum dengan tujuannya. Jika saluran tersedia, Pembaca dirujuk untuk survei terperinci tentang kontrol akses menengah di jaringan nirkabel pita lebar ultra.



Gambar 11.3 Jaringan sensor dengan topologi mesh

11.3.2 Akses Ganda Pembagian Waktu (TDMA)

TDMA adalah skema terpusat di mana hanya satu perangkat mentransmisikan pada interval waktu tertentu. Kami pada dasarnya memiliki sinyal yang ortogonal dalam waktu; ini dicapai dengan membagi sumbu waktu menjadi interval transmisi diskrit yang tidak tumpang tindih dan menetapkan interval ke perangkat jaringan tertentu. tujuan dari jaringan sensor, TDMA dalam definisi yang ketat ini belum tentu layak. Hal ini disebabkan fakta Untuk jaringan kecil yang terdiri dari beberapa perangkat semua dalam jangkauan komunikasi, sinkronisasi adalah mungkin. Bahwa untuk mengkoordinasikan sepenuhnya waktu transmisi dari beberapa perangkat, referensi waktu global diperlukan, yaitu, jaringan perlu disinkronkan. Namun, dalam banyak skenario yang dibayangkan untuk jaringan sensor, sinkronisasi seluruh jaringan dan dengan demikian TDMA tidak dipertimbangkan.

Masalah lain dengan hubungan TDMA Agar node pengontrol dapat menetapkan slot secara efisien, node tersebut harus memiliki informasi mengenai jumlah data yang ingin dikirimkan oleh setiap node jaringan. Beberapa teknik telah dikembangkan untuk mengirimkan informasi tersebut ke node pengontrol. Pendekatan sederhana adalah koordinator harus polling setiap perangkat untuk memastikan beban lalu lintasnya saat ini, dan kemudian, ia dapat menyesuaikan panjang slot TDMA berikutnya. Namun, ketika hanya sebagian node yang memiliki data untuk dikirim, pertukaran pesan polling membuang bandwidth jaringan. umumnya kasus dengan sistem TDMA di mana ada tradeoff antara

jumlah efisiensi penjadwalan yang dapat dicapai dan jumlah informasi kontrol yang harus dilewatkan antara FFD dan RFD.

11.3.3 Carrier-Sense Multiple Access (CSMA) dan ALOHA

CSMA dapat dilihat sebagai versi terdistribusi dari TDMA. Dalam skema ini, setiap node dalam jaringan berusaha untuk menghindari bertabrakan dengan transmisi lain. Ide dasarnya adalah bahwa setiap node merasakan saluran nirkabel sebelum mengirimkan paket untuk menentukan apakah saluran tersebut Sedang digunakan Jika saluran idle, node kemudian dapat mengirimkan paketnya, jika tidak, node menunggu untuk jangka waktu yang panjang secara acak dan mengulangi penginderaan dan transmisi Jadi CSMA mencoba untuk mengatur transmisi dalam interval waktu tabrakan Kelebihan Ini menghilangkan kebutuhan untuk penjadwalan yang rumit. Namun, CSMA mengalami beberapa masalah yang terkenal. Skema CSMA melalui TDMA adalah bahwa ia didistribusikan. Selain itu, setiap node akan mencoba mengakses saluran hanya jika datanya siap untuk transmisi. Pertama dan terpenting adalah masalah "terminal tersembunyi" di mana sebuah node yang merasakan saluran mungkin tidak berada dalam jangkauan radio dari semua node dalam jaringan.

Jadi, meskipun sebuah node dapat menentukan bahwa saluran sedang menganggur dan mengirimkan, komunikasi dapat terjadi di tempat lain di jaringan. Transmisi ini berpotensi mengganggu. Selain itu, CSMA bergantung pada kemampuan melakukan penginderaan saluran yang akurat. Ini tampaknya Kesulitan ini muncul dari kenyataan bahwa transmisi UWB memiliki daya yang sangat rendah dan memerlukan pengetahuan tentang kode penyebaran untuk penyebaran yang efektif. Jadi, sebuah node idealnya akan memeriksa semua kemungkinan kode penyebaran sebelum mendeklarasikan saluran yang menganggur. Dalam jaringan besar yang menggunakan banyak kode, ini mungkin tidak layak.

11.3.4 Frekuensi-Divisi Multiple Access (FDMA)

Analog dengan TDMA, FDMA menetapkan saluran frekuensi ortogonal ke berbagai perangkat. Hal ini dapat dicapai dengan membagi spektrum frekuensi menjadi segmen yang tidak tumpang tindih dan menetapkan segmen ini ke perangkat individu untuk transmisinya. Dalam konteks sistem UWB, beberapa -teknik akses memiliki beberapa masalah Pertama, persyaratan peraturan mengharuskan perangkat UWB mengirimkan sinyal dengan bandwidth tidak lebih kecil dari 500 MHz Jadi untuk mendukung pengguna N, bandwidth sistem harus minimal 500_N MHz Jadi kita melihat bahwa Untuk mendukung beberapa pengguna secara bersamaan, setiap perangkat harus dapat menerima dan memproses sinyal pita lebar. Kedua, tergantung pada metode dupleks, sinkronisasi seluruh jaringan mungkin masih diperlukan.

Ini adalah kasus ketika mempertimbangkan komunikasi setengah dupleks di mana perangkat mungkin transmisi atau penerimaan Dalam hal ini, sistem harus menjadwalkan perangkat mana yang akan mengirim dan mana yang akan menerima. Selama setiap waktu instan. Jenis penjadwalan ini sulit dicapai tanpa beberapa bentuk referensi waktu global. Selain itu, penjadwalan lalu lintas siaran atau multicast menjadi masalah di jaringan FDMA dengan perangkat half duplex. Perangkat full duplex sedikit mengurangi masalah penjadwalan, tetapi Ini secara intrinsik lebih mahal, karena sistem dupleks penuh pada dasarnya memerlukan dua radio per perangkat, dan setiap radio perlu beroperasi melalui

bandwidth sistem yang besar.Namun, penggunaan pita frekuensi yang berbeda memungkinkan pemisahan sinyal yang sangat baik yang akan sulit untuk dipisahkan. , misalnya, oleh CDMA Untuk alasan di atas, FDMA berguna, misalnya, untuk memisahkan jaringan dengan jarak yang dekat, dan digunakan untuk tujuan ini juga di IEEE 802.15.4a.

11.3.5 Code-Division Multiple Access (CDMA)

CDMA memberikan kode penyebaran ortogonal (kuasi) ke masing-masing perangkat, yang kemudian mengalikan aliran simbolnya dengan kode yang ditetapkan. Dalam bentuknya yang paling umum, CDMA memisahkan semua skema penyebaran. Penerima dapat membedakan di antara perangkat yang berbeda dengan menghubungkan sinyal yang diterima dengan masing-masing Jaringan CDMA tidak memiliki masalah penjadwalan yang terkait dengan teknik TDMA dan FDMA yang dijelaskan di atas Karena mereka mengandalkan pemrosesan sinyal pada penerima untuk memisahkan transmisi dari banyak pengguna, CDMA memungkinkan transmisi simultan (dalam waktu dan/atau frekuensi). juga menarik untuk jaringan sensor UWB karena faktor penyebaran dalam sistem UWB sangat besar, secara teoritis, banyak transmisi simultan dapat didukung.

Standar IEEE 802.15.4a bergantung pada faktor penyebaran yang besar ini dan kemampuan untuk menyelesaikan banyak pengguna untuk memungkinkan penggunaan kembali pita frekuensi. Artinya, beberapa jaringan dapat digunakan dalam satu pita frekuensi. Jadi, setiap perangkat di jaringan hanya perlu mendengarkan untuk paket yang berisi kode yang benar dan kemudian dapat menyinkronkan penerimanya untuk memecahkan kode data berikutnya.

11.4 Protokol Lapisan MAC yang Diusulkan

Pada bagian ini, berbagai protokol MAC yang didefinisikan untuk jaringan sensor dijelaskan secara singkat dengan menyatakan perilaku penting dari protokol sedapat mungkin. Selain itu, kelebihan dan kekurangan dari protokol ini disajikan.

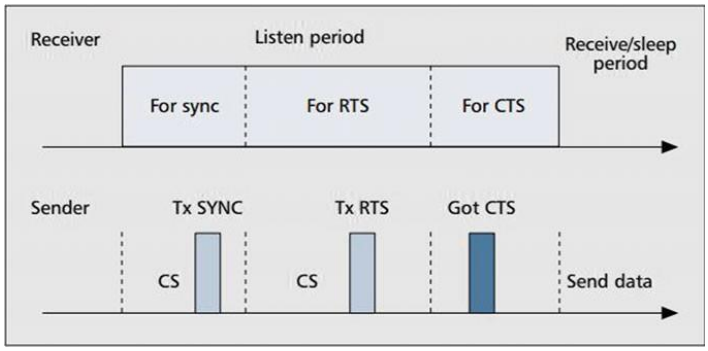
11.4.1 Sensor-MAC

Sinkronisasi yang dikelola secara lokal dan jadwal sleep-listen periodik berdasarkan sinkronisasi ini membentuk ide dasar di balik protokol Sensor-MAC (S-MAC). Node tetangga membentuk cluster virtual sehingga dapat mengatur jadwal tidur umum. Jika dua node bertetangga node berada di dua cluster virtual yang berbeda, mereka bangun pada periode mendengarkan kedua cluster.Kekurangan dari algoritma S-MAC adalah kemungkinan mengikuti dua jadwal yang berbeda, yang menghasilkan lebih banyak konsumsi energi melalui idle listening dan overhearing.

Pertukaran jadwal dilakukan dengan siaran paket SYNC periodik ke tetangga terdekat. Periode untuk setiap node untuk mengirim paket SYNC disebut periode sinkronisasi. Gambar 11.4 menunjukkan contoh komunikasi pengirim-penerima. Penghindaran tabrakan dicapai dengan perasaan pembawa (direpresentasikan sebagai CS pada gambar).

Dengan teknik ini, seseorang dapat mencapai penghematan energi.S-MAC juga mencakup konsep pengiriman pesan, di mana pesan panjang dibagi menjadi bingkai dan dikirim secara

berurutan, dengan meminimalkan overhead komunikasi dengan mengorbankan ketidakadilan dalam akses media.



Gambar 11.4 Skenario pengiriman pesan S-MAC

Tidur berkala dapat menghasilkan latensi tinggi, terutama untuk algoritma perutean multi-hop, karena semua node perantara memiliki jadwal tidurnya sendiri. Latensi yang disebabkan oleh tidur berkala disebut penundaan tidur. Teknik mendengarkan adaptif diusulkan untuk meningkatkan penundaan tidur Dan dengan demikian latensi keseluruhan.Dalam teknik itu, node yang mendengar transmisi tetangganya bangun untuk waktu yang singkat di akhir transmisi.akhir transmisi dikenal dengan bidang durasi paket RTS / CTS.

Kelebihan—Pemborosan energi yang disebabkan oleh mendengarkan idle dikurangi dengan jadwal tidur Selain kesederhanaan implementasinya, sinkronisasi waktu overhead dapat dicegah dengan pengumuman jadwal tidur.

Kekurangan—Paket data siaran tidak menggunakan RTS / CTS, yang mengarah pada peningkatan kemungkinan tabrakan. Mendengarkan adaptif menimbulkan pendengaran yang berlebihan atau pendengaran yang menganggur jika paket tidak ditujukan ke node mendengarkan. Periode tidur dan mendengarkan telah ditentukan sebelumnya dan konstan, yang berkurang efisiensi algoritma di bawah beban lalu lintas variabel.

11.4.2 WiseMAC

Hoiydi mengusulkan protokol "Spatial TDMA and CSMA with Preamble Sampling" di mana semua node sensor didefinisikan memiliki dua saluran komunikasi. Saluran data diakses menggunakan TDMA, saluran kontrol diakses oleh CSMA. WiseMAC [5] mirip dengan pekerjaan Hoiydi tetapi hanya membutuhkan satu saluran.Protokol WiseMAC menggunakan CSMA (np-CSMA) nonpersistent dengan preamble sampling seperti pada [4] untuk mengurangi idle listening. Dalam teknik preamble sampling, preamble mendahului setiap data paket untuk memperingatkan node penerima.

Semua node dalam jaringan mengambil sampel media dengan periode yang sama, tetapi offset jadwal relatifnya independen. Jika sebuah node menemukan media sibuk setelah bangun dan mengambil sampel media, ia terus mendengarkan hingga menerima paket data atau media menjadi tidak aktif lagi. Ukuran pembukaan awalnya diatur sama dengan periode pengambilan sampel. Namun, penerima mungkin tidak siap pada akhir pembukaan, karena faktor-faktor seperti interferensi, yang menyebabkan kemungkinan pemborosan energi tipe pemancaran berlebih.Selain itu, pemancaran berlebih meningkat

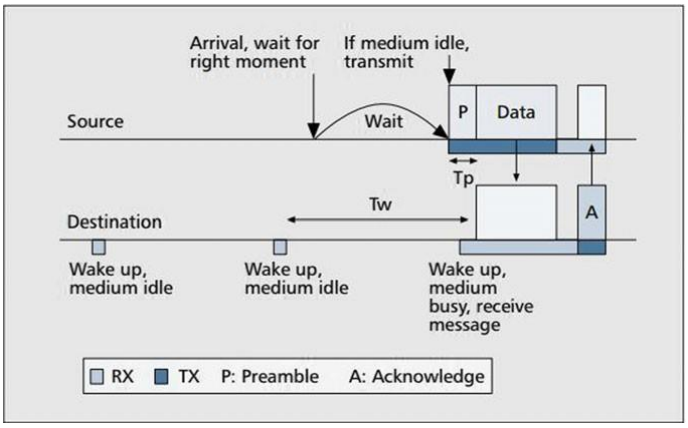
seiring dengan panjang pembukaan dan paket data, karena tidak ada jabat tangan yang dilakukan dengan penerima yang dituju.

Untuk mengurangi konsumsi daya yang ditimbulkan oleh preamble panjang tetap yang telah ditentukan, WiseMAC menawarkan metode untuk menentukan panjang preamble secara dinamis. Metode tersebut menggunakan pengetahuan tentang jadwal tidur tetangga node pemancar. Node belajar dan menyegarkan tidur tetangga mereka jadwal selama setiap pertukaran data sebagai bagian dari pesan Pengakuan Dengan cara itu, setiap node menyimpan tabel jadwal tidur tetangganya Berdasarkan tabel jadwal tidur tetangga, WiseMAC menjadwalkan transmisi sehingga waktu pengambilan sampel node tujuan sesuai dengan Bagian tengah pembukaan pengirim Untuk mengurangi kemungkinan tabrakan yang disebabkan oleh waktu mulai spesifik dari pembukaan bangun, disarankan untuk membuka pembukaan secara acak.

Parameter lain yang mempengaruhi pemilihan panjang pembukaan bangun adalah potensi penyimpangan jam antara sumber dan tujuan. Batas bawah untuk panjang pembukaan dihitung sebagai minimum periode pengambilan sampel tujuan, Tw, dan penyimpangan jam potensial dengan Mempertimbangkan batas bawah ini, panjang pembukaan (Tp) dipilih secara acak Gambar 11.5 menyajikan konsep WiseMAC.

Kelebihan—Hasil simulasi menunjukkan bahwa WiseMAC berkinerja lebih baik daripada salah satu varian S-MAC. Selain itu, penyesuaian panjang pembukaan dinamisnya menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam kondisi lalu lintas variabel. Selain itu, penyimpangan jam ditangani dalam definisi protokol, yang mengurangi kebutuhan sinkronisasi waktu eksternal.

Kekurangan—Kelemahan utama WiseMAC adalah bahwa penjadwalan sleep-listen yang terdesentralisasi menghasilkan waktu tidur dan bangun yang berbeda untuk setiap tetangga dari sebuah node. Ini merupakan masalah penting terutama untuk komunikasi tipe broadcast, karena paket yang disiarkan akan di-buffer untuk tetangga Selain itu, masalah terminal tersembunyi menyertai model WiseMAC, seperti pada TDMA Spasial dan CSMA dengan Pembukaan. Selain itu, masalah terminal tersembunyi menyertai model WiseMAC, seperti pada TDMA Spasial dan CSMA dengan Pembukaan. Algoritma pengambilan sampel Itu karena WiseMAC juga didasarkan pada CSMA nonpersistent. Masalah ini akan mengakibatkan tabrakan ketika satu node mulai mengirimkan pembukaan ke node yang sudah menerima transmisi node lain di mana pengirim pembukaan tidak berada dalam jangkauan.



Gambar 11.5 Konsep WiseMAC

11.4.3 Protokol MAC Adaptif Lalu Lintas

TRAMA adalah algoritma berbasis TDMA yang diusulkan untuk meningkatkan pemanfaatan TDMA klasik secara hemat energi, mirip dengan Node Activation Multiple Access (NAMA), di mana untuk setiap slot waktu terdistribusi algoritma pemilihan digunakan untuk memilih satu pemancar dalam setiap lingkungan dua hop. Pemilihan semacam ini menghilangkan masalah terminal tersembunyi dan karenanya memastikan bahwa semua node di lingkungan satu hop pemancar akan menerima data tanpa tabrakan. Namun, NAMA tidak hemat energi dan menimbulkan gangguan pendengaran.

Waktu dibagi menjadi periode akses acak dan akses terjadwal (transmisi). Periode akses acak digunakan untuk menetapkan informasi topologi dua hop dan akses saluran didasarkan pada pertentangan dalam periode tersebut. Asumsi dasarnya adalah bahwa, dengan informasi yang dilewatkan oleh lapisan aplikasi, lapisan MAC dapat menghitung durasi transmisi yang dibutuhkan, yang Topologis sebagai SCHEDULE_INTERVAL. Kemudian, pada waktu t, node menghitung jumlah slot yang akan memiliki prioritas tertinggi di antara tetangga dua hop dalam Periode [t, t + SCHEDULE_INTERVAL].

Node mengumumkan slot yang akan digunakan serta penerima yang dituju untuk slot ini dengan paket jadwal. Selain itu, node mengumumkan slot yang memiliki prioritas tertinggi tetapi tidak akan Paket jadwal menunjukkan penerima yang dituju menggunakan bitmap yang panjangnya sama dengan jumlah tetangganya Bit sesuai dengan tetangga satu hop yang diurutkan berdasarkan identitasnya Karena penerima dari Ketika slot kosong diumumkan, pengirim potensial dievaluasi untuk menggunakan kembali slot tersebut Prioritas node pada slot dihitung dengan fungsi hash identitas node dan slot.

Model analitik untuk kinerja penundaan protokol TRAMA dan NAMA juga disajikan dan didukung oleh simulasi Penundaan ditemukan lebih tinggi, dibandingkan dengan protokol berbasis pertentangan, karena persentase waktu tidur yang lebih tinggi.

Kelebihan—Persentase waktu tidur yang lebih tinggi dan kemungkinan tabrakan yang lebih kecil tercapai, dibandingkan dengan protokol berbasis CSMA Karena penerima yang dituju ditunjukkan oleh bitmap, komunikasi yang dilakukan lebih sedikit untuk jenis pola komunikasi multicast dan broad-cast, dibandingkan dengan protokol lainnya.

Kekurangan — Slot transmisi diatur menjadi tujuh kali lebih lama dari periode akses acak. Namun, semua node didefinisikan dalam keadaan menerima atau mengirim selama periode akses acak untuk pertukaran jadwal. Ini berarti tanpa mempertimbangkan transmisi dan penerimaan, siklus tugas setidaknya 12,5%, yang merupakan nilai yang sangat tinggi. Untuk slot waktu, setiap node menghitung masing-masing prioritas tetangga dua hopnya pada slot itu. Selain itu, perhitungan ini diulang untuk setiap slot waktu , karena parameter perhitungan berubah seiring waktu.

11.4.4 Ayak

Sift adalah protokol MAC yang diusulkan untuk lingkungan jaringan sensor yang digerakkan oleh peristiwa. Motivasi di balik Sift adalah bahwa ketika suatu peristiwa dirasakan, laporan potensial R of N pertama adalah bagian paling penting dari pesan dan harus disampaikan dengan kecepatan rendah. latency. Jamieson et al. Gunakan fungsi distribusi probabilitas yang tidak seragam untuk memilih slot di dalam slotted contention window. Jika tidak ada node yang mulai mentransmisikan di slot pertama dari jendela, maka setiap node meningkatkan probabilitas transmisinya secara eksponensial untuk slot berikutnya, dengan asumsi bahwa jumlah node yang bersaing kecil.

Dalam Penemuan Sift dibandingkan dengan protokol 802.11 MAC dan ditunjukkan bahwa Sift mengurangi latensi secara signifikan ketika ada banyak node yang mencoba mengirim laporan. Karena Sift adalah algoritma penetapan slot pertentangan, diusulkan untuk berdampingan dengan MAC lainnya protokol seperti S-MAC. Berdasarkan ide yang sama, CSMA / p * diusulkan di mana p * adalah distribusi probabilitas tidak seragam yang meminimalkan latensi secara optimal. Namun, Tay et al. Menyatakan bahwa fungsi distribusi probabilitas Sift to pick slot adalah perkiraan untuk CSMA / p *.

Kelebihan—Latensi sangat rendah dicapai untuk banyak sumber lalu lintas. Konsumsi energi ditukar dengan latensi, seperti ditunjukkan di bawah. Namun, bila latensi merupakan parameter penting sistem, konsumsi energi yang sedikit meningkat harus diterima. algoritme dapat disetel untuk mengurangi konsumsi energi. Konsumsi energi yang tinggi adalah hasil dari argumen yang ditunjukkan di bawah ini.

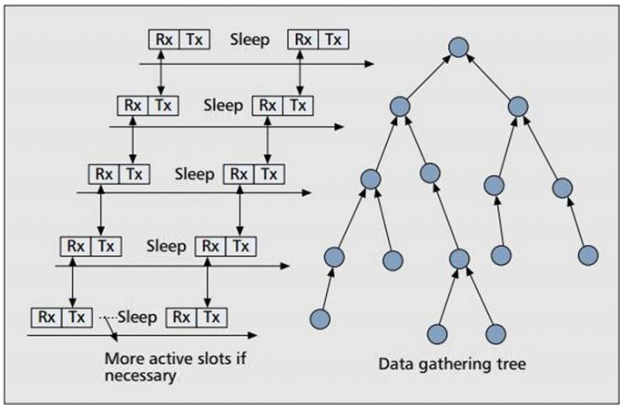
Kekurangan—Salah satu kelemahan utama adalah peningkatan idle listening yang disebabkan oleh mendengarkan semua slot sebelum mengirim. Kelemahan kedua adalah peningkatan overhearing.Ketika ada transmisi yang sedang berlangsung, node harus mendengarkan sampai akhir untuk bersaing untuk transmisi berikutnya, yang Itu sebabnya kompleksitas implementasi Sift akan lebih besar daripada protokol yang tidak menggunakan sinkronisasi waktu.

11.4.5 DMAC

Converge cast adalah pola komunikasi yang paling sering diamati dalam jaringan sensor. Jalur searah dari sumber ke sink dapat direpresentasikan sebagai pohon pengumpulan data. Tujuan utama DMAC adalah untuk mencapai latensi yang sangat rendah untuk komunikasi cast konvergen, tetapi tetap menjadi hemat energi.

DMAC dapat diringkas sebagai algoritma Slotted Aloha yang ditingkatkan di mana slot ditugaskan ke set node berdasarkan pohon pengumpulan data, seperti yang ditunjukkan

pada Gambar 11.6 Jadi, selama periode penerimaan sebuah node, semua node anaknya Latensi rendah dicapai dengan menetapkan slot berikutnya ke node yang berurutan di jalur transmisi data.



Gambar 11.6 Pohon pengumpulan data dan implementasi DMAC-nya

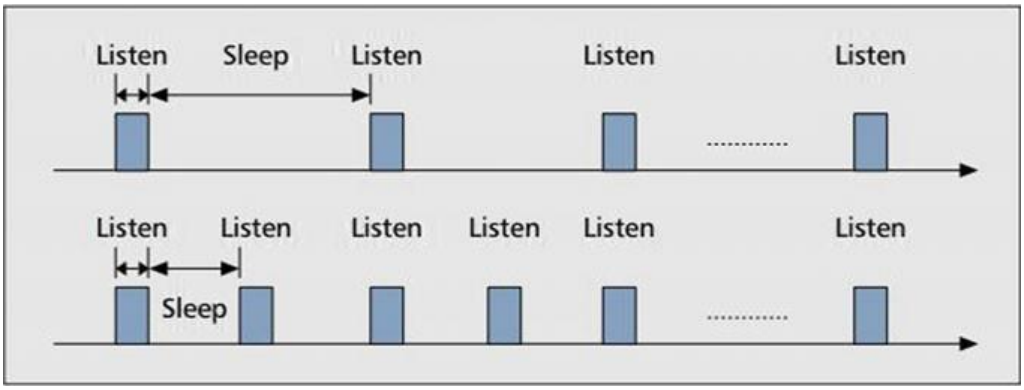
Keuntungan—DMAC mencapai latensi yang sangat baik dibandingkan dengan metode penugasan periode tidur/dengar lainnya Latensi jaringan sangat penting untuk skenario tertentu, di mana DMAC bisa menjadi kandidat kuat.

Kekurangan—Metode penghindaran tabrakan tidak digunakan; oleh karena itu, ketika sejumlah node yang memiliki jadwal yang sama (level yang sama di pohon) mencoba mengirim ke node yang sama, tabrakan akan terjadi. jaringan sensor Selain itu, jalur transmisi data mungkin tidak diketahui sebelumnya, yang menghalangi pembentukan pohon pengumpulan data.

11.4.6 Batas Waktu-MAC / Sensor Dinamis-MAC

Periode sleep-listen statis S-MAC menghasilkan latensi tinggi dan throughput lebih rendah, seperti yang ditunjukkan di atas.Timeout-MAC (T-MAC) diusulkan untuk meningkatkan hasil buruk dari protokol S-MAC di bawah beban lalu lintas variabel Di T-MAC, periode mendengarkan berakhir ketika tidak ada peristiwa aktivasi yang terjadi untuk TA ambang waktu. Keputusan untuk TA disajikan bersama dengan beberapa solusi untuk masalah tidur awal yang didefinisikan dalam. Beban variabel dalam jaringan sensor diharapkan Meskipun T-MAC memberikan hasil yang lebih baik di bawah beban variabel ini, sinkronisasi periode mendengarkan dalam cluster virtual rusak.Ini adalah salah satu alasan untuk masalah tidur awal.

Dynamic Sensor-MAC (DSMAC) menambahkan fitur siklus tugas dinamis ke S-MAC. Tujuannya adalah untuk mengurangi latensi untuk aplikasi yang sensitif terhadap penundaan. Dalam periode SYNC, semua node berbagi nilai latensi satu hop mereka. (Waktu antara penerimaan paket ke dalam antrian dan transmisinya).



Gambar 11.7 Penggandaan siklus kerja DSMAC

Semua node mulai dengan siklus tugas yang sama. Gambar 11.7 secara konseptual menggambarkan penggandaan siklus tugas DSMAC. Ketika node penerima memperhatikan bahwa nilai latensi satu hop rata-rata adalah tinggi, Jika ada, ia memutuskan untuk menggandakannya memutuskan untuk mempersingkat waktu tidurnya dan mengumumkannya dalam periode SYNC. Dengan demikian, setelah node pengirim menerima sinyal penurunan periode tidur ini, ia memeriksa antriannya untuk paket yang ditujukan ke penerima itu node. Siklus tugas digandakan sehingga jadwal tetangga tidak akan terpengaruh. Latensi yang diamati dengan DSMAC lebih baik daripada yang diamati dengan S-MAC. Selain itu, juga terbukti memiliki b konsumsi daya rata-rata lebih baik per paket.

11.4.7 Integrasi MAC dengan Layer Lain

Penelitian terbatas telah dilakukan untuk mengintegrasikan lapisan jaringan yang berbeda ke dalam satu lapisan atau untuk mendapatkan manfaat dari interaksi lintas lapisan antara perutean dan lapisan MAC untuk jaringan sensor. Misalnya, Safwat et al. Mengusulkan dua algoritme perutean yang mendukung informasi tentang keberhasilan / kegagalan Penerimaan CTS atau ACK.

Cui et al Lihat integrasi lapisan MAC / fisik dan integrasi lapisan Routing / MAC / fisik Mereka mengusulkan skema TDMA panjang variabel di mana panjang slot ditetapkan sesuai dengan beberapa kriteria untuk konsumsi energi yang optimal dalam jaringan. Kriteria ini, yang paling penting adalah informasi tentang lalu lintas yang dihasilkan oleh setiap node dan jarak antara setiap pasangan node. Berdasarkan nilai-nilai ini, mereka merumuskan masalah Linear Programming (LP) di mana variabel keputusan dinormalisasi panjang slot waktu antara node.

Mereka memecahkan masalah LP ini menggunakan pemecah LP yang mengembalikan jumlah slot waktu optimal untuk setiap pasangan node serta keputusan perutean terkait untuk sistem. Solusi yang diusulkan dapat bermanfaat dalam skenario di mana data yang diperlukan akan disiapkan. Namun, umumnya sulit untuk memiliki informasi jarak node dan lalu lintas yang dihasilkan oleh node. Selain itu, pemecah LP hanya dapat dijalankan pada node yang kuat. c perilaku jaringan sensor akan membutuhkan keputusan online yang sangat mahal untuk dihitung dan sulit untuk beradaptasi dengan sistem yang ada.

Multi-hop Infrastructure Network Architecture (MINA) adalah metode lain untuk mengintegrasikan MAC dan protokol routing Ding et al.Mengusulkan arsitektur jaringan multi-hop berlapis di mana node jaringan dengan hop-count yang sama ke base station berada Akses saluran adalah protokol MAC berbasis TDMA yang dikombinasikan dengan CDMA atau FDMA. Super-frame terdiri dari paket kontrol, bingkai beacon, dan bingkai transmisi data. Beacon dan bingkai data diberi slot waktu Dalam arsitektur jaringan terklaster, semua anggota cluster mengirimkan permintaan transmisi mereka di slot beacon. Oleh karena itu, kepala cluster mengumumkan jadwal frame data.

Protokol routing adalah protokol multi-hop sederhana dimana setiap node memiliki node forwarder pada satu lapisan yang lebih dekat ke base station.Node penerusan dipilih dari kandidat berdasarkan energi sisa.Ding et al.Kemudian merumuskan alokasi saluran masalah sebagai masalah NP-lengkap dan mengusulkan solusi suboptimal Selain itu, jangkauan transmisi node sensor adalah variabel keputusan, karena mempengaruhi layering jaringan (perubahan hop-counts) Simulasi dijalankan untuk menemukan rentang nilai yang baik untuk skenario tertentu. Sistem yang diusulkan dalam adalah sistem MAC / Routing yang terdefinisi dengan baik. Namun, penyetelan parameter rentang merupakan tugas penting yang harus dilakukan pada inisialisasi sistem. Semua node Jalur -to-sink didefinisikan pada saat startup dan didefinisikan sebagai statis, karena penetapan frekuensi saluran dari node dilakukan pada saat startup yang sesuai. Hal ini membuat sistem tidak toleran terhadap kegagalan.

Geographic Random Forwarding (GeRaF) sebenarnya diusulkan sebagai protokol routing, tetapi algoritma MAC yang mendasari juga didefinisikan dalam pekerjaan, yang didasarkan pada CSMA / CA Pekerjaan ini memberikan solusi yang lengkap (tetapi tidak terintegrasi) Kesulitan dari sistem yang diusulkan adalah perlunya radio tambahan, yang digunakan untuk pengumuman nada sibuk.Rugin et al. dan Zorzi meningkatkan GeRaF dengan menguranginya menjadi sistem satu saluran.Namun, informasi lokasi node sensor dan tetangganya diperlukan untuk protokol tersebut. Selain itu, node penerusan dipilih di antara node yang terjaga pada saat permintaan transmisi. Hal ini dapat mengakibatkan perutean dengan konsumsi daya yang lebih besar dan peningkatan latensi .

11.5 Masalah Terbuka dan Kesimpulan

Gambar 11.8 memberikan perbandingan protokol MAC yang diselidiki. Judul kolom "Sinkronisasi Waktu Diperlukan" menunjukkan apakah protokol mengasumsikan bahwa sinkronisasi waktu dicapai secara eksternal dan "Adaptivity to Changes" menunjukkan kemampuan untuk menangani perubahan topologi. Kedua S-MAC varian, yaitu, T-MAC dan DSMAC, memiliki fitur yang sama dengan S-MAC (Gambar 11.4). Protokol lintas lapisan menyertakan lapisan tambahan selain lapisan MAC dan tidak dipertimbangkan dalam perbandingan ini. Meskipun ada berbagai MAC protokol lapisan yang diusulkan untuk jaringan sensor, tidak ada protokol yang diterima sebagai standar. Salah satu alasannya adalah bahwa pilihan protokol MAC akan, secara umum, bergantung pada aplikasi, yang berarti bahwa tidak akan ada satu MAC standar untuk jaringan sensor Alasan lain adalah kurangnya standarisasi pada lapisan bawah (lapisan fisik) dan perangkat keras sensor (fisik).

	Time sync needed	Comm. pattern support	Type	Adaptivity to changes
S-MAC/T-MAC/DSMAC	No	All	CSMA	Good
WiseMAC	No	All	np-CSMA	Good
TRAMA	Yes	All	TDMA/CSMA	Good
Sift	No	All	CSMA/CA	Good
DMAC	Yes	Convergecast	TDMA/Slotted Aloha	Weak

Gambar 11.8 Perbandingan protokol MAC

TDMA memiliki keuntungan alami dari akses media bebas tabrakan. Namun, ini mencakup masalah penyimpangan jam dan penurunan throughput pada beban lalu lintas rendah karena slot idle. Kesulitan dengan sistem TDMA adalah sinkronisasi node dan adaptasi terhadap perubahan topologi ketika perubahan ini terjadi. disebabkan oleh penyisipan node baru, kehabisan kapasitas baterai, link rusak karena gangguan, jadwal tidur node relay, dan penjadwalan yang disebabkan oleh algoritma clustering. Oleh karena itu, penetapan slot harus dilakukan dengan memperhatikan kemungkinan tersebut. tidak mudah untuk mengubah penetapan slot dalam lingkungan terdesentralisasi untuk TDMA tradisional, karena semua node harus menyetujui penetapan slot.

Sesuai dengan pengetahuan jaringan umum, metode CSMA memiliki penundaan yang lebih rendah dan potensi throughput yang menjanjikan pada beban lalu lintas yang lebih rendah, yang umumnya terjadi pada jaringan sensor nirkabel. Namun, metode penghindaran tabrakan atau deteksi tabrakan tambahan harus digunakan. FDMA adalah cara lain. skema yang menawarkan media bebas tabrakan, tetapi memerlukan sirkuit tambahan untuk berkomunikasi secara dinamis dengan saluran radio yang berbeda.Hal ini meningkatkan biaya node sensor, yang bertentangan dengan tujuan sistem jaringan sensor.

CDMA juga menawarkan media bebas tabrakan, tetapi kebutuhan komputasinya yang tinggi merupakan kendala utama untuk tujuan konsumsi energi yang lebih sedikit dari jaringan sensor.Dalam mengejar biaya komputasi yang rendah untuk jaringan sensor CDMA nirkabel, ada upaya terbatas untuk menyelidiki sumber dan skema modulasi, khususnya bentuk gelombang tanda tangan, merancang model penerima sederhana, dan masalah sinkronisasi sinyal lainnya.Jika ditunjukkan bahwa kompleksitas komputasi CDMA yang tinggi dapat ditukar dengan fitur penghindaran tabrakan, protokol CDMA juga dapat dipertimbangkan Kurangnya perbandingan TDMA, CSMA, atau protokol akses menengah lainnya dalam kerangka umum adalah kekurangan penting dari literatur.

Pengalaman jaringan nirkabel umum juga menunjukkan bahwa kinerja tingkat tautan saja dapat memberikan kesimpulan yang menyesatkan tentang kinerja sistem. Kesimpulan serupa dapat ditarik untuk lapisan atas juga. Misalnya, jalur perutean dapat dipilih tergantung pada informasi tabrakan dari lapisan akses menengah Selain itu, lapisan protokol jaringan menciptakan overhead untuk setiap lapisan, yang menyebabkan lebih banyak konsumsi energi untuk setiap paket. Oleh karena itu, integrasi lapisan juga merupakan bidang penelitian yang menjanjikan yang perlu dipelajari lebih luas.

BAB 12
AKSES MULTI-SALURAN JARINGAN NIRKABEL INDUSTRI BERBASIS STANDAR 802.11

12.1 Pendahuluan

Komunikasi kooperatif, yang dapat mencapai keragaman spasial dengan memanfaatkan antena virtual terdistribusi dari node kooperatif, telah menarik banyak perhatian karena kemampuannya untuk mengurangi fading di jaringan nirkabel.Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa keuntungan yang signifikan dapat diperoleh melalui komunikasi kooperatif dalam hal keandalan, jangkauan jangkauan, dan efisiensi energi.

Jaringan IEEE 802.11 memasuki fase baru dengan standarisasi IEEE 802.11s yang sedang berlangsung dan pengenalan teknologi Wi-Fi Direct baru-baru ini.Teknologi baru akan memungkinkan perangkat 802.11 untuk berkomunikasi langsung dengan mudah satu sama lain dengan membentuk jaringan mesh, yang akan terbuka Potensi penuh dari jalan ini terletak pada memungkinkan beberapa transmisi simultan di lingkungan radio tertentu, yang merupakan tantangan untuk jaringan 802.11 mesh saat ini berdasarkan arsitektur komunikasi saluran tunggal tetap Untuk mengatasi ini, teknik komunikasi multi-saluran sedang diselidiki untuk memungkinkan akses multi-channel di 802.11 mesh. Bab ini berfokus pada pemanfaatan praktis dari pendekatan kerjasama baru pada lapisan Media Access Control (MAC) untuk memungkinkan akses multi-channel di jaringan 802.11 mesh.CAMMAC-802.11 dan Interferensi Terdistribusi -Algoritma Aware Relay Selection (DIRS) telah diusulkan untuk IEEE 802.

Jaringan nirkabel berbasis 11 dengan beberapa pasangan sumber tujuan CAMMAC-802.11 adalah protokol baru yang menggunakan pendekatan baru untuk mengontrol kerjasama pesawat yang disebut *Distributed Information Sharing* (DISH), yang diperkenalkan untuk memecahkan Koordinasi Multi-Saluran (MCC) masalah Eksperimen dunia nyata dilakukan di testbed mesh untuk mengevaluasi kinerja protokol dan membandingkannya dengan IEEE 802.11 MAC.CAMMAC-802.11 adalah pilihan protokol yang layak untuk jaringan 802.11 mesh dan memang dapat menuai manfaat menggunakan banyak saluran.

Selain itu, untuk mengurangi dampak interferensi antar node, mengusulkan algoritma DIRS yang memilih node relai dengan pertimbangan: interferensi antar node dan kondisi saluran. Algoritma ini efisien seperti yang ditunjukkan oleh hasil simulasi dan juga praktis karena hanya membutuhkan informasi lokal daripada informasi topologi jaringan.Selain itu, untuk mengurangi delay end-to-end dan delay akses AP, sebuah cooper mekanisme asosiasi aktif telah diusulkan untuk mengelola jaringan mesh nirkabel.

12.2 Peningkatan Throughput

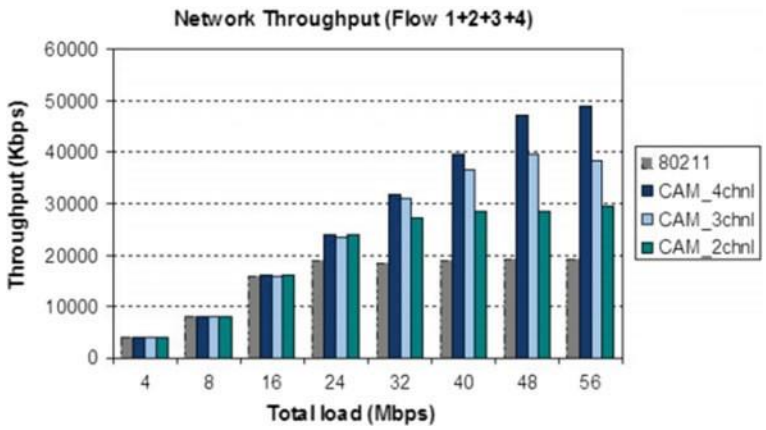
Maksimalisasi throughput merupakan tantangan utama untuk berbagai aplikasi di Jaringan Mesh Nirkabel (WMNs).Sebagai solusi potensial, komunikasi kooperatif, yang dapat meningkatkan kapasitas tautan dengan memanfaatkan keragaman spasial, telah menarik

banyak perhatian. CAMMAC-802.11 digunakan di sebagai metode untuk mempertahankan throughput pada tingkat tinggi dibandingkan dengan standar 802.11 yang khas, dan menggunakan antena directional sementara penulis di memperkenalkan algoritma khusus yang disebut NEgotiation-based Throughput Maximization Algoritma (NETMA) untuk memaksimalkan metrik ini.

12.2.1 CAMMAC-802.11

CAMMAC-802.11 menggunakan saluran kontrol untuk memungkinkan node untuk (1) bernegosiasi untuk saluran data, (2) node peringatan masalah MCC dan (3) berbagi informasi tetangga. Saluran kontrol dapat dari spektrum berlisensi atau pita tidak berlisensi. Jika tidak ada pita berlisensi yang tersedia dan saluran di pita tidak berlisensi terisi, jaringan CAMMAC-802.11 masih dapat menggunakan saluran yang paling sedikit terisi sebagai saluran kontrol, tetapi harus berbagi bandwidth dengan jaringan 802.11 lain yang ada di saluran tersebut. menggunakan lapisan fisik 802.11 (a / b / g / n) (PHY), sehingga bandwidth saluran standar, baik untuk saluran kontrol dan saluran data, akan berbasis PHY.

Untuk tujuan kerjasama, node memelihara tabel penggunaan spektrum Tabel tetangga berisi informasi tentang tetangga dan non node. Setiap entri terdiri dari alamat MAC Tx Rx, saluran data, dan waktu kedaluwarsa yang sesuai. Yaitu saluran lain yang tidak dapat mendengar satu sama lain. CAMMAC-802.11 dirancang khusus sebagai ekstensi multi-saluran dari IEEE 802.11 MAC. CAMMAC asli tidak dapat digunakan karena desainnya generik dan tidak kompatibel dengan 802.11 MAC Desain dan implementasi protokol CAMMAC-802.11 ditunjukkan dalam.

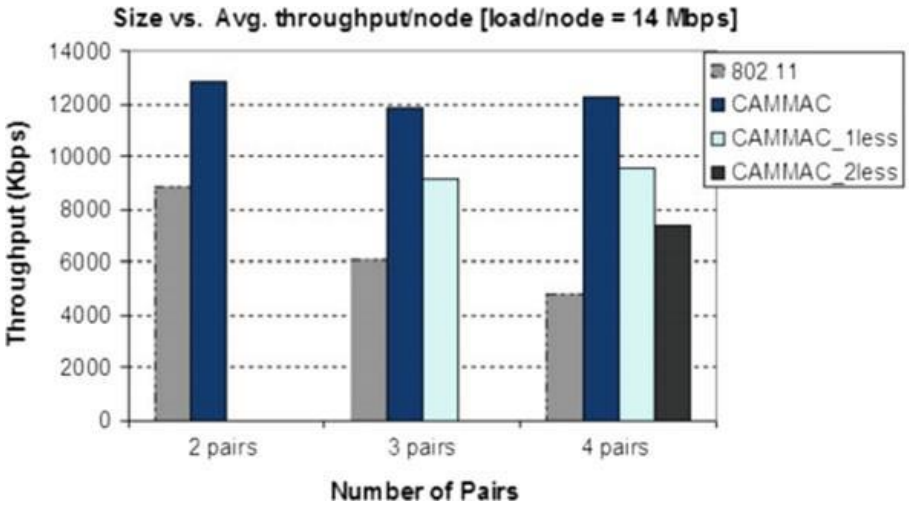


Gambar. 12.1 802.11 MAC versus CAMMAC-802.11 kinerja throughput

Empat percobaan dilakukan, satu berdasarkan 802.11 MAC yang menggunakan saluran tunggal dan yang lain berdasarkan CAMMAC-802.11 dengan 1 kontrol dan 4 (CAM 4chnl) / 3 (CAM 3chnl) / 2 (CAM 2chnl) saluran data. percobaan bebas dari konflik saluran karena saluran yang tersedia cukup untuk 4 pasang dan kami menggunakan strategi pemilihan saluran yang tepat (pilih saluran yang digunakan sebelumnya terlebih dahulu).Untuk percobaan CAM 3chnl dan CAM 2chnl, konflik dapat terjadi dalam jaringan karena kurangnya cukup saluran data. Dalam percobaan, kami menggunakan ukuran kereta 20 (TxOp (kesempatan transmisi) 11 ms) untuk CAMMAC-802.11. Hasil agregat terukur (Alur

1 + 2 + 3 + 4) ditunjukkan pada Gambar 12.1. ditunjukkan, kinerja CAMMAC-802.11 sedikit tertinggal dari 802.11 ketika beban lalu lintas (jumlah beban yang diterapkan pada 4 Tx) rendah (16 Mbps atau kurang).Hal ini karena untuk beban lalu lintas rendah ketika satu saluran cukup untuk pertikaian saluran dalam kasus 802.11, sesi kontrol dari CAMMAC-802.11 bertindak sebagai overhead dan menurunkan kinerja.

Pada Gambar 12.2, paper telah menyajikan hasil throughput per node dengan ukuran jaringan yang bervariasi (jumlah pasangan Tx-Rx) dan beban lalu lintas 14 Mbps per pemancar.Hasil CAMMAC-802.11 adalah untuk jumlah data yang bervariasi Untuk ukuran jaringan tertentu, kami memulai percobaan dengan jumlah saluran data yang sama dengan jumlah pasangan dan terus mengulangi percobaan dengan satu saluran data lebih sedikit hingga kami hanya memiliki dua saluran data yang tersisa. Untuk semua percobaan 802.11, kami menggunakan Hanya satu saluran data. Legenda CAMMAC_xless pada Gambar 12.2 mewakili eksperimen, di mana jumlah kanal data yang digunakan adalah x lebih sedikit dari jumlah pasangan dalam eksperimen.

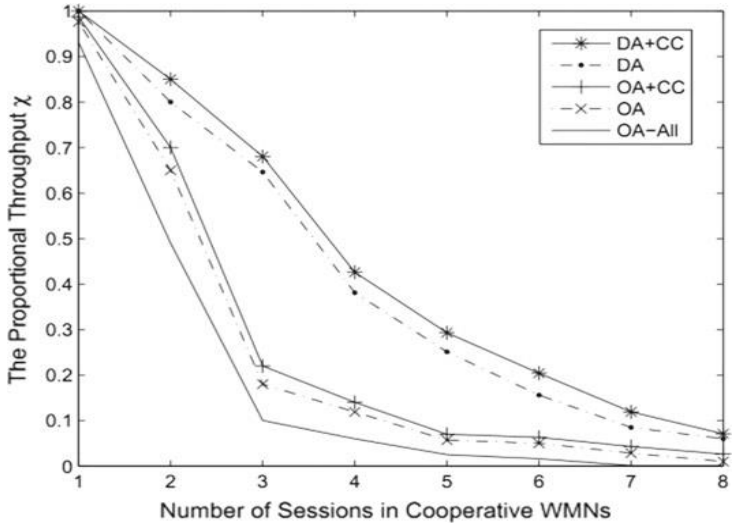


Gambar 12.2 Ukuran jaringan versus rata-rata Throughput / node

Misalnya, legenda CAMMAC (atau CAMMAC_0less) mewakili eksperimen dengan jumlah data saluran sama dengan jumlah pasangan Jika kita membandingkan 802.11 throughput untuk 2 pasang dengan throughput CAMMAC-802.11 di mana 4 pasang dengan 3 saluran data (CAMMAC_1less) dan CAMMAC-802.11 dibandingkan dengan 4 pasang dengan 2 saluran data (CAMMA) C_2less), kami menemukan bahwa throughput 802.11 berada di antara dan sebanding dengan throughput tanpa CAMMAC_2. Perlu diingat bahwa perangkat keras CAMMAC-802.11 akan berkinerja lebih baik, perbandingannya dapat secara kasar ditafsirkan sebagai: jika CAMMAC-802.11 memiliki n saluran, Ini menunjukkan keuntungan dari akses multi-saluran, dalam hal skalabilitas jaringan mesh, yang dapat mendukung n kali jumlah node yang didukung oleh standar 802.11 dengan throughput per node yang sebanding.

12.2.2 Menggunakan Antena Arah

Penelitian lanjut telah mempelajari masalah maksimalisasi throughput di WMNs kooperatif di bawah beberapa kendala (yaitu, pemilihan mode antena, pemilihan mode transmisi, penjadwalan tautan, dan perutean aliran). Mempertimbangkan fitur khusus antena directional dan komunikasi kooperatif, pertama kali memperluas link dan mengklasifikasikannya menjadi link kooperatif / link umum. Kemudian, tergantung pada strategi *beamforming* yang berbeda pada pemancar, itu membentuk grafik konflik kooperatif untuk menggambarkan hubungan interferensi antara link yang diperluas. Setelah itu, secara matematis merumuskan throughput ujung ke ujung Dengan simulasi numerik, kami menunjukkan bahwa skema, di mana pemancar beamform ke penerima dan komunikasi kooperatif dipertimbangkan, lebih baik daripada skema lain dalam hal throughput end-to-end di WMNs kooperatif.



Gambar 12.3 Perbandingan kinerja skema yang berbeda dengan mode antena dan mode transmisi yang berbeda dalam WMN kooperatif multi-hop: 20 node

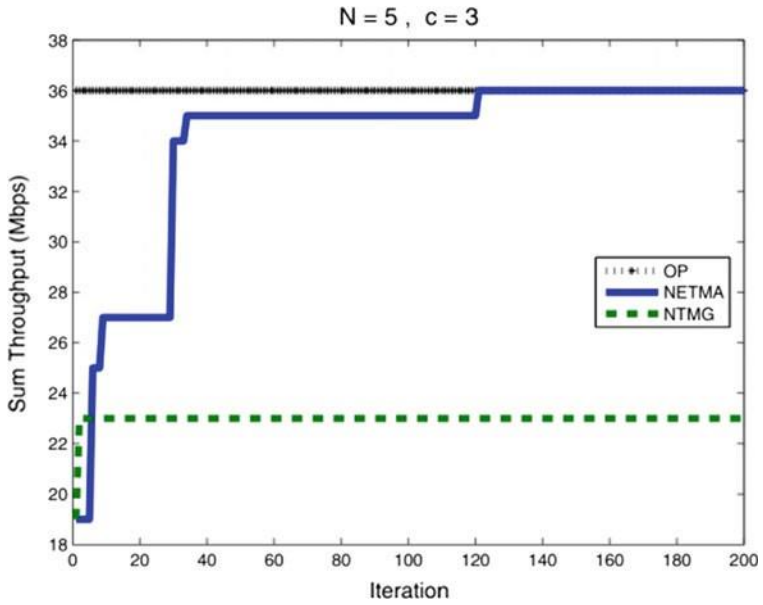
Pada Gambar 12.3, kami membandingkan kinerja throughput dari skema yang berbeda dengan kombinasi yang berbeda dari strategi beamforming dan mode transmisi di WMNs kooperatif *multi-hop* Pertimbangan pemilihan mode antena dan pemilihan mode transmisi, di mana pemancar menggunakan antena directional dan beamform ke penerima di DA + CC, dan pemancar menggunakan antena omnidirectional di OA + CC; Throughput DA dan OA skema hanya mempertimbangkan pemilihan mode antena, di mana antena directional dan antena omnidirectional digunakan oleh pemancar di jaringan, masing-masing; OA-Perhatikan skema tanpa pertimbangan pemilihan mode antena atau pemilihan mode transmisi, di mana semua node menggunakan antena omni-directional untuk transmisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.3, DA + CC mengungguli skema lain dalam hal throughput end-to-end di WMNs kooperatif.

Tidak heran O A-All memiliki kinerja terburuk karena hanya mempertimbangkan penjadwalan tautan tradisional dan perutean aliran, dan tidak memperhatikan pemilihan mode transmisi atau pemilihan mode antena. OA lebih baik daripada OA-All dalam arti bahwa OA memungkinkan penerima untuk beamform ke pemancar. OA lebih rendah

daripada OA + CC karena OA mengabaikan peluang komunikasi kooperatif. Meskipun DA mengabaikan komunikasi kooperatif juga, ia masih lebih unggul dari OA + CC karena perolehan throughput trunking yang dibawa oleh antena directional dari Dibandingkan dengan DA dan OA + CC, DA + CC lebih meningkatkan throughput end-to-end di WMNs kooperatif, meskipun DA + CC mengorbankan peluang untuk menggunakan relai kooperatif potensial di luar area beamforming dari pemancar.

12.2.3 Algoritma Maksimalisasi Throughput Berbasis Negosiasi

Untuk kasus titik akses kooperatif, penulis dalam mempresentasikan Algoritma Maksimalisasi Throughput Berbasis Negosiasi (NETMA), yang menyesuaikan frekuensi operasi dan tingkat daya di antara titik akses secara mandiri, dari perspektif teori permainan. konvergen ke frekuensi optimal dan penugasan daya yang menghasilkan throughput keseluruhan maksimum dengan probabilitas tinggi yang efisien. Selain itu, mereka menganalisis skenario di mana titik akses milik entitas regulasi yang berbeda dan karenanya tidak kooperatif.



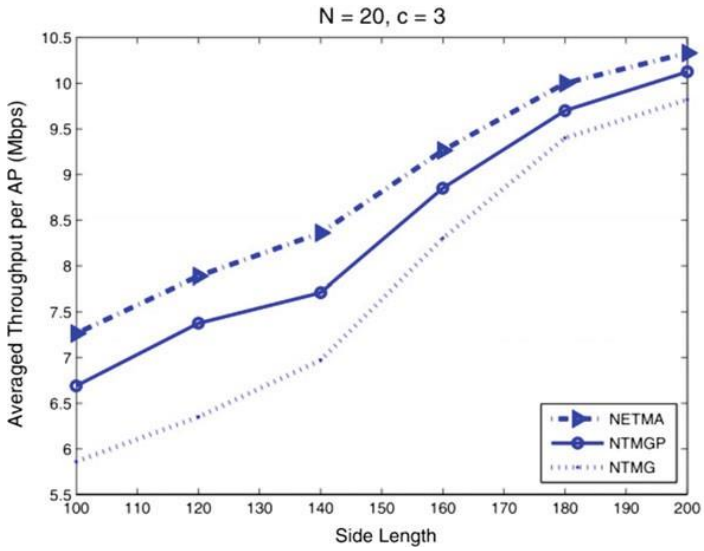
Gambar 12.4 Evaluasi kinerja jaringan akses mesh nirkabel dengan N = 5 dan c = 3

NETMA konvergen ke solusi optimal dengan probabilitas yang sama tinggi. Untuk skenario nonkooperatif, penulis menunjukkan keberadaan dan inefisiensi keseimbangan Nash karena perilaku egois. Untuk menjembatani kesenjangan kinerja, kami mengusulkan skema penetapan harga linier yang sangat meningkatkan kinerja hasil analisis diverifikasi dengan simulasi.

Seperti yang ditunjukkan oleh kurva OP, optimum global yang diperoleh dengan pendekatan enumerasi berfungsi sebagai batas atas dari keseluruhan throughput. Pada Gambar 12.4, kami mengamati bahwa NETMA secara bertahap mengejar optimal global saat negosiasi berjalan. Seperti yang diharapkan, AP nonkooperatif menghasilkan kinerja yang sangat rendah dalam hal throughput keseluruhan, digambarkan oleh kurva *Noncooperative Throughput Maximizing Game* (NTMG). Inefisiensi ini disebabkan oleh perilaku egois yang ditransmisikan AP pada daya maksimum dan terlepas dari interferensi.keseimbangan di

kedua *Cooperative Throughput Maximization Game* (CTMG) dan NTMG dibuktikan dengan konvergensi kurva pada Gambar 12.4.

Gambar 12.5 menggambarkan inefisiensi kinerja NTMG yang disebabkan oleh AP nonkooperatif, yang mentransmisikan pada daya maksimum.Troughput rata-rata per AP dihitung dengan rata-rata hasil 50 simulasi, untuk setiap nilai panjang sisi d. 12.5, perlu diperhatikan bahwa semakin panjang sisi d, kesenjangan kinerja antara NETMA dan NTMG berkurang, alasannya adalah ketika area besar, dampak interferensi timbal balik kurang parah dan begitu juga kinerjanya. , ketika jaringan ramai, perilaku egois sangat merusak.Peningkatan throughput diilustrasikan sebagai Game Maksimalisasi Throughput Nonkooperatif dengan Harga (NTMGP) pada Gambar 12.5. Terlihat bahwa dengan memanfaatkan skema penetapan harga yang diusulkan, Efisiensi Keseimbangan Nash meningkat secara dramatis, terutama untuk jaringan yang ramai, Oleh karena itu, insentif egois dari AP nonkooperatif telah ditekan secara efektif.



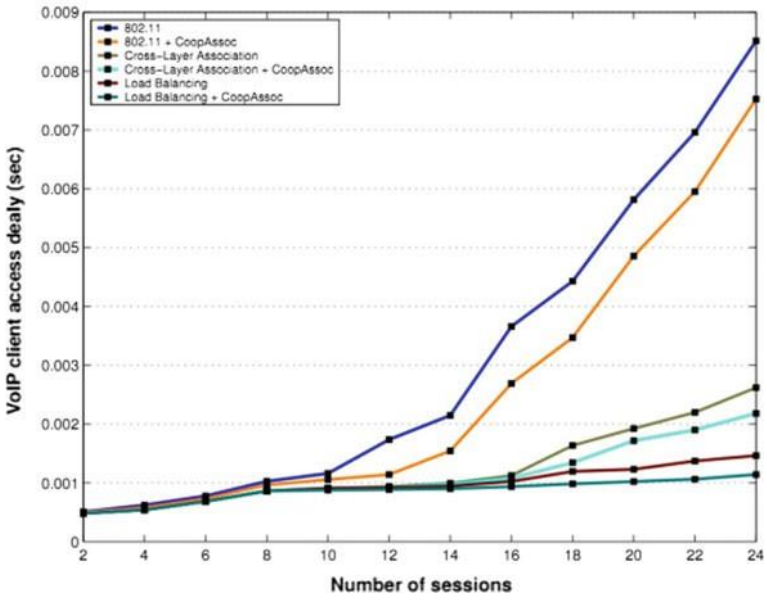
Gambar 12.5 Evaluasi kinerja jaringan akses mesh nirkabel dengan N = 20 dan c = 3

12.3 Penundaan Akses

Konsep asosiasi kooperatif diperkenalkan, di mana stasiun (STA) dapat berbagi informasi yang berguna untuk meningkatkan kinerja prosedur asosiasi / handoff. Prosedur asosiasi / handoff merupakan komponen penting dalam operasi yang seimbang dari 802.11 jaringan mesh nirkabel berbasis. Selanjutnya, memperkenalkan mekanisme load-balancing yang dapat mengontrol beban komunikasi setiap AP mesh secara terdistribusi. Ini telah mensimulasikan aplikasi VoIP di jaringan mesh nirkabel berbasis 802.11. skenario simulasi yang berbeda, di mana kami memvariasikan jumlah sesi VoIP yang didukung secara paralel.

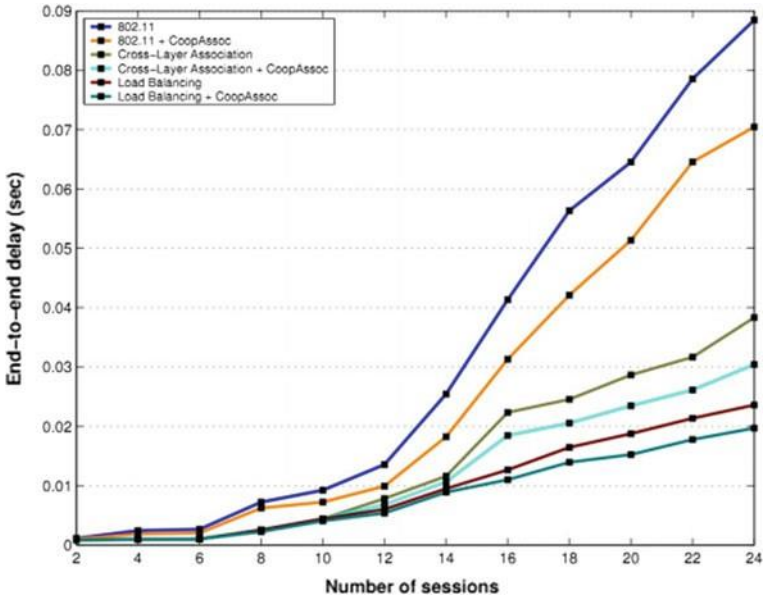
Pertama-tama, kami mengukur rata-rata penundaan akses klien lokal dalam jaringan. Dalam praktiknya, penundaan ini mencerminkan waktu dari saat paket dibuat hingga meninggalkan antarmuka klien. Gambar 12.6 menggambarkan rata-rata penundaan akses klien VoIP. Beban- mekanisme penyeimbangan (ditingkatkan dengan kerja sama) mencapai penundaan akses klien yang lebih rendah di jaringan. Mekanisme penyeimbang beban

meminimalkan penundaan akses saluran, sementara itu memberikan pernapasan sel ke sel yang kelebihan beban. STA terkait dikaitkan secara optimal untuk mempertahankan operasi jaringan yang seimbang Oleh karena itu, mekanisme penyeimbangan beban menjaga penundaan akses klien di tingkat rendah sementara operasi 802.11 tradisional membebani jaringan dan penundaan akses klien terus meningkat. Dalam kondisi beban tinggi, peningkatan penundaan yang diperkenalkan oleh mekanisme load balancing cukup mengesankan.

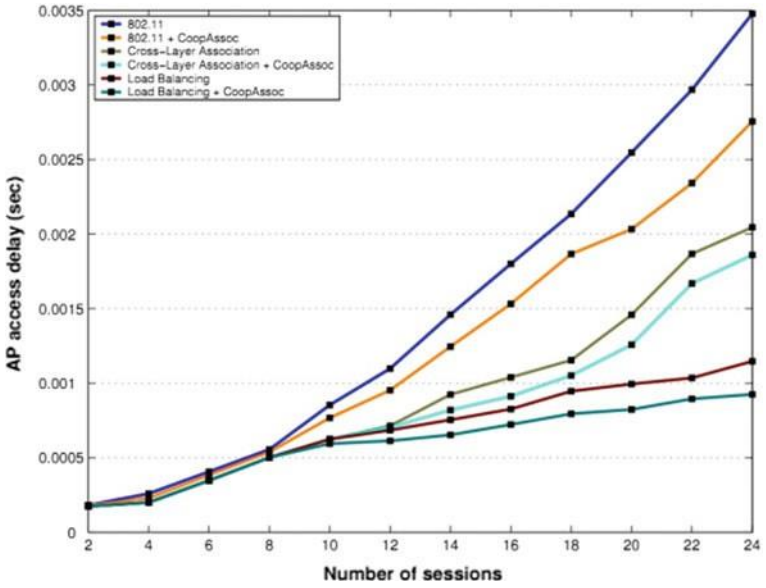


Gambar 12.6 Rata-rata penundaan VoIP

Gambar 12.7 menggambarkan rata-rata tundaan akses AP VoIP lokal dalam jaringan. Penundaan ini adalah waktu antara kedatangan paket VoIP ke AP sampai paket tersebut berhasil ditransmisikan melalui jaringan mesh nirkabel atau terputus. Jelas bahwa kita mendapatkan Mekanisme *load-balancing* (ditingkatkan dengan kerjasama) memiliki kinerja terbaik.Pada 802.11, AP yang kelebihan beban (dalam kondisi beban tinggi) memiliki banyak lalu lintas untuk diteruskan ke jaringan backhaul mesh.Konsekuensi utama adalah paket VoIP harus menunggu lama untuk ditransmisikan oleh AP, dengan cara ini menyebabkan penundaan akses AP yang sangat besar.



Gambar 12.7 Rata-rata penundaan akses AP



Gambar 12.8 Rata-rata keterlambatan ujung ke ujung

Pada Gambar 12.8, kami mengamati rata-rata end-to-end delay dalam pengiriman paket VoIP. End-to-end delay dipengaruhi oleh dua jenis delay sebelumnya yang telah kami jelaskan secara rinci dan delay routing yang Mekanisme load-balancing (ditingkatkan dengan kerja sama) mencapai penundaan ujung-ke-ujung yang lebih rendah di jaringan. Terutama dalam operasi jaringan beban tinggi, peningkatan penundaan sangat besar. Peningkatan ini benar karena Hasil yang paling menarik digambarkan pada Gambar. 12.8, operasi 802.11 murni dapat mendukung paling banyak 14 sesi secara paralel sedangkan mekanisme penyeimbang beban yang diusulkan memiliki kemampuan untuk mendukung 24 sesi secara paralel. Oleh karena itu, kami memperoleh sekitar 72,5% kinerja jaringan peningkatan kemampuan Kemampuan jaringan diperluas dengan menggunakan mekanisme penyeimbang beban yang canggih.

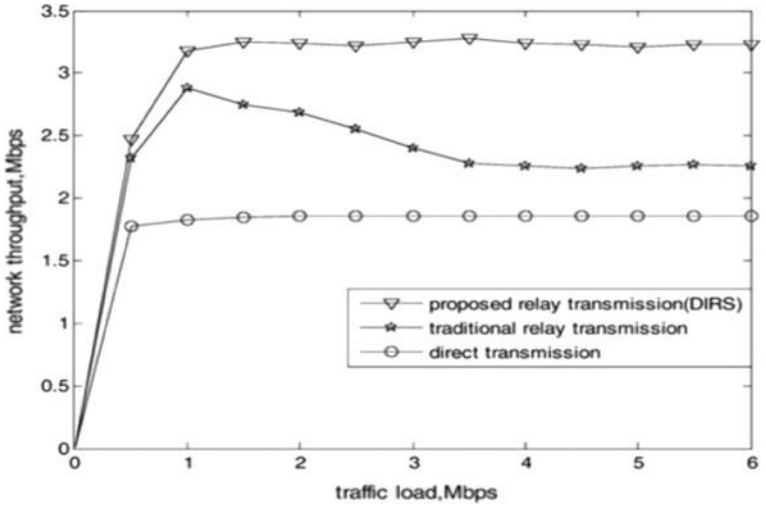
12.4 Mengurangi Dampak Interferensi Antar-simpul

Makalah mempelajari pemilihan relai interferensi-sadar untuk jaringan nirkabel berbasis IEEE 802.11 DCF dengan beberapa pasangan sumber-tujuan aktif Ini pertama-tama menggambarkan bahwa pemilihan relai tanpa mempertimbangkan interferensi antar-simpul akan menurunkan daripada meningkatkan kinerja jaringan dalam beberapa kasus Di bawah algoritma DIRS, setiap pasangan sumber-tujuan hanya memerlukan informasi lokal untuk memilih node relay secara independen tanpa pengetahuan topologi jaringan.Melalui simulasi, ini menunjukkan efektivitas algoritma DIRS yang diusulkan dan menggambarkan bahwa interferensi antar-node dapat dimitigasi dengan memilih relai secara efektif menggunakan DIRS.

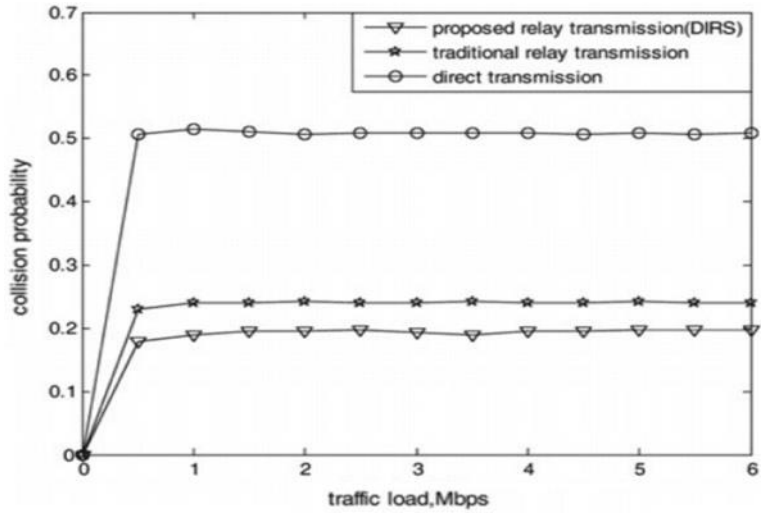
Gambar 12.9 mengungkapkan total throughput jaringan yang bervariasi dengan beban lalu lintas node sumber yaitu nilai x. Seiring dengan peningkatan beban lalu lintas setiap node, total throughput jaringan dari tiga pendekatan: transmisi relai yang kami usulkan, transmisi langsung, dan transmisi relai tradisional semua meningkat hingga saturasi, bagaimanapun, transmisi relai yang diusulkan selalu secara signifikan mengungguli transmisi langsung dan transmisi relai tradisional.Pada Gambar 12.9, perlu ditunjukkan fakta bahwa dalam kasus tertentu transmisi relai tradisional, total throughput jaringan menurun secara signifikan

Hal ini karena fakta bahwa mode transmisi relai tradisional, mengeksploitasi algoritma pemilihan relai yang murni berdasarkan kondisi saluran nirkabel dan tanpa mempertimbangkan interferensi antar-node. Ini mengabaikan dampak interferensi antar-node yang diterjemahkan ke dalam penurunan yang dihasilkan. di sepanjang ghput yang dapat kita hargai dalam grafik dan yang akan sangat mempengaruhi kinerja jaringan dari jaringan kooperatif dengan lalu lintas jaringan yang tinggi.Algoritme yang diusulkan (DIRS) mengatasi ini dengan memperhitungkan interferensi antar-simpul saat melakukan transmisi relai.

Gambar 12.10 menggambarkan probabilitas tabrakan yang mengadopsi tiga mode transmisi yang berbeda.Probabilitas tabrakan dari transmisi relai yang diusulkan, transmisi langsung, dan transmisi relai tradisional semuanya stabil seiring dengan peningkatan beban lalu lintas node sumber, namun, pertimbangan interferensi antar node oleh transmisi relai yang diusulkan menghasilkan probabilitas tabrakan yang selalu lebih rendah daripada transmisi langsung dan transmisi relai tradisional.Studi simulasi di bagian ini, di satu sisi, menunjukkan efektivitas algoritma DIRS yang diusulkan dan di sisi lain, mereka juga menggambarkan bahwa interferensi antar-simpul dapat dikurangi dengan memilih relai secara efektif dengan mempertimbangkan kondisi saluran nirkabel dan Rasio Idle Saluran (CIR) di jaringan nirkabel berbasis fungsi koordinasi terdistribusi (DCF) IEEE 802.11 dengan beberapa pasangan sumber-tujuan.



Gambar 12.9 Perbandingan throughput jaringan dari mode transmisi yang berbeda



Gambar 12.10 Probabilitas tabrakan mengadopsi tiga mode transmisi yang berbeda

12.5 Kesimpulan

Dalam bab ini, dengan menggunakan CAMMAC-802.11, throughput jaringan mesh nirkabel industri dapat ditingkatkan. Kita juga dapat mencapai keuntungan ini dengan menggunakan antena arah dan algoritma maksimalisasi throughput berbasis negosiasi. Untuk menghilangkan penundaan asosiasi / resonansi, aspek lain dari bab ini adalah bahwa interferensi antar-simpul dapat dikurangi dengan memilih relai secara efektif menggunakan DIRS. Di masa mendatang, kami akan fokus pada kombinasi metode untuk mendapatkan hasil yang jauh lebih efektif dan mempertimbangkan algoritme dan protokol dalam saluran yang tumpang tindih dan driver sumber terbuka Linux.

BAB 13
KONTROL AKSES MENENGAH 802.11 DCF DAN PCF
PERBANDINGAN KINERJA

13.1 Pendahuluan

Saat ini, standar 802.11 secara bertahap memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari maupun di industri dengan berbagai aplikasi dan keunggulan seperti biaya rendah, penyebaran cepat, konfigurasi fleksibel, dukungan mobilitas pengguna, dll. Dengan demikian, 802.11 juga menarik banyak perhatian. peneliti Seiring dengan evolusi standar ini dari 802.11 b, g, n ke ac, perbedaan utama adalah dalam metode modulasi dan peningkatan pada lapisan PHY, mekanisme kontrol akses menengah hampir tidak berubah kecuali HCF yang merupakan mekanisme opsional untuk aplikasi yang sensitif terhadap penundaan. diperlukan untuk standar 802.11 kinerja yang lebih tinggi ketika peningkatan pada lapisan PHY lebih mendekati batasan teoritis.

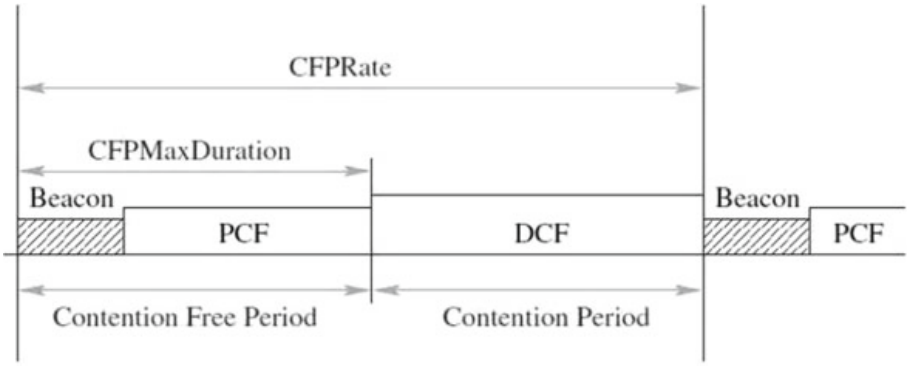
Ada dua mekanisme akses berbeda yang banyak digunakan untuk mendapatkan akses ke media nirkabel bersama: mekanisme akses dasar, yang disebut Distributed Coordinate Function (DCF), dan mekanisme akses yang dikendalikan secara terpusat, yang disebut Point Coordinate Function (PCF). mengimplementasikan algoritma Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA / CA) dengan algoritma backoff eksponensial biner untuk mengakses media. Mekanisme ini menyediakan jenis layanan upaya terbaik untuk transfer data. DCF menggunakan handshaking dua arah atau empat. Di PCF, titik akses dalam setiap jaringan Basic Service Set (BSS) melakukan peran sebagai Point Coordinator (PC).Setiap superframe terdiri dari Contention Period (CP), di mana DCF digunakan dan Contention-Free Period (CFP) dimana PC Digunakan F. Bersama-sama CFP dan CP diulang setelah setiap CFP Repetition Interval (CFPR).PCF harus berdampingan dengan metode DCF.Dengan demikian periode PCF akan terjadi secara berkala.

13.2 Protokol Akses Media IEEE 802.11

Bagian ini secara singkat membahas protokol akses media IEEE 802.11 Standar 802.11 menetapkan Layer Medium Access Control (MAC) umum, yang menyediakan berbagai fungsi yang mendukung pengoperasian LAN nirkabel berbasis 802.11. Layer MAC bertanggung jawab untuk mengkoordinasikan Standar lapisan fisik seperti IEEE 802.11, 802.11a dan 802.11b berbagi arsitektur lapisan MAC yang sama.Lapisan MAC 802.11 menggunakan lapisan PHY 802.11 untuk penginderaan pembawa, transmisi, dan menerima bingkai 802.11.Lapisan MAC 802.11 mendefinisikan dua mode operasi: Fungsi Koordinat Terdistribusi (DCF) dan Fungsi Koordinat Titik (PCF) (Gambar. 13.1).

Dalam saluran nirkabel, transmisi dipisahkan oleh celah antar-paket yang dikenal sebagai Inter-Frame Spaces (IFS). Akses saluran diberikan berdasarkan kelas prioritas yang berbeda. Kelas-kelas ini dipetakan pada durasi celah yang berbeda. Distributed-IFS (DIFS, juga dikenal Sementara SIFS adalah durasi waktu terpendek, seperti ruang antar-bingkai

DCF), Priority-IFS (PIFS, juga dikenal sebagai jarak antar-bingkai PCF), dan Short-IFS (SIFS) adalah interval waktu berbeda yang digunakan dalam domain nirkabel Selain itu, IEEE 802.11 MAC menggunakan teknik lain berdasarkan mekanisme penginderaan pembawa virtual untuk melawan tabrakan.Teknik ini menggunakan entitas khusus yang dikenal sebagai Network Allocation Vector (NAV) Node yang mentransmisikan frame akan menyertakan durasi transmisi yang tersisa, yaitu disalin ke nilai NAV oleh n. Node yang mentransmisikan frame akan menyertakan durasi transmisi yang tersisa, yang disalin ke nilai NAV oleh n. node yang sedang mengirim. Sebuah node tidak diperbolehkan untuk mentransmisikan ketika nilai NAV bukan nol bahkan dalam kasus operasi CSMA mengungkapkan saluran yang menganggur. Kerangka waktu dan nilai NAV ini digunakan di DCF dan PCF untuk menyediakan bebas tabrakan penularan.



Gambar 13.1 DCF dan PCF superframe IEEE 802.11

13.2.1 Fungsi Koordinat Terdistribusi (DCF)

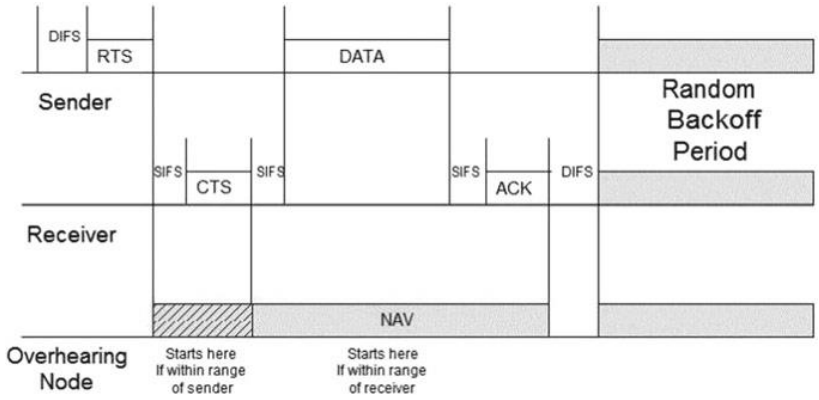
DCF menggunakan mekanisme carrier sense multiple access dengan mekanisme penghindaran tabrakan (CSMA / CA) untuk mengakses saluran. Selain itu, DCF juga menyertakan mekanisme backoff acak eksponensial biner untuk memastikan kemungkinan tabrakan yang rendah. Hal ini terkenal karena transmisi data asinkronnya (atau yang terbaik) -effort service). DCF adalah mekanisme akses media dasar untuk mode ad hoc dan infrastruktur. Dalam mode DCF, stasiun harus memastikan bahwa media bebas sebelum mulai mentransmisikan data melalui saluran. Dalam kasus saluran sibuk , Selain itu, node harus menunggu sejumlah waktu IFS lainnya untuk menyediakan celah yang cukup antara transmisi frame berikutnya.

Node yang beroperasi dalam mode DCF menggunakan ruang antar-bingkai terdistribusi (DIFS) (biasanya 50 ms untuk 802.11b) untuk mengirimkan frame MAC. Ada dua aturan dasar yang harus diikuti oleh setiap node yang beroperasi dalam mode DCF. Pertama setiap stasiun yang memiliki data untuk ditransmisikan harus mengkonfirmasi bahwa saluran itu menganggur setidaknya selama jumlah waktu DIFS Kedua, ia harus menunggu sejumlah waktu acak ketika memiliki datagram lain untuk ditransmisikan setelah transmisi berhasil atau memiliki datagram untuk ditransmisikan tetapi Itu ditolak akses saluran, karena saluran sedang sibuk. Lebih khusus lagi, stasiun memilih nomor acak yang disebut waktu backoff, dalam kisaran 0 dan jendela pertentangan (CW). Setiap kali operasi indera pembawa

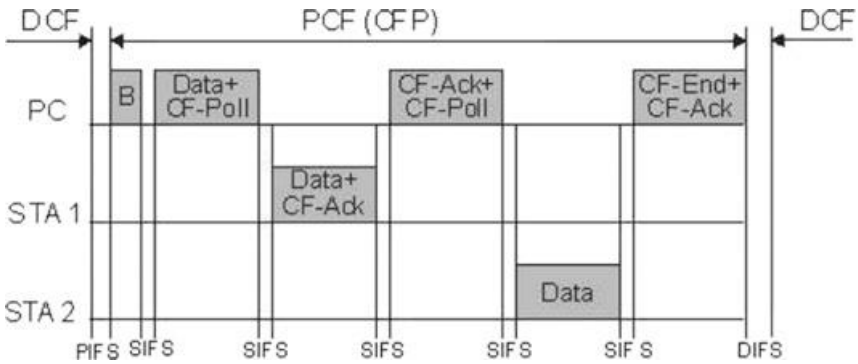
mendeteksi media yang menganggur, Jika tabrakan terjadi setelah berakhirnya timer backoff, CW digandakan dan prosedur backoff baru akan dimulai.

Standar IEEE 802.11b menentukan transmisi pengakuan untuk setiap penerimaan datagram yang berhasil. Ini akan memungkinkan pemancar untuk mendeteksi tabrakan dan mengirim ulang data. Pemancar mengharapkan pengakuan dalam kerangka waktu SIFS. Hanya setelah menerima bingkai ACK dengan benar, pemancar Kerangka waktu SIFS dan DIFS memungkinkan pasangan yang berkomunikasi untuk menyelesaikan urutan pertukaran bingkai tanpa tabrakan Gambar 13.2 menjelaskan berbagai fase yang terlibat dalam mode DCF Dapat diamati bahwa transmisi data harus melalui fase seperti penangguhan DIFS, pertentangan fase, transmisi data, penangguhan SIFS, dan fase transmisi ACK sebelum menyelesaikan pertukaran bingkai.

Sementara DCF adil dengan semua node yang ada di jaringan, DCF tidak bekerja dengan baik dengan node yang mengirim / menerima lalu lintas multimedia.Hal ini karena fakta bahwa setiap node harus bersaing untuk media dalam hal ini node dengan lalu lintas multimedia penulis telah menyimpulkan bahwa meskipun DCF menyediakan akses saluran bebas kebuntuan, ada kemungkinan bahwa sebuah node mungkin benar-benar kekurangan akses saluran.



Gambar 13.2 Contoh untuk fungsi koordinasi terdistribusi



Gambar 13.3 Contoh fungsi koordinasi titik

13.2.2 Fungsi Koordinat Titik (PCF)

PCF adalah kemampuan opsional yang menyediakan transfer frame bebas konflik. Dalam BSS, *Access Point* (AP) juga menjalankan fungsi *Point Coordinator* (PC). Semua stasiun harus mematuhi aturan akses media PCF, karena Aturan-aturan ini didasarkan pada DCF, dan

mereka menetapkan NAV-nya di awal setiap Periode Bebas Pertikaian (CFP) Gambar 13.3 menunjukkan cara kerja mekanisme PCF.

PC aktif harus hadir dengan AP, yang membatasi operasi PCF ke jaringan infrastruktur. Frame data yang dikirim oleh, atau sebagai tanggapan terhadap polling oleh, PC selama CFP harus menggunakan subtipe data yang sesuai. Untuk memulai CFP, PC memperoleh Jika PC memiliki beberapa data untuk dikirim ke node kemudian mengirimkan data D1 bersama. Ini adalah bingkai kontrol yang memiliki semua atribut yang digunakan dalam periode CFP. Hanya stasiun-stasiun yang PCF diaktifkan yang merespons CF-POLL. Dengan cara ini , PC membuat daftar polling dari semua node yang mendukung PCF. Daftar ini diatur menurut alamat MAC node.

Setelah menerima CF-POLL, stasiun menunggu periode waktu SIFS dan kemudian merespons dengan bingkai data U1 bersama dengan pengakuan data D1 yang diterima atau jika mereka tidak memiliki data untuk dikirim maka mereka akan mengirim bingkai nol untuk melepaskan media. D1 tidak menunggu stasiun PCF yang tidak memiliki data untuk dikirim Setelah menunggu periode SIFS, jika PC tidak menerima data atau null frame maka akan mengulang polling dari node yang sama. Node tersebut disurvei terlebih dahulu pada periode CFP berikutnya dan proses yang sama berulang pada periode CFP berikutnya. Kemudian node tersebut turun pada periode CFP tersebut dan pindah ke stasiun berikutnya. Ukuran maksimum CFP akan menentukan CF-Max- Bidang durasi yang juga dapat diatur.Interval pengulangan CFP digunakan untuk menentukan frekuensi terjadinya PCF.

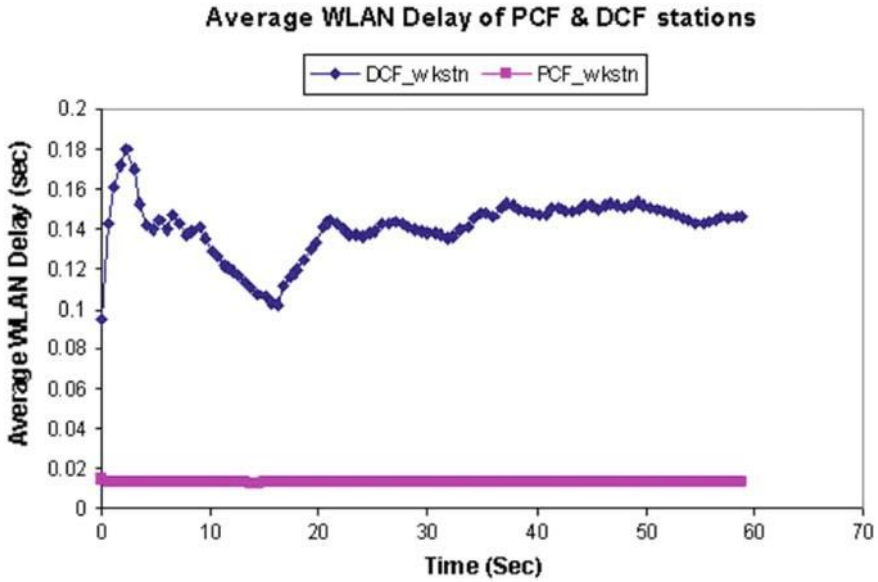
Karakteristik operasi PCF sedemikian rupa sehingga semua stasiun dapat beroperasi dengan baik di hadapan BSS di mana PC beroperasi, dan, jika dikaitkan dengan BSS terkoordinasi titik, dapat menerima semua frame yang dikirim di bawah kendali PCF. Stasiun yang mampu merespon CF-Polls disebut sebagai CF-Pollable, dan dapat meminta untuk dipolling oleh PC yang aktif. Stasiun CF-Pollable dan PC tidak menggunakan RTS/CTS dalam CFP. penerima yang dituju dari transmisi CF tidak CF-Pollable, stasiun tersebut mengakui transmisi menggunakan aturan peringatan DCF, dan PC tetap mengontrol media.

13.3 Perbandingan Kinerja

Bagian ini memberikan perbandingan DCF dan PCF dalam hal delay akses dan throughput.Melalui perbandingan dan hasil simulasi, karakteristik DCF dan PCF akan terlihat lebih jelas.

Dalam skenario yang dipertimbangkan pertama, hasil simulasi membandingkan penundaan rata-rata WLAN stasiun PCF dan DCF Karena mereka tidak memiliki pertentangan saat mengakses media dan membutuhkan lebih sedikit transmisi ulang, penundaan yang dialami oleh paket yang diterima oleh stasiun PCF secara signifikan lebih rendah dari penundaan paket DCF seperti pada Gambar 13.4. Selain itu, stasiun PCF juga mengamati lebih sedikit variasi dalam nilai penundaan paket yang diterima, yang dapat menjadi persyaratan kualitas utama untuk beberapa jenis aplikasi. Fluktuasi penundaan DCF karena berbagai backoff Namun, semua stasiun dalam simulasi aktif dan STA yang tidak aktif tidak disebutkan.

Dalam pendekatan lain, analisis teoretis menggambarkan bahwa dalam lingkungan praktis PCF menemui masalah tentang overhead polling. Terutama, ia memiliki banyak STA tidak aktif dalam jangkauan PC. Karena PC adalah koordinator pusat yang menjadwalkan akses saluran untuk Pada awal CFP, ia mengumpulkan semua stasiun dalam mode Round-Robin. STA yang menerima polling merespons kembali, baik dengan mengirimkan data atau bingkai data nol. Dengan demikian, banyak stasiun yang tidak aktif. menyebabkan overhead yang signifikan karena banyak bingkai nol yang ditransmisikan.Waktu overhead dapat dihitung sebagai berikut:



Gambar 13.4 Rata-rata penundaan WLAN untuk PCF terhadap stasiun DCF

$$T_{\text{PollFail}} = T_{\text{Poll}} + \text{SIFS} + T_{\text{Null}} + \text{SIFS} \qquad (1.1)$$

Overhead polling juga dipengaruhi oleh ukuran paket: ukuran paket yang lebih besar, overhead polling yang lebih rendah. Karena dengan ukuran paket yang besar, STA aktif merebut saluran dalam waktu lebih lama dan kemudian rasio T PollFail berkurang. Setiap metode kontrol akses media memiliki keunggulan dibandingkan PCF membutuhkan kinerja yang lebih tinggi dalam transmisi kepadatan tinggi daripada DCF, tetapi lingkungan memiliki banyak STA yang tidak aktif, PCF memenuhi masalah overhead polling yang menyebabkan pemborosan waktu akses menengah serta sumber daya pemrosesan dan energi PC, STA. lebih sedikit sumber daya, memiliki penundaan yang lebih baik dalam kepadatan transmisi yang rendah terlepas dari jumlah node yang tidak aktif, tetapi karena pertentangan, kinerja DCF akan turun ketika jumlah node aktif meningkat.

13.4 Kesimpulan

Bab ini merinci karakteristik DCF dan PCF —dua mekanisme akses saluran penting di IEEE 802.11 Tinjauan tentang 802.11 MAC diperkenalkan terlebih dahulu, kemudian mekanisme PCF dan DCF dijelaskan secara rinci di Bagian 13.2. Juga, bab ini menyajikan perbandingan antara DCF PCF dalam dua skenario Hasil simulasi serta hasil analisis teoritis

menyoroti keuntungan dan masalah mekanisme akses dalam setiap kasus Melalui perbandingan ini, studi baru tentang koeksistensi optimal DCF dan PCF di IEEE 802.11 dapat diselidiki node tidak aktif untuk lebih baik kinerja, dan periode pertentangan adaptif dapat mengambil keuntungan dari mekanisme DCF.

BAB 14
TEKNOLOGI ULTRA-WIDEBAND DAN APLIKASINYA

14.1 Pendahuluan

Ultra-Wideband (UWB) adalah teknologi yang diantisipasi untuk mendominasi pasar jaringan rumah dan akhirnya memberikan alternatif LAN yang murah kepada operator. Ini menawarkan kecepatan data yang sangat tinggi, daya rendah, biaya lebih murah. UWB menyediakan 100 kali kecepatan data solusi Bluetooth dan memungkinkan transmisi data dalam jumlah besar yaitu file video antara TV atau PC serta memungkinkan aplikasi video berkualitas tinggi untuk perangkat portabel.

Bluetooth, yang dinamai menurut nama Denmark King Harold Bluetooth abad kesepuluh, adalah topik hangat di kalangan pengembang nirkabel. Ini dirancang untuk memungkinkan koneksi nirkabel bandwidth rendah untuk digunakan secara sederhana dan terintegrasi dengan mulus dalam jarak pendek (10 m).Teknologi nirkabel Bluetooth adalah Ini adalah standar yang tersedia secara global yang secara nirkabel menghubungkan ponsel, komputer portabel, mobil, headset stereo, pemutar MP3, dan banyak lagi.

Ada lebih dari 50 perusahaan yang membuat chip UWB di seluruh dunia, termasuk Intel Corp. UWB adalah teknologi yang sangat signifikan tetapi juga menghadapi rintangan peraturan yang serius. Sulit bagi UWB untuk bergerak maju. AS adalah satu-satunya negara yang menyetujui spektrum untuk digunakan Dengan radio UWB. Pada akhirnya, keberhasilan UWB akan tergantung pada biayanya yang rendah. Dengan bandwidth yang lebih tinggi, UWB akan diadopsi di Personal Area Network (PAN) nirkabel perusahaan. Dengan standar teknis yang sesuai, perangkat UWB dapat beroperasi menggunakan spektrum yang ditempati oleh radio yang ada UWB akan menjadi komunikasi zaman baru atau akhir dari teknologi lama, dan mungkin keduanya akan tetap ada. Bab ini menyajikan ikhtisar teknologi UWB dan aplikasi potensialnya. , dan standar regulasi UWB di seluruh dunia. Dorongan dan keuntungan singkat UWB / kelemahan UWB juga disajikan.

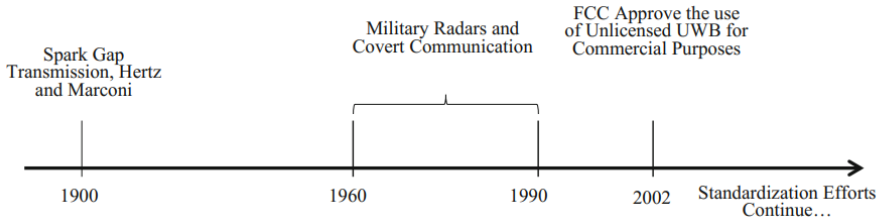
14.2 Sejarah dan Latar Belakang

Komunikasi ultra-wideband pada dasarnya berbeda dari semua teknik komunikasi lainnya karena menggunakan pulsa RF yang sangat sempit untuk berkomunikasi antara pemancar dan penerima. Memanfaatkan pulsa berdurasi pendek sebagai blok bangunan untuk komunikasi secara langsung menghasilkan bandwidth yang sangat lebar dan menawarkan beberapa keunggulan, seperti throughput yang besar, kerahasiaan, ketahanan terhadap jamming, dan koeksistensi dengan layanan radio saat ini.

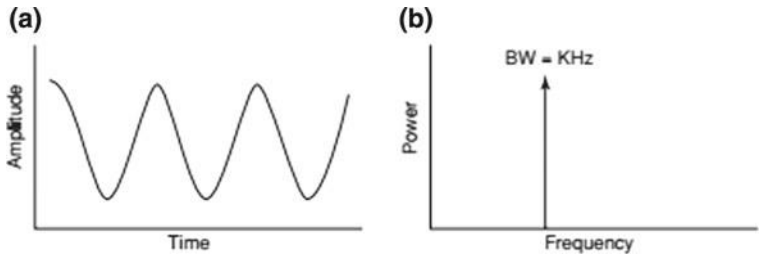
Komunikasi ultra-wideband bukanlah teknologi baru, bahkan pertama kali digunakan oleh Guglielmo Marconi pada tahun 1901 untuk mengirimkan urutan kode Morse melintasi Samudra Atlantik menggunakan pemancar radio celah percikan. sistem multiuser yang disediakan oleh pulsa elektromagnetik tidak pernah dipertimbangkan pada waktu itu.

Sekitar lima puluh tahun setelah Marconi, transmisi berbasis pulsa modern memperoleh momentum dalam aplikasi militer dalam bentuk radar impuls. Beberapa pelopor komunikasi UWB modern di Amerika Serikat dari akhir 1960-an didirikan seperti Henning Harmuth dari Catholic University of America Dan Gerald Ross dan KW Robins dari Sperry Rand Corporation Dari tahun 1960-an hingga 1990-an, teknologi ini terbatas pada aplikasi militer dan Departemen Pertahanan (DoD) di bawah program rahasia seperti komunikasi yang sangat aman. Kemajuan dalam pemrosesan mikro dan peralihan cepat dalam teknologi semikonduktor telah membuat UWB siap untuk aplikasi komersial.Oleh karena itu, lebih tepat untuk mempertimbangkan UWB sebagai nama baru untuk teknologi yang sudah lama ada.

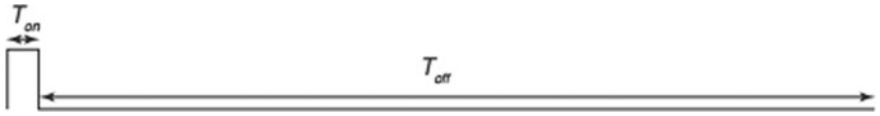
Karena minat komersialisasi UWB telah meningkat selama beberapa tahun terakhir, pengembang sistem UWB mulai menekan FCC untuk menyetujui UWB untuk penggunaan komersial.Pada bulan Februari 2002, FCC menyetujui First Report and Order (R&O) untuk penggunaan komersial teknologi UWB di bawah batas emisi daya yang ketat untuk berbagai perangkat Gambar 14.1 merangkum garis waktu pengembangan UWB.



Gambar 14.1 Sejarah singkat perkembangan UWB



Gambar 14.2 Sebuah sinyal narrowband dalam domain waktu dan b domain frekuensi



Gambar 14.3 Sebuah pulsa *low-duty-cycle* T on menunjukkan waktu pulsa ada dan T off mewakili waktu pulsa tidak ada

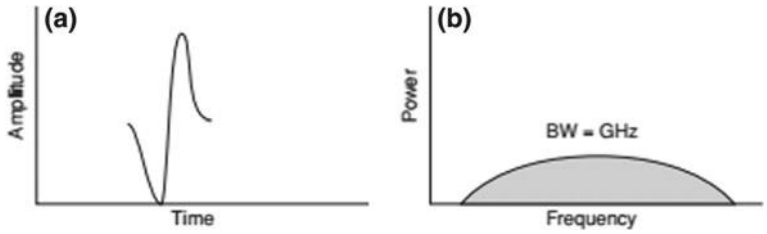
14.3 Konsep UWB

Sistem komunikasi pita sempit tradisional memodulasi sinyal RF bentuk gelombang kontinu (CW) dengan frekuensi pembawa tertentu untuk mengirim dan menerima informasi. Bentuk gelombang kontinu memiliki energi sinyal yang terdefinisi dengan baik dalam pita frekuensi sempit yang membuatnya sangat rentan terhadap deteksi dan intersepsi. Gambar 14.2 mewakili sinyal pita sempit dalam domain waktu dan frekuensi.

Seperti disebutkan dalam Bagian 12.2, sistem UWB menggunakan pulsa tanpa pembawa, durasi pendek (pikosekon hingga nanodetik) dengan siklus tugas yang sangat rendah (kurang dari 0,5%) untuk transmisi dan penerimaan informasi. Definisi sederhana untuk tugas siklus adalah rasio waktu pulsa hadir untuk total waktu transmisi Gambar 14.3 dan Persamaan 14.1 mewakili definisi siklus.

$$\text{Duty cycle} = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{on}} + T_{\text{off}}} \qquad (14.1)$$

Siklus tugas rendah menawarkan daya transmisi rata-rata yang sangat rendah dalam sistem komunikasi UWB. Daya transmisi rata-rata sistem UWB berada di urutan mikrowatt, yang seribu kali lebih kecil daripada daya transmisi ponsel! puncak atau daya sesaat dari masing-masing pulsa UWB bisa relatif besar, tetapi karena mereka ditransmisikan hanya untuk waktu yang sangat singkat (T pada <1 ns), daya rata-rata menjadi jauh lebih rendah.

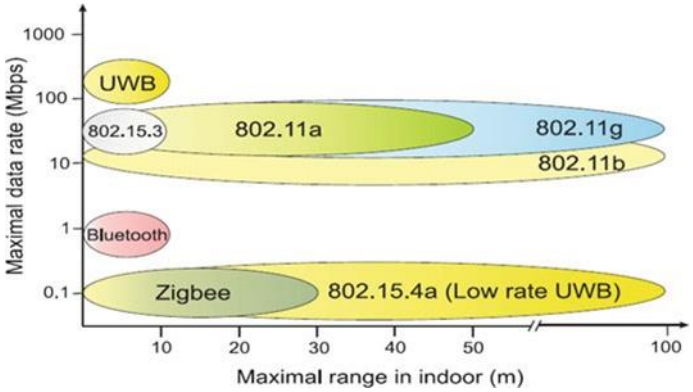


Gambar 14.4 Sebuah pulsa UWB dalam domain waktu dan domain frekuensi b Bandingkan bandwidth dan kerapatan spektral daya dengan sinyal narrowband pada Gambar 14.2

Karena frekuensi berbanding terbalik dengan waktu, durasi pulsa UWB menyebarkan energinya ke berbagai frekuensi—dari dekat DC hingga beberapa gigahertz (GHz) —Dengan kerapatan spektral daya (PSD) yang sangat rendah Gambar 14.4 mengilustrasikan pulsa UWB dalam domain waktu dan frekuensi.

14.3.1 Kecepatan Data Tinggi

UWB dapat menangani lebih banyak aplikasi bandwidth-intensif seperti streaming video, daripada 802.11 atau Bluetooth karena dapat mengirim data dengan kecepatan yang jauh lebih cepat.Teknologi UWB memiliki kecepatan data sekitar 100 Mbps, dengan kecepatan hingga 500 Mbps, Ini dibandingkan dengan kecepatan maksimum 11 Mbps untuk 802.11b (sering disebut sebagai Wi-Fi) yang merupakan teknologi yang saat ini digunakan di sebagian besar LAN nirkabel; dan 54 Mbps untuk 802.11a, yaitu Wi-Fi pada 5 MHz. Bluetooth memiliki kecepatan data sekitar 1 Mbps (Gambar 14.5).



Gambar. 14.5 Jangkauan maksimum dan kecepatan data dari berbagai teknologi nirkabel

14.3.2 Konsumsi Daya Rendah

UWB mentransmisikan impuls pendek secara konstan alih-alih mentransmisikan gelombang termodulasi secara terus menerus seperti yang dilakukan kebanyakan sistem pita sempit. Chipset UWB tidak memerlukan konversi Frekuensi Radio (RF) ke Frekuensi Menengah (IF), osilator lokal, mixer, dan filter lainnya. Karena daya rendah konsumsi, perangkat bertenaga baterai seperti kamera dan ponsel dapat digunakan di UWB.

14.3.3 Kekebalan Gangguan

Karena transmisi daya rendah dan frekuensi tinggi, interferensi agregat USB "tidak terdeteksi" oleh penerima pita sempit. Kepadatan spektral dayanya berada pada atau di bawah lantai kebisingan termal pita sempit. Hal ini menimbulkan potensi bahwa sistem UWB dapat hidup berdampingan dengan sistem radio pita sempit yang beroperasi di spektrum yang sama tanpa menyebabkan interferensi yang tidak semestinya.

14.3.4 Keamanan Tinggi

Karena sistem UWB beroperasi di bawah tingkat kebisingan, mereka secara inheren terselubung dan sangat sulit untuk dideteksi oleh pengguna yang tidak diinginkan.

14.3.5 Rentang yang Wajar

Kelompok Studi IEEE 802.15.3a mendefinisikan 10 m sebagai jangkauan minimum pada kecepatan 100 Mbps Namun, UWB dapat melangkah lebih jauh.Perusahaan Philips telah menggunakan teknologi Digital Light Processor (DLP) pada perangkat UWB sehingga dapat beroperasi lebih dari 45 kaki pada 50 Mbps untuk empat layar DVD.

14.3.6 Kapasitas Saluran Besar

Kapasitas saluran dapat dinyatakan sebagai jumlah transmisi bit data / detik Karena, sinyal UWB memiliki beberapa gigahertz bandwidth yang tersedia yang dapat menghasilkan kecepatan data yang sangat tinggi bahkan dalam gigabit / detik UWB dapat dipahami dengan baik oleh memeriksa persamaan kapasitas terkenal Shannon:

$$C = B * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right), \qquad (14.2)$$

di mana C adalah kapasitas saluran dalam bit / detik, B adalah bandwidth saluran dalam Hz, S adalah kekuatan sinyal dan N adalah kekuatan noise. Persamaan ini memberi tahu kita

bahwa kapasitas saluran tumbuh secara linier dengan bandwidth W, tetapi hanya secara logaritmik dengan kekuatan sinyal S.

Karena saluran UWB memiliki bandwidth yang berlimpah, ia dapat menukar sebagian bandwidth dengan pengurangan daya sinyal dan interferensi dari sumber lain.Dengan demikian, dari persamaan Shannon kita dapat melihat bahwa sistem UWB memiliki potensi besar untuk komunikasi nirkabel berkapasitas tinggi.

14.3.7 Kompleksitas Rendah, Biaya Rendah

Teknik untuk menghasilkan sinyal UWB. Di UWB, Karena tidak adanya Carrier, struktur transceiver mungkin sangat sederhana. Teknik untuk menghasilkan sinyal UWB. Telah ada selama lebih dari tiga Dekade. Kemajuan terbaru dalam proses silikon dan kecepatan switching membuat UWB sistem berbiaya rendah. Juga perangkat nirkabel UWB rumah tidak memerlukan penguat daya pemancar. Ini adalah keuntungan besar dibandingkan arsitektur pita sempit yang memerlukan penguat dengan daya mundur yang signifikan untuk mendukung bentuk gelombang modulasi orde tinggi untuk kecepatan data tinggi.

14.3.8 Resistensi terhadap Jamming

Oleh karena itu, sinyal UWB relatif tahan terhadap jamming, karena tidak mungkin melakukan jamming pada setiap frekuensi dalam spektrum UWB dalam satu waktu, sehingga tersedia banyak rentang frekuensi meskipun ada beberapa frekuensi yang macet.

14.3.9 Skalabilitas

Sistem UWB sangat fleksibel karena arsitektur umum mereka adalah perangkat lunak yang dapat didefinisikan ulang sehingga dapat secara dinamis menukar throughput data tinggi untuk jangkauan.

14.4 Teknologi UWB

Dalam waktu dekat teknologi ini dapat melihat peningkatan penggunaan untuk komunikasi nirkabel jarak pendek berkecepatan tinggi, jaringan jarak dekat dan ad hoc. Ada dua teknologi yang bersaing untuk komunikasi nirkabel UWB, yaitu: Impulse Radio (IR) dan Multi-band OFDM (MB) -OFDM). Teknik IR didasarkan pada transmisi pulsa yang sangat pendek dengan energi yang relatif rendah. Pendekatan MB-OFDM membagi spektrum frekuensi UWB menjadi beberapa pita yang tidak tumpang tindih dan untuk setiap transmisi pita adalah OFDM. Beberapa proposal berdasarkan ini dua teknologi telah diajukan ke IEEE 802.15.3a.Kedua teknologi tersebut valid dan kredibel.

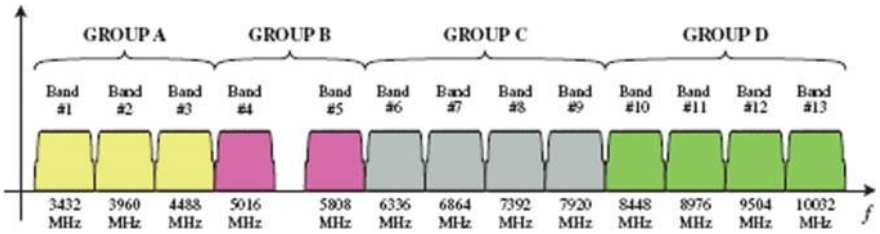
14.4.1 Radio Impuls

Dalam pulsa radio impuls UWB dengan durasi yang sangat pendek (biasanya dalam urutan sub-nanodetik) ditransmisikan Karena pulsa yang sangat sempit spektrum sinyal mencapai beberapa GHz bandwidth. Radio impuls UWB adalah transmisi tanpa pembawa. Teknologi ini memiliki daya pancar yang rendah dan karena sempitnya spektrum yang ditransmisikan memiliki resolusi waktu yang baik Penerapan teknik ini sangat sederhana karena tidak memerlukan mixer yang berarti pemancar dan penerima berbiaya rendah *Direct Sequence Ultra-Wideband* (DS-UWB) dan *Time Hopping Ultra-Wideband* (TH-UWB) adalah dua varian dari teknik IR.

Teknik IR ini DS-UWB dan TH-UWB adalah teknik akses ganda yang berbeda yang menyebarkan sinyal melalui bandwidth yang sangat lebar. Karena menyebarkan sinyal melalui a. Perlu disebutkan bahwa *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) dan *Time Hopping Spread Spectrum* (THSS) dapat dipertimbangkan. d mirip dengan DS-UW Band TH-UWB, masing-masing. Namun ada perbedaan antara sistem spread spectrum dan IR-UWB. Kedua sistem memanfaatkan bandwidth yang diperluas, sedangkan metode yang berbeda digunakan untuk mendapatkan bandwidth yang besar. Dalam teknik spread-spectrum konvensional, sinyal adalah sinusoidal gelombang kontinu yang dimodulasi dengan frekuensi pembawa tetap, sedangkan di IR-UWB (yaitu, DS-UWB dan TH-UWB), sinyal pada dasarnya adalah baseband dan pulsa UWB sempit Untuk sinyal UWB bandwidth harus lebih tinggi dari 500 MHz, sedangkan untuk teknik spread spectrum bandwidth jauh lebih kecil (biasanya dalam orde beberapa MHz).

14.4.2 OFDM Multiband

Multi-band Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MB-OFDM) adalah salah satu teknologi UWB yang menggunakan metode OFDM.OFDM Multi-Band menggabungkan teknik OFDM dengan pendekatan multi-band.Spektrum dibagi menjadi beberapa sub-band dengan 10 dB bandwidth minimal 500 MHz (Gambar. 14.6).



Gambar 14.6 Usulan rencana pita frekuensi MB-OFDM

Informasi tersebut kemudian disisipkan melintasi sub-band dan kemudian ditransmisikan melalui teknik multi-carrier (OFDM).Salah satu usulan standar lapisan fisik untuk Wireless Personal Area Networks (WPANs) kecepatan tinggi masa depan menggunakan teknik MB- OFDM. Usulan MB-OFDM WPANs ini, spektrum antara 3,1 dan 10,6 GHz dibagi menjadi 14 pita dengan bandwidth 528 MHz yang dapat ditambahkan atau diturunkan tergantung pada interferensi dari, atau ke, sistem lain. Tiga pita yang lebih rendah digunakan untuk operasi standar , yang wajib, dan sisa pita dialokasikan untuk penggunaan opsional atau ekspansi di masa mendatang. Teknologi MB-OFDM menjanjikan kecepatan data sekitar 110 Mbps pada jarak 10 m. Untuk aplikasi sensor nirkabel UWB, kecepatan data rendah , tetapi cakupan (berharap) mungkin jauh lebih besar dari 10 m. MB-OFDM mungkin memerlukan tinggi tinggi Teknik MB-OFDM kuat untuk multipath yang hadir di saluran nirkabel.

Keuntungan dari teknik MB-OFDM adalah sebagai berikut:

1. Menangkap energi multipath dengan rantai RF tunggal
2. Ketidakpekaan terhadap variasi penundaan grup
3. Kemampuan untuk menangani gangguan pita sempit pada penerima

4. Arsitektur synthesizer yang disederhanakan melonggarkan persyaratan waktu peralihan pita.

Kerugiannya adalah sebagai berikut:

1. Pemancar lebih kompleks karena IFFT
2. Rasio daya puncak-ke-rata-rata yang tinggi
3. Masalah sinkronisasi OFDM.

Tabel 14.1 Perbandingan spesifikasi teknik MB-OFDM dan IR DS-UWB untuk WPAN

Spesifikasi Spesifikasi	MB_OFDM	IR (DS-UWB)
Jumlah sub-band	3 wajib, hingga 14	2 (3,1–4,85 GHz dan
Bandwidth sub-band	528 MHz	6,2–9,7 GHz)
Jumlah sub-operator	122	1,75 GHz (pita bawah)
Faktor penyebaran	1, 2	3,5 GHz (pita lebih tinggi)
Kecepatan data (Mbps)	55, 80, 110, 160, 200, 320, 480	Tidak ada sub-carrier (sinyal baseband)
Modulasi	QPSK	1–24
Akses ganda	Berdasarkan kode waktu frekuensi	28, 55, 110, 220, 500, 660, 1000,

14.4.3 Perbandingan Teknologi UWB

Perbandingan teknik IR DS-UWB dan MB-OFDM UWB dalam hal interferensi dari, atau ke, sistem lain, ketahanan terhadap multipath, kinerja, kompleksitas sistem, dan kinerja laju data rentang yang dapat dicapai untuk aplikasi WPAN disediakan seperti pada Tabel 14.1.

14.5 Teknologi dan Standar

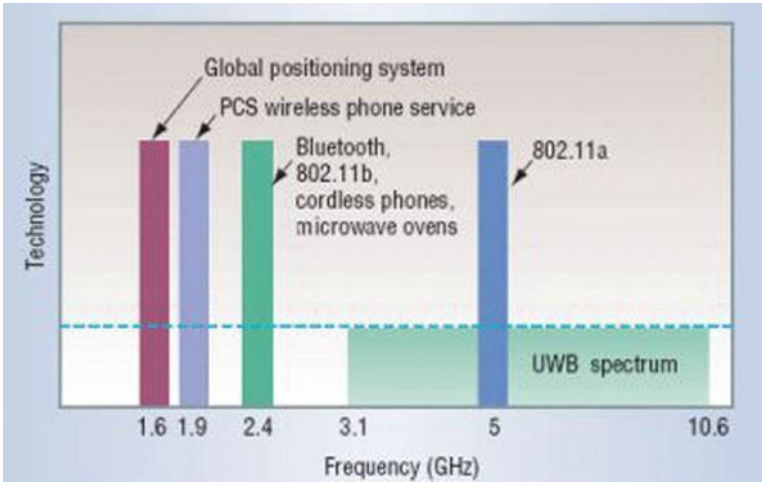
14.5.1 Bluetooth

Bluetooth adalah standar yang tersedia secara global yang secara nirkabel menghubungkan ponsel, komputer portabel, mobil, headset stereo, pemutar MP3, dan banyak lagi. Ini adalah teknologi ad hoc yang tidak memerlukan infrastruktur tetap dan mudah dipasang dan diatur. Peluncuran pertama dari spesifikasi Bluetooth pada tahun 1999, lebih dari 4000 perusahaan telah menjadi anggota Bluetooth Special Interest Group (SIG).

Sementara itu, jumlah produk Bluetooth di pasaran berlipat ganda dengan cepat. Contoh sederhana dari aplikasi Bluetooth adalah memperbarui Anda harus memasukkan nama dan nomor telepon semua kontak Anda secara manual atau menggunakan kabel atau tautan IR antara telepon dan PC Anda dan memulai aplikasi untuk menyinkronkan informasi kontak. Dengan Bluetooth, ini semua bisa terjadi secara otomatis dan tanpa keterlibatan pengguna segera setelah telepon berada dalam jangkauan PC.

14.5.2 UWB

UWB dirancang untuk menggantikan kabel dengan koneksi nirkabel jarak pendek, tetapi menawarkan bandwidth yang jauh lebih tinggi yang diperlukan untuk mendukung sejumlah besar aliran data pada tingkat daya yang sangat rendah. Contohnya termasuk pemutar media, monitor, kamera, dan ponsel.



Gambar 14.7 Frekuensi teknologi nirkabel

Karena UWB dapat mengomunikasikan jarak dan posisi relatif, ia dapat digunakan untuk peralatan pelacakan, wadah, atau objek lain. Chipset UWB dibuat dalam semikonduktor oksida logam komplementer, sehingga menyaingi harga Bluetooth yang murah saat diproduksi dalam jumlah besar. Demonstrasi teknologi baru-baru ini menunjukkan Perangkat UWB ditransmisikan pada kecepatan data 110 Mbit / s pada jarak hingga 10 m.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 14.7, tidak seperti sistem radio konvensional, yang beroperasi dalam bandwidth yang relatif sempit, ultra-wideband beroperasi di berbagai spektrum frekuensi dengan mentransmisikan serangkaian pulsa daya yang sangat sempit (10-1000 ps) dan rendah. Kemungkinan penggunaan teknologi UWB dalam komunikasi berkisar dari jaringan kantor atau rumah seperti WLAN dan akses Internet. Dengan menggunakan daya 80% lebih sedikit daripada 802.11a, chipset UWB dapat bekerja dengan perangkat yang lebih kecil seperti PDA dan ponsel tanpa terlalu membebani baterainya.

Keuntungan utama dari UWB adalah kecepatan data yang tinggi, biaya rendah, dan daya rendah.Karena UWB adalah spektrum hopping, dan hanya untuk sepersekian detik, UWB menyebabkan lebih sedikit gangguan daripada desain radio narrowband, tetangga terdekat tidak akan mengganggu UWB lainnya. jaringan. Fitur UWB tambahan, jangkauan yang tepat, atau pengukuran jarak digunakan untuk identifikasi lokasi, yaitu melacak orang. UWB menggunakan daya yang sangat kecil dengan masa pakai baterai yang lama. Untuk masalah keamanan, sangat sulit untuk menguping. Ini seperti mencoba untuk melacak seseorang di jalan yang sangat sibuk yang terus-menerus mengganti warna pakaian yang berbeda saat berlari dengan kecepatan yang sangat cepat.Meskipun banyak manfaat dari UWB, saat ini UWB terlibat dalam perselisihan spesifikasi dan standarisasi dalam badan

penerbit standar dunia dan Amerika Serikat, yaitu IEEE, ITU dan FCC (Komisi Komunikasi Federal).

Tabel 14.2 Perbandingan UWB dan Bluetooth

Teknologi	UWB	Bluetooth
Spektrum (GHz)	3.1–10.6	2.4
Kisaran tipikal (m)	10–30	Sepuluh
Teknologi	OFDM atau DS-UWB	Spektrum penyebaran frekuensi-hopping adaptif
Kecepatan data maksimum	1 Gbit / detik	1 Mbit / detik
Aplikasi tipikal	Sinkronisasi nirkabel dan transmisi data	Interkoneksi nirkabel bandwidth rendah untuk menyinkronkan data
Ketersediaan	Setelah 2007	Sekarang

Titik persilangan untuk nirkabel UWB versus 802.11a adalah 10 m—kurang dari 10 m, dan UWB memiliki bandwidth yang lebih tinggi, tetapi lebih dari 10 m, 802.11a menang. Karena keterbatasan jarak UWB, ini terutama akan digunakan untuk bandwidth lokal tinggi. jaringan di mana penerima dapat dicolokkan, dan bukan untuk seluler. Kelemahan lainnya adalah bahwa pertempuran standar UWB tetap tidak terselesaikan. Kemungkinan Tabel 14.2 membandingkan kedua teknologi dalam aspek spektrum, jangkauan, kecepatan data, dan aplikasi pengguna. Bahwa UWB dan Bluetooth keduanya dapat diintegrasikan ke dalam perangkat akhir untuk melayani ruang aplikasi yang berbeda.

Gelombang elektromagnetik dengan bandwidth operasi lebih besar dari 25% frekuensi operasi pusat atau bandwidth absolut 1,5 GHz atau lebih disebut sebagai sinyal ultra-wideband (UWB). Sistem radio UWB dengan bandwidth lebih dari 1,5 GHz tetapi bandwidth sesaat kurang dari 25% dari frekuensi operasi tengah dapat dirancang menggunakan komponen RF tradisional (antena, synthesizer frekuensi, amplifier, dan filter) yang cukup mudah untuk diproduksi. Di sisi lain, sistem UWB dirancang pada frekuensi yang lebih rendah (biasanya kurang dari 3 GHz) dengan bandwidth sesaat lebih besar dari 25% dari frekuensi operasi pusat memerlukan pendekatan yang lebih baru.

14.5.3 Standar UWB

IEEE 802.15.3

IEEE 802.15.3 adalah standar IEEE untuk kecepatan data tinggi (20 Mbit / s atau lebih besar) Wireless Personal Area Networks (WPAN) untuk menyediakan Quality of Service (QoS) untuk distribusi real time konten multimedia.IEEE 802.15.3 dicapai dengan IEEE P802.15.3 High Rate (HR) Task Group (TG3).Grup tugas dibebankan dengan mendefinisikan standar universal radio ultra-wideband yang mampu kecepatan data tinggi pada jarak 10 m menggunakan pita 3,1 10,6 GHz (lihat Gambar 14.1) untuk TV, ponsel, PC, dan sebagainya. Selain kecepatan data yang tinggi, standar baru ini akan menyediakan solusi hemat daya dan berbiaya rendah

yang menangani kebutuhan pencitraan digital konsumen portabel dan aplikasi multimedia. Selain itu, iklan jaringan peer-to-peer hoc, masalah keamanan dipertimbangkan.Ketika dikombinasikan dengan standar PAN 802.15.3, UWB akan menyediakan jaringan multimedia nirkabel yang sangat menarik untuk rumah.

Standar IEEE 802.15.3 memungkinkan aplikasi multimedia nirkabel untuk perangkat elektronik konsumen portabel dalam jangkauan rumah. Standar ini mendukung konektivitas nirkabel untuk game, printer, telepon nirkabel, dan perangkat konsumen lainnya. Dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi multimedia nirkabel termasuk speaker suara surround nirkabel, tampilan video portabel, kamera video digital. Ini menjawab kebutuhan akan mobilitas, kualitas layanan (QoS) dan konektivitas cepat untuk berbagai perangkat elektronik konsumen.

WiMedia UWB

Aliansi WiMedia merupakan kombinasi dari WiMedia dengan Multiband OFDM Alliance SIG (MBOA-SIG). Keduanya adalah dua. Aliansi WiMedia merupakan kombinasi dari WiMedia dengan Multiband OFDM Alliance SIG (MBOA-SIG). Mereka akan menerbitkan dan mengelola spesifikasi industri UWB untuk adopsi cepat oleh untuk aplikasi seluler, elektronik konsumen, dan PC. Perusahaan Promotor MBOA-SIG termasuk Alereon, HP, Intel, Kodak, Microsoft, Nokia, Philips, Samsung Electronics, Sony, dll. Perusahaan anggota MBOA terlibat secara aktif dengan proses standar IEEE.

MOBA akan mengumumkan spesifikasinya untuk lapisan fisik ("PHY") dan lapisan Kontrol Akses Media ("MAC") untuk meningkatkan mobilitas perangkat elektronik pribadi.Spesifikasi MBOA MAC dan PHY akan berfungsi sebagai platform radio umum untuk standar industri Spesifikasi MBOA MAC dan PHY, sebagaimana dipublikasikan dalam ECMA-368, sengaja dirancang untuk beradaptasi dengan berbagai persyaratan yang ditetapkan oleh badan pengatur global. Aliansi OFDM Multiband (MBOA) telah merancang lapisan kontrol akses media (MAC) sendiri, Sebenarnya menolak MAC yang diamanatkan oleh IEEE untuk standar 802.15.3a yang akan datang. Peningkatan dukungan untuk mobilitas, jaringan mesh, dan manajemen Piconet akan menjadi kunci untuk MAC baru. Fitur ramah aplikasi lainnya di MBOA termasuk pengurangan tingkat kompleksitas per node , masa pakai baterai yang lama, dukungan beberapa mode manajemen daya dan kapasitas spasial yang lebih tinggi.

Aplikasi Pengguna Akhir

WB memiliki banyak aplikasi lain, misalnya, pencitraan medis, sistem penghindaran tabrakan mobil, petugas pemadam kebakaran dan polisi yang melihat menembus dinding, serta menemukan dan melacak aset dan orang. Ini adalah teknologi yang, setidaknya dalam beberapa aplikasi, dapat menghemat Untuk MBOA UWB, aplikasi awal yang diantisipasi mencakup pertukaran konten media melalui perangkat elektronik konsumen data tinggi termasuk pemutar MP3, pemutar media pribadi (PMP), set-top-box, kamera digital, hard drive, printer / scanner, peralatan home theater, ponsel, komputer pribadi dan platform video game.

14.5.4 Strategi Pasar dan Vendor

Kedua belah pihak dalam pertempuran standar UWB lebih terpolarisasi di pasar jaringan area pribadi nirkabel. Ini agak sulit bagi pengguna akhir dan vendor. Jelas bagaimana pengguna akhir menderita. Mereka harus bertaruh pada proposal standar yang mungkin kalah. Untuk perusahaan pengguna, risikonya mungkin tidak dapat diterima, meninggalkan mereka, bukan dengan dua (atau tiga) opsi, tetapi tanpa opsi. Jika salah satu proposal menang, perusahaan yang terlibat dalam proposal yang kalah pasti mendapat pukulan serius. Sepanjang waktu pengembangan mereka Dan investasi hilang, dan mereka harus merancang dan membuat chip baru. Ini bisa memakan waktu dua tahun atau lebih. Bahkan para pemenang memiliki tekanan kompetitif ekstra dari keinginan untuk menetapkan standar berarti mereka mungkin belum bisa menghasilkan sebanyak itu. uang karena mereka mungkin keluar dari awal yang lambat tapi stabil di pasar yang lebih kohesif.Biaya pemasaran dan promosi tinggi untuk kedua kelompok.

Salah satu cara untuk menyelesaikan konflik yang tampaknya tidak membaik melalui proses standar normal adalah dengan membiarkan pihak-pihak tersebut bertarung di pasar, artinya, biarkan mereka mengirimkan produk, dan lihat mana yang akhirnya menang. Risiko memilih standar yang salah menciptakan alasan nyata untuk mengadopsi sikap "tunggu dan lihat" terhadap standar baru. Saran dasar untuk pertempuran standar adalah tetap jelas. Menunggu sampai debu sedikit mengendap dan Anda dapat mengetahui apa standarnya sebelum mengadopsi satu.

14.6 Aplikasi UWB

Meskipun diklaim bahwa banyak aplikasi eksotis akan mendapat manfaat dari teknologi UWB, pencarian literatur mengungkapkan bahwa ada dua area aplikasi UWB potensial utama: komunikasi dan radar / sensor.Untuk kedua area, komponen dasar sistem UWB termasuk sumber pemancar. menyarankan bahwa desain antena tetap menjadi tantangan yang signifikan. Pilihan yang dipertimbangkan termasuk. Ada sejumlah besar penelitian dalam pengembangan komponen UWB selama bertahun-tahun. Dipol yang dimuat, tanduk TEM, tanduk bikonikal dan bergerigi, spiral dan besar antena saat ini, masing-masing dengan berbagai kelebihan dan kekurangan.

Kemampuan kecepatan data tinggi sistem UWB untuk jarak pendek memiliki banyak aplikasi untuk jaringan rumah dan komunikasi kaya multimedia dalam bentuk aplikasi WPAN. Sistem UWB dapat menggantikan kabel yang menghubungkan camcorder dan VCR, serta aplikasi elektronik konsumen lainnya, seperti Tidak ada teknologi nirkabel lain yang tersedia—seperti Bluetooth atau 802.11a / b—yang mampu mentransfer video streaming Tabel 14.3 membandingkan teknologi UWB dan standar komunikasi data lain yang tersedia saat ini.

Faktanya, banyak perangkat komunikasi dan radar / sensor saat ini dibatasi pita sebagian besar karena keterbatasan bandwidth yang dikenakan oleh antena yang bertindak sebagai filter lolos pita dalam transmisi UWB. Usulan sistem yang lebih baru tidak bergantung pada transmisi terbatas pita yang, dalam gilirannya, membawa persyaratan

untuk modifikasi.Sub-bagian berikut meringkas kemungkinan komunikasi dan aplikasi radar / sensor.

Tabel 14.3 Kemampuan UWB dibandingkan dengan standar IEEE lainnya

	Standar IEEE						
	WLAN			**Bluetooth**	**WPAN**	**UWB**	**ZigBee**
	802.11a	802.11b	802.11 g	802.15.1	802.15.3	802.15.3a	802.15.4
Frekuensi (GHz)	5	2.4	2.4	2.4	2.4	3.1–10.6	2.4
Kecepatan data maksimum	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	1 Mbps	55 Mbps	>100 Mbps	250 Kbps
Rentang maksimum (m)	100	100	10	10	10	10	5

14.6.1 Komunikasi

Dikatakan bahwa jenis perangkat komunikasi potensial yang akan digunakan sebagian besar akan ditentukan oleh batas emisi yang diberlakukan oleh otoritas pengatur Jarak operasi maksimum dan tingkat transmisi akan menjadi parameter kunci untuk penilaian kinerja sistem komunikasi UWB. karakteristik dari beberapa perangkat diuraikan di bawah ini.

Transceiver genggam yang dirancang untuk transmisi suara dan data full duplex hingga 128 kbps, beroperasi pada 1,5 GHz dengan bandwidth seketika 400 MHz. Daya keluaran puncak diukur menjadi 2 W dan jangkauan LOS hingga 2 km. Dengan penguatan kecil antena, jangkauan meluas hingga 32 km. Sistem komunikasi gelombang tanah dirancang untuk suara digital non-LOS dan transmisi data hingga 128 kbps, beroperasi di pita 30-50 MHz pada jarak 16 km dengan daya puncak sekitar 35 W. Transceiver UWB video / perintah dan kontrol asimetris, dua arah yang dirancang untuk beroperasi pada kisaran 1,3–1,7 GHz dengan kecepatan transmisi hingga 25 Mbps menggunakan daya output puncak 4 W. Transceiver genggam dirancang untuk multisaluran, dupleks penuh, digital 32 kbps transmisi suara pada jarak 100 m dalam pita 1,2–1,8 GHz di atas kapal angkatan laut.Perangkat komunikasi jarak pendek dalam ruangan yang beroperasi pada kisaran 2,5–5 GHz pada rentang 50 m yang menyediakan kecepatan data hingga 60 Mbps.

14.6.2 Radar / Sensor

Penggunaan utama radar UWB adalah untuk menyediakan deteksi target sedangkan sensor UWB digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai target [8].Jumlah aplikasi sangat luas.Ini termasuk penetrasi tanah, lokasi posisi, dan penetrasi dinding, peringatan tabrakan untuk menghindari Aplikasi baru meliputi pengukuran jarak dan jarak kantung udara, inspeksi jalan dan landasan pacu, pemantauan jantung, identifikasi RF dan fokus otomatis kamera.Karakteristik sistem dari beberapa radar/sensor dirangkum di bawah ini.

Vehicular Electronic Tagging and Alert System dirancang untuk menyampaikan gambar pengemudi bersama dengan informasi tentang pengemudi dan kendaraan ke sensor pinggir jalan di kendaraan polisi.Sistem beroperasi di wilayah 1,4-1,65 GHz dengan daya puncak 0,25 W selama jangkauan 300 m. Sistem geolokasi dirancang untuk memberikan informasi lokasi tiga dimensi, beroperasi di wilayah 1,3–1,7 GHz dengan memanfaatkan Pulsa UWB daya puncak 2,5 ns, 4 W. Jangkauan LOS adalah 2 km dengan antena omnidirectional. Jangkauan dalam ruangan hingga 100 m.

Altimeter presisi dan sensor penghindaran tabrakan yang dirancang untuk beroperasi pada rentang 5,4–5,9 GHz dengan daya output puncak 0,2 W. Sensor cadangan dirancang untuk mendeteksi objek di belakang kendaraan konstruksi dan pertambangan besar, beroperasi dengan daya puncak 0,25 W di wilayah 5,4–5,9 GHz lebih jangkauan hingga 100 m. Plat nomor elektronik dirancang untuk memberikan penghindaran tabrakan mobil dan penandaan RF untuk kendaraan ke komunikasi pinggir jalan. Fungsi penghindaran tabrakan disediakan menggunakan daya puncak 0,2 W di wilayah 5,4–5,9 GHz pada rentang 30 m saat penandaan fungsi didukung dengan daya puncak 0,3 W pada jarak 200 m. Radar militer dirancang untuk aplikasi jarak sangat pendek (kurang dari 2 m) dengan daya rata-rata 85 nW yang beroperasi pada 10 GHz dengan bandwidth 2,5 GHz.

14.7 Kesimpulan

Komisi Komunikasi Federal memberikan persetujuannya untuk menjual produk nirkabel UWB di AS Meskipun kurangnya standar yang diadopsi akan memperlambat pertumbuhan untuk sementara waktu, UWB akan digunakan di 150 juta perangkat pada tahun 2008. Karena UWB paling baik digunakan untuk jarak pendek dan aplikasi bandwidth tinggi, sebagian besar pengembangan di UWB ditargetkan pada proyeksi video HDTV dan DLP. UWB tidak dilihat atau dirancang sebagai pengganti Wi-Fi tradisional. WiMax dan MobileFi dianggap sebagai pengganti itu tetapi lain cerita.

BAB 15
TEKNOLOGI ULTRA-WIDEBAND UNTUK APLIKASI MILITER

15.1 Pendahuluan

Sistem komunikasi Ultra-WideBand (UWB) biasanya diklasifikasikan sebagai sistem komunikasi yang bandwidth operasinya berkali-kali lebih besar daripada bandwidth minimum yang diperlukan untuk menyampaikan informasi.Komunikasi UWB pada dasarnya berbeda dari semua teknik komunikasi lainnya karena menggunakan Radio Frequency (RF) yang sangat sempit. Pulsa untuk berkomunikasi antara pemancar dan penerima Memanfaatkan pulsa berdurasi pendek sebagai blok bangunan untuk komunikasi secara langsung menghasilkan bandwidth yang sangat lebar dan menawarkan beberapa keuntungan, seperti throughput yang besar, kerahasiaan, ketahanan terhadap jamming, dan koeksistensi dengan radio saat ini layanan Teknologi UWB menawarkan solusi yang menjanjikan untuk kekeringan spektrum RF dengan memungkinkan layanan baru untuk hidup berdampingan dengan sistem radio saat ini dengan komunikasi minimal atau tanpa komunikasi.

Koeksistensi ini membawa keuntungan untuk menghindari biaya lisensi spektrum yang mahal yang harus dibayar oleh penyedia semua layanan radio lainnya. Transmisi nirkabel pertama v Emisi UWB dikirim oleh Marconi dari Isle of Wight ke Cornwall di Daratan Inggris pada tahun 1901 menggunakan Marconi Spark Gap Emitter. Sinyal UWB dibuat oleh konduktansi acak dari percikan. Kemudian pada akhir 1970-an dan awal 80-an , Fullerton mendemonstrasikan kepraktisan teknik radio impuls daya rendah modern menggunakan pendekatan ultra-wideband termodulasi waktu berkode waktu.

Federal Communications Commission (FCC) adalah badan pengendali RF di Amerika Serikat. Sebelumnya UWB berkomitmen untuk pekerjaan eksperimental saja, penggunaan komersial tidak diizinkan. Pada tahun 2002, FCC mengubah aturan untuk mengizinkan. Operasi sistem UWB secara luas rentang frekuensi Pada tahun 2003, sistem komersial bersertifikasi FCC pertama dipasang, dan pada April 2003, chipset UWB komersial pertama yang memenuhi persyaratan FCC diumumkan oleh Time Domain Corporation.

Sinyal didefinisikan sebagai ultra-wideband jika bandwidth fraksional Bf lebih besar dari 0,25 [2] Bandwidth fraksional dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$B_f = 2\frac{f_H - f_L}{f_H + f_L}, \qquad (15.1)$$

di mana

B_f adalah bandwidth fraksional,

f_L lebih rendah, dan

f_H lebih tinggi 3 dB titik dalam spektrum, masing-masing.

15.2 Tinjauan Teknis Sistem Ultra-Wideband

Ultra-Wideband adalah teknologi untuk transmisi data menggunakan teknik yang menyebabkan penyebaran energi radio melalui pita frekuensi yang sangat lebar, dengan kerapatan spektral daya yang sangat rendah.Kerapatan spektral daya yang rendah membatasi potensi interferensi dengan sistem radio konvensional, dan bandwidth yang tinggi dapat memungkinkan throughput data yang sangat tinggi untuk perangkat komunikasi, atau presisi tinggi untuk perangkat lokasi dan pencitraan.

Teknik UWB adalah teknologi transmisi radio yang menempati bandwidth yang relatif lebar, minimal melebihi 500 MHz atau memiliki setidaknya 20% dari frekuensi tengah.Teknologi ini telah mendapat perhatian karena potensinya sebagai pendekatan baru untuk jarak pendek. Berbeda dengan sistem komunikasi narrowband tradisional, sistem UWB mengirimkan informasi dengan menghasilkan energi radio pada saat-saat tertentu dalam bentuk pulsa yang sangat pendek. Dengan demikian, sistem ini menempati bandwidth yang relatif besar dan memungkinkan kita untuk menggunakan modulasi waktu.

Selain itu, UWB sistem dapat memberikan kecepatan data tinggi yang dapat mencapai hingga ratusan Mbps, dan yang membuatnya berguna untuk komunikasi yang aman dalam aplikasi militer. Selain itu, sistem UWB menuntut daya transmisi yang relatif rendah dibandingkan dengan sistem komunikasi pita sempit tradisional; karenanya, penggunaannya dapat memperpanjang masa pakai baterai. Selain itu, penggunaan pulsa pendek membantu mengurangi saluran multipath memudar karena sinyal yang dipantulkan tidak tumpang tindih dengan yang asli.

Sebagian besar waktu, kami merujuk ke semua jenis sistem UWB dengan satu nama, tetapi pada kenyataannya, ada dua teknologi yang sangat berbeda yang sedang dikembangkan:

- Carrier free direct sequence ultra-wideband technology: Bentuk teknologi ultra-wideband ini mentransmisikan serangkaian impuls Mengingat durasi pulsa yang sangat singkat, spektrum sinyal menempati bandwidth yang sangat lebar
- MBOFDM (Multi-Band OFDM) teknologi ultra-wideband: Bentuk teknologi ultra-wideband ini menggunakan pita lebar atau sinyal Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplex (MBOFDM) yang secara efektif merupakan sinyal OFDM lebar 500 MHz. Sinyal 500 MHz ini kemudian dilompati ke frekuensi untuk memungkinkannya menempati bandwidth yang cukup tinggi.

Prinsip kerja teknologi UWB adalah pertama-tama sinyal dengan lebar pita ultra lebar dibangkitkan menggunakan pulsa korsleting listrik baseband (100 ps–1 ns), kemudian data ditransmisikan menggunakan Pulse Modulation (Amplitude, Position, atau Phase Modula), dan kemudian pulsa baseband langsung diterapkan ke antena dan akhirnya, penerima korelasi atau penerima rake digunakan untuk menangkap sinyal.

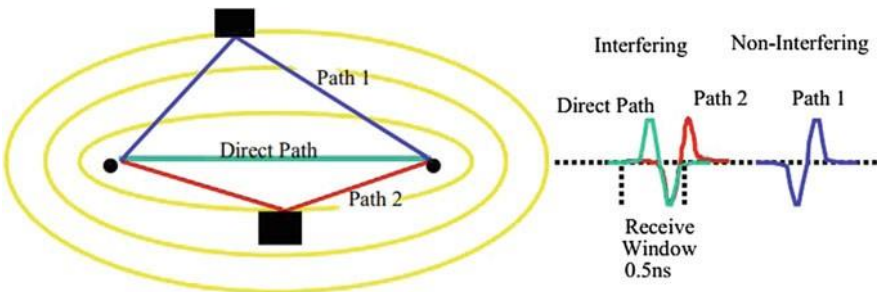
15.3 Teknologi Ultra-Wideband untuk Aplikasi Militer

Teknologi ultra-wideband (UWB) akhir-akhir ini banyak menarik perhatian baik di bidang industri, militer, maupun akademis karena biayanya yang murah, berpotensi untuk menangani data rate yang tinggi dan kebutuhan daya yang relatif rendah. sejumlah besar

aplikasi yang dapat digunakan oleh teknologi UWB. Mereka bervariasi dari komunikasi data dan suara hingga radar dan klasifikasi. Meskipun banyak kegembiraan tentang pita lebar ultra telah dikaitkan dengan aplikasi komersial, teknologi ini juga cocok untuk aplikasi militer Penggunaan teknologi baru untuk aplikasi militer memerlukan analisis yang ketat, praktis, dan objektif untuk menunjukkan keuntungan akhir dari teknologi ini dibandingkan dengan solusi yang sudah digunakan.

Salah satu misi CELAR (*Technical Center for Armament Electronics*, milik DGA—French Procurement Agency) adalah untuk berpartisipasi dalam analisis UWB untuk Kementerian Pertahanan Prancis (MoD), yang diilustrasikan oleh studi yang saat ini diadakan di CELAR. misi operasi yang telah diimplementasikan teknologi Impulse Radio UWB dapat membawa peningkatan untuk mencapai misi yang berbeda dengan menggunakan satu teknologi.Sifat yang melekat pada IR-UWB cukup menarik, meskipun beberapa bermasalah. Ada banyak potensi keunggulan UWB di lingkungan Komersial, Industri dan Pendidikan Apalagi saat ini aplikasi UWB cukup menarik untuk aplikasi militer terutama karena alasan berikut.

- Kecepatan data yang lebih tinggi: UWB dapat meningkatkan kapasitas sambil mempertahankan transmisi daya rendah. Produsen yang berbeda berbicara tentang kecepatan data 140 Mbps untuk komunikasi nirkabel jarak kecil, dibandingkan dengan kecepatan data pelarutan yang ada yang lima kali lebih rendah (20 Mbps) untuk WiFi, 2 Mbps untuk Universal Mobile Telecommunication Systems (UMTS), dan 1 Mbps untuk Bluetooth).
- Kekokohan terhadap multipath fading: hamburan *Radar Cross-Section* (RCS) dari sumber yang mengganggu ini berkurang sehubungan dengan RCS target, karena tingkat spasial yang kecil dari pulsa. Jika pemancar dan penerima tidak berada di tempat yang sama (kasus biasa untuk aplikasi komunikasi), karena pulsa UWB sangat pendek (sekitar 1) ns, bahkan kurang), jalur langsung telah datang dan pergi sebelum jalur yang dipantulkan tiba (Gambar 15.1).
- Probabilitas rendah deteksi (LPD) dan Intersepsi probabilitas rendah (LPI): Karena pulsa berdurasi sangat pendek menyiratkan pita besar, daya tersebar di berbagai frekuensi alih-alih terkonsentrasi. Ini adalah titik yang sangat berguna untuk aplikasi militer. Selain itu , karena tingkat daya yang rendah ini, paparan daya minimum bagi pengguna dapat terjadi.

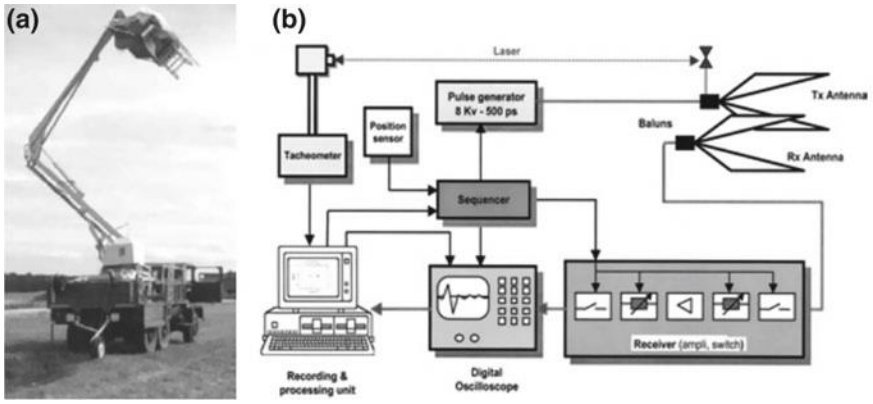


Gambar 15.1 Ilustrasi kekokohan sinyal UWB terhadap multipath fading untuk aplikasi komunikasi seluler

Diketahui bahwa pulsa UWB dihasilkan dalam periode waktu yang sangat singkat (sub-nano second). Teknologi ini masih muda dan masih perlu menarik lebih banyak peneliti dan insinyur. Karena penerapannya yang luas, saat ini terdapat ribuan aplikasi dimana UWB radar digunakan. Sebagai hasil dari relevansinya, bidang acuh tak acuh seperti lembaga akademik, pemerintah dan sektor swasta, dan pertahanan dan militer, mereka membuat penelitian yang menjanjikan untuk menerapkan fitur unik dari teknologi UWB. Penelitian deteksi ranjau darat menggunakan radar UWB terjadi di Inggris selama konflik Falklands pada awal 1980-an dan di AS setelah Perang Teluk satu dekade kemudian.Pemrogram penelitian militer di Jerman, Prancis, dan Rusia mengikuti, tetapi sampai sekarang, setelah penelitian perintis ke dalam kelayakan pencitraan gelombang mikro UWB untuk deteksi kanker payudara stadium awal bahwa subjek sudah mulai mendapatkan daya tarik yang serius di kedua sisi Atlantik.

Pencitraan gelombang mikro UWB menggunakan pengukuran transmisi energi gelombang mikro melalui suatu objek untuk menentukan sifat dielektriknya (isolasi).Sederhananya, dengan menundukkan jaringan ke sinyal dari seluruh spektrum radio pada rentang yang jauh lebih luas daripada sinar-X tradisional, para ilmuwan Di University of Wisconsin–Madison di AS telah mampu membedakan jaringan payudara berlemak normal dengan jaringan ganas, ini tidak hanya memungkinkan untuk mengidentifikasi tumor ganas yang sangat kecil tetapi juga untuk membedakan antara pertumbuhan jinak dan ganas.

Panglima militer berharap untuk mengadaptasi teknologi gelombang mikro UWB untuk mendeteksi alat peledak improvisasi (IED) di lapangan. Laporan NATO yang baru-baru ini dideklasifikasi tentang penelitian ke dalam sistem deteksi genggam, berbasis kendaraan, dan sistem deteksi udara menguraikan beberapa dari saat ini dan tantangan rekayasa masa depan yang memengaruhi deteksi, pengenalan, dan identifikasi IED menggunakan gelombang mikro UWB. "Radar UWB telah muncul sebagai teknologi pilihan untuk deteksi ranjau darat yang lebih baik," kata laporan oleh konsultan teknis spesialis Inggris, Teknologi *Asosiasi Riset Listrik (ERA).* teknologi sensor ganda genggam yang menggabungkan Induksi Elektromagnetik (EMI) dan *Ground-Penetrating Radar (GPR)* telah memungkinkan peningkatan diskriminasi terhadap fragmen logam untuk ditunjukkan di ladang ranjau hidup.



Gambar 15.2 Radar PULSAR (a) dan arsitekturnya (b)

Aplikasi dan kontribusi teknologi UWB di bidang militer melalui sistem radar (radar PULSAR) telah dipelajari. Fitur radar UWB cukup meningkat karena kemampuannya untuk mendeteksi melalui rintangan dan media padat; yang dapat Semua aplikasi ini terkait dengan operasi penyelamatan dan lapangan militer yang berguna untuk mendeteksi orang yang terkubur di bawah (salju, batu, dan pertambangan), peningkatan penolakan kekacauan, peningkatan resolusi jangkauan radar, peningkatan deteksi target terbang rendah, dan peningkatan pengenalan target. UWB berdaya tinggi. UWB berdaya rendah juga dapat digunakan untuk kebutuhan sipil dan militer. UWB berdaya rendah dapat digunakan untuk keperluan sipil untuk menyediakan jaringan domestik dengan kecepatan data tinggi. Fitur terpenting dari teknologi UWB berdaya rendah adalah untuk kebutuhan militer .

Menggunakan IR-UWB dalam sistem komunikasi intra-skuad. Ini dapat memberikan fungsi lokalisasi dan identifikasi untuk tentara. Untuk aplikasi identifikasi, setiap m Kombinasi komunikasi yang aman dengan lokalisasi kooperatif atau radar jarak pendek memungkinkan untuk memiliki Identifikasi Teman atau Musuh (IFF) Sebuah Sensor Pengawasan Perimeter Ultra-Wideband (UWB) otomatis dan tak berawak dirancang untuk menyediakan deteksi dan pelacakan personel dan kendaraan di perimeter area kritis seperti instalasi militer dan fasilitas lain yang dikembangkan untuk sistem radar pertahanan perimeter pita ganda berdaya rendah untuk beroperasi sendiri atau bersama dengan sensor lain (Gambar 15.2).

Program Pertahanan Dalam Negeri menerima perhatian yang semakin meningkat yang telah menunjukkan kebutuhan signifikan untuk meningkatkan teknologi yang ada untuk pertahanan perimeter berbasis sensor, terutama di sekitar pangkalan militer dan situs komersial berisiko tinggi. Saat ini, sebagian besar sistem keamanan perimeter didasarkan pada kamera jarak jauh atau IR sistem yang dipantau oleh operator manusia; pendekatan ini padat karya dan tidak memungkinkan otomatisasi yang mudah.

Sejak Komisi Komunikasi Federal (FCC) telah mendeklarasikan teknologi UWB pada tahun 2002, standar komunikasi baru dan desain antena telah diusulkan dan sejumlah ilmuwan dan insinyur telah tertarik pada bidang penelitian ini. desain telah membawa komunikasi radar, aplikasi militer, teknologi biomedis, dan komunikasi ruang angkasa melalui satelit ke era baru.Untuk mencapai tujuan teknologi UWB di area aplikasi yang berbeda, beberapa desain antena UWB planar telah diusulkan. Namun, sebagian besar Antena lembaran ini telah dirancang untuk UWB dan Antena beroperasi dari 3 hingga 20 GHz. Antena ini cocok untuk digunakan dalam aplikasi UWB karena memiliki operasi bandwidth 13 GHz, yaitu pecahan dan lebar sekitar 147%. Antena lembaran ini dapat sangat berguna untuk aplikasi militer seperti dalam komunikasi radar, komunikasi Unmanned Aerial Vehicle (UAV), dan merancang sensor pengawasan untuk area militer yang kritis.

Kehadiran teknologi Ultra-Wideband untuk aplikasi radar memungkinkan pengembangan sensor yang ringkas dan relatif murah. Didedikasikan untuk aplikasi militer, perangkat radar yang menggunakan UWB sekarang menjadi alat yang baik untuk mendeteksi hambatan untuk banyak aplikasi. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur Radar yang memanfaatkan teknik frekuensi radio Ultra-Wide Band tentang radar UWB dengan sensor pendek ini adalah Radar, berdasarkan Teknologi UWB mentransmisikan sensor

elektromagnetik yang sangat pendek, yang memungkinkan untuk mengukur yang sangat kaya respon sementara informasi dari Target dan untuk memisahkan berbagai gema di resepsi.Hal ini membawa minat yang besar untuk hambatan. Radar berbasis UWB dapat digunakan dalam aplikasi militer untuk mendeteksi objek target seperti kendaraan lapis baja musuh, senjata, dan marinir.

Penerapan teknologi UWB untuk mencapai tujuan *Unmanned Ground Vehicles* (UGV) / *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk aplikasi militer potensial telah banyak berkontribusi. probabilitas rendah intersepsi atau deteksi (kerahasiaan), kekebalan relatif terhadap efek multipath, kapasitas spasial yang besar dibandingkan dengan sistem nirkabel lainnya, jangkauan dan komunikasi yang presisi secara simultan, dan daya pancar yang sangat rendah yang mengurangi kemungkinan gangguan dengan sistem radio lain.

Metodologi jaringan lebih relevan untuk menentukan aplikasi komunikasi UWB yang realistis untuk inisiatif sistem tak berawak, yang merupakan bagian integral dari Sistem Tempur Masa Depan. Penilaian dibuat untuk area tertentu seperti interoperabilitas UGV / UAV, komunikasi UAV-ke-UAV --nications, dan penghindaran tabrakan untuk UAV kecil dan analisis yang disajikan telah diterapkan untuk atau penentuan transisi teknologi ke sistem perang yang sedang berkembang.

Kemampuan kecepatan data yang tinggi dari sistem UWB untuk jarak pendek memiliki banyak aplikasi untuk jaringan rumah dan komunikasi yang kaya multimedia dalam bentuk *Wireless Personal Area Networks* (WPAN) dan aplikasi militer.Sistem UWB dapat menggantikan kabel yang menghubungkan camcorder, serta Mengingat penilaian ini, penelitian instruksi seperti radar UWB, Sensor Pengawasan UWB, antena UWB, pencitraan radar UWB, deteksi IED, dan lainnya tetap menjadi senjata utama dalam mendapatkan teknologi militer canggih selama pertempuran untuk melindungi pejuang dari ancaman yang sangat nyata. ditimbulkan oleh IED dan persenjataan tersembunyi.

15.4 Kesimpulan

Dalam bab ini, penerapan teknologi UWB di bidang militer telah diringkas. Karena penerapannya pada banyak teknologi maju dan yang sudah ada, topik UWB baru-baru ini mendapat perhatian yang signifikan dari para peneliti dan insinyur. Penerapannya yang lebih luas telah dievaluasi selama Insinyur dan pertahanan menanam upaya maksimal mereka untuk meneliti UWB untuk teknologi militer untuk mendapatkan keunggulan atas yang lain. Banyak teknologi terkemuka termasuk sistem teknologi militer, sektor pemerintah, sistem komunikasi, sistem pengawasan, penyelamatan, hiburan logistik, transportasi umum, dan lain-lain. dan insinyur tertarik pada penelitian tentang karakteristik teknologi UWB dan untuk melengkapi militer dengan teknologi terbaru. Bab ini telah membahas sebagian besar aplikasi populer UWB pada sistem militer dan kelebihannya, serta kekurangannya telah disajikan.

Mengenai penelitian masa depan , untuk menerapkan pengetahuan teknologi UWB, Kita perlu mengetahui ciri-ciri fisik, fitur-fitur, dan bagaimana memanfaatkan fitur-fitur teknologi UWB, bagaimana menghubungkan fitur-fitur tersebut dengan teknologi yang sudah ada seperti frekuensi narrowband tradisional, sehingga akan mudah untuk

menemukan area aplikasi baru dari UWB. teknologi dan untuk mengatasi keterbatasan teknologi yang ada.Studi penelitian masa depan UWB untuk aplikasi militer meliputi:

1. Teknologi Radar UWB untuk aplikasi militer dan sipil, untuk penyelamatan dan pemulihan bencana.
2. Pencitraan seperti sistem pemantauan jarak jauh, pencitraan gelombang mikro UWB untuk deteksi IED.
3. Kendaraan Darat Tak Berawak dan Kendaraan Arial Tak Berawak pengawasan dan pemantauan komunikasi.
4. Sistem Satelit dan penyedia radio satelit.
5. Deteksi ranjau darat menggunakan radar UWB.
6. Sistem deteksi berbasis kendaraan dan udara.

BAB 16
PERUTEAN REAL-TIME SADAR ENERGI UNTUK INTERNET OF THINGS INDUSTRI SKALA BESAR

16.1 Pendahuluan

Baru-baru ini, kemajuan teknologi dalam jaringan sensor nirkabel (WSN), sistem tertanam dan komunikasi nirkabel berdaya rendah telah memungkinkan banyak aplikasi pemantauan dan kontrol di berbagai domain termasuk sistem *Internet of Things* (IoT). sistem produksi industri disebut *Industrial Internet of Things* (IIoT) yang, ketika diadopsi dengan sukses, memberikan kemanjuran besar dan manfaat ekonomi untuk instalasi sistem, rawatan, keandalan, skalabilitas, dan interoperabilitas.Namun, konsumsi energi yang tinggi dari perangkat IIoT tetap menjadi tantangan yang signifikan , yang dapat mencegah perspektif IIoT menjadi kenyataan.

Umumnya, Jaringan Sensor Nirkabel (IWSN) industri memainkan peran penting sebagai tulang punggung sistem IIoT. Dengan demikian, karena pengumpulan data terutama bergantung pada sensor dan perangkat pintar ini, IWSN menjadi sumber konsumsi energi yang dominan di seluruh sistem. Misalnya, dengan memindahkan data perangkat IIoT secara oportunistik ke perangkat pintar yang dibawa oleh tenaga kerja di pengaturan pabrik, algoritma pemilihan tautan heuristik dan oportunistik (HOLA) yang diperkenalkan pada mencapai efisiensi energi. Selain itu, perangkat pintar ini dilengkapi dengan beberapa tautan radio seperti Bluetooth, Wi-Fi, dan 3G / 4G LTE yang dapat memilih secara mandiri tautan terbaik untuk mengirimkan data ke Cloud berdasarkan kualitas dan biaya energi tautan. Singkatnya, HOLA mengurangi keseluruhan konsumsi energi jaringan IIoT secara efektif serta menyeimbangkannya di seluruh ll perangkat jaringan.

Merancang skema penyebaran yang hemat energi adalah cara lain untuk mengatasi tantangan tersebut. Biasanya, ada empat jenis struktur topologi yang dieksploitasi untuk penyebaran IWSN skala besar: mesh, plane, hierarchical, dan hybrid. Namun, tidak seperti IWSN dan *Wireless Sensor Networks* (WSNs) tradisional, penulis menunjukkan bahwa IIoT dapat diterapkan ke skala yang lebih besar dan menjadi lebih kompleks. Selain itu, aplikasi IIoT memiliki persyaratan yang lebih canggih dan heterogen daripada nirkabel dan sensor ad hoc klasik.

Singkatnya, untuk mengembangkan teknologi IIoT untuk lingkungan yang keras, seperti perusahaan industri, secara efektif menjadi tuntutan dan tantangan bagi para peneliti karena tidak mungkin untuk mentransplantasikan semua skema yang digunakan di WSN atau bahkan IWSN skala besar di IIoT secara langsung Dengan kata lain, model penyebaran baru harus dirancang dan divalidasi untuk digunakan dengan tepat di sistem IIoT. Baru-baru ini, salah satu skema ini menyusun sistem IIoT menjadi tiga lapisan: lapisan sense, lapisan gateway, dan lapisan kontrol. Tujuan mendasar dari arsitektur tersebut adalah untuk membedakan node sebagai node sense, node gateway, dan node kontrol, sehingga

beban lalu lintas dapat seimbang, dan dengan demikian masa pakai jaringan dapat diperpanjang.

Clustering terbukti menjadi teknik yang efisien untuk memecahkan masalah konsumsi daya di I / WSNs skala besar dapat digunakan dalam sistem IIoT skala besar untuk mendapatkan target yang sama. Setiap cluster dikelola oleh seorang Cluster Head (CH), yang pada gilirannya mengumpulkan atau mengagregasi data anggota cluster dan kemudian diteruskan ke tujuan akhir atau kepala cluster lainnya.Selain itu, peran CH Dengan cara ini, sistem dapat mengurangi keseluruhan konsumsi energi dan menyeimbangkannya di seluruh node. Namun, tergantung pada kondisi tertentu (yaitu, topologi jaringan, kondisi saluran jaringan, status node, dll.), kluster yang efisien dibentuk dengan cara yang berbeda.

Misalnya, para peneliti mengusulkan algoritma pengelompokan yang akan mencari node perantara (IN) untuk mengelola subkluster sementara data agregat CH Dengan menggunakan komunikasi kooperatif kode air mancur umpan balik dan non-umpan balik, kinerja transmisi data meningkat secara signifikan di antara CH tetangga. Selain itu, melalui analisis pengaruh pemilihan ukuran cluster relai pada kecepatan data ujung ke ujung di kinerja relai kooperatif multi-hop Selain itu, untuk mengatasi masalah saluran yang tidak seimbang dari relai ke sumber / a, penulis menunjukkan bahwa pemilihan ukuran cluster yang optimal memainkan peran penting dalam memaksimalkan throughput relai dan data rate end-to-end tujuan dalam teknik kerjasama dual-hop dalam jaringan nirkabel berkerumun, berdasarkan kerangka *Three-Stage Relaying* (TSR), dua algoritma heuristik dirancang untuk mencapai trade-off antara optimalitas dan komputasi Dalam hal tumpukan protokol untuk aplikasi IIoT, beberapa teknologi nirkabel berdaya rendah seperti ZigBee, 6LoWPAN, WirelessHART, IAS100.1 dapat digunakan di perangkat lapangan (yaitu, sensor, aktuator, dll.) untuk menangani masalah konsumsi energi. Palattella et al. Mencantumkan tiga persyaratan inti, termasuk tumpukan komunikasi berdaya rendah, tumpukan komunikasi yang sangat andal, dan tumpukan komunikasi yang mendukung Internet.

Akibatnya, untuk memenuhi persyaratan ini, penulis mendemonstrasikan bahwa IEEE 802.15.4 adalah standar dengan dampak paling lama. Lapisan fisik berdaya rendah (PHY) di mana sebagian besar teknologi IIoT telah dibangun dimodulasi oleh IEEE 802.15.4. Untuk mendemonstrasikan peran vital IEEE 802.15 .4 di lingkungan industri, Al Agha dkk meninjau secara singkat spesifikasi semua teknologi nirkabel berbasis IEEE 802.15.4 yang digunakan di IWSN, dan kemudian mereka mengandalkan IEEE 802.15.4 untuk mengembangkan modul komunikasi sensor nirkabel yang dijalankan --ning dan protokol jaringan mesh ad hoc industri menggunakan lapisan PHY IEEE 802.15.4. Oleh karena itu, protokol berbasis IEEE 802.15.4 mereka dapat memenuhi kriteria lingkungan yang keras yaitu kendala waktu, strategi perutean konsumsi energi, dan mobilitas kecepatan berjalan manusia.

Namun, menuju penerapan praktis, solusi IWSN harus serbaguna, mudah digunakan dan dipasang, umur panjang, dan perangkat berbiaya rendah. Memang, konflik persyaratan menyebabkan sulitnya kombinasinya terpenuhi. Jadi, tergantung pada aplikasi spesifik, sistem harus dirancang dengan benar Misalnya, aplikasi utama IWSN dalam produksi industri mencakup tiga kelompok: penginderaan lingkungan, pemantauan kondisi, dan otomatisasi proses, yang memerlukan peningkatan tingkat kritis (misalnya, transmisi kritis waktu,

transmisi data prioritas-kritis). Lingkup pekerjaan penelitian kami kemudian merancang sistem IIoT dengan IWSN sebagai tulang punggung yang mendukung persyaratan industri tingkat terendah, yaitu aplikasi non-waktu kritis.

Untuk mendukung aplikasi industri semacam itu, bab ini mengusulkan hierarki kerangka kerja untuk sistem IIoT, yang terdiri dari tiga jenis elemen: perangkat I / O, router, dan gateway. Untuk efisiensi sistem, teknologi tumpukan daya yang lebih rendah (yaitu, IEEE 802.15.4a dengan protokol CSMA / CA MAC) digunakan di semua perangkat I / O. Metode clustering digunakan untuk mengelompokkan perangkat ini dan router dalam cluster dengan clustering yang optimal Cluster ini dikelola oleh router yang dipilih sebagai CH dengan tepat. CH ini kemudian meneruskan data yang dikumpulkan pada rute konsumsi energi yang lebih rendah.

Singkatnya, kontribusi utama dari bab ini adalah sebagai berikut:

Struktur organisasi tiga tingkat untuk sistem IIoT praktis diusulkan, yang terdiri dari tiga lapisan: lapisan penginderaan, lapisan relai, dan lapisan konvergensi.

Di lapisan penginderaan dan lapisan relai termasuk perangkat IO dan router, kami merancang kerangka kerja cluster untuk mengatur struktur cluster energi yang optimal. Perangkat I / O akan menghitung jarak transmisi dan indeks potensial (PI) untuk setiap router, dianggap sebagai CH, menggunakan energi sisa dan informasi posisi yang ditransmisikan dari router. Oleh karena itu, perangkat I / O hanya bergabung dengan cluster yang routernya memiliki indeks potensi terbesar.

Dengan mempertimbangkan persyaratan waktu kritis dari lingkungan industri, jalur perutean yang dipilih dengan mengeksploitasi jumlah hop terpendek dari CH ke gateway memungkinkan sistem memperoleh penundaan ujung ke ujung yang rendah.

Peningkatan sistem IIoT saat menerapkan skema yang diusulkan diperiksa oleh hasil simulasi, yang menunjukkan pencapaian tiga kali lipat: penghematan energi, meningkatkan masa pakai jaringan, dan menurunkan penundaan ujung ke ujung.

Sisa bab ini disusun sebagai berikut. Bagian 15.2 merangkum pekerjaan terkait. Bagian 15.3 menjelaskan model sistem dalam IIoT skala besar. Skema yang diusulkan, yaitu Skema Perutean Waktu Nyata yang Sadar Energi (ERRS), dalam bab ini disajikan di Bagian 15.4, diikuti dengan evaluasi kinerja di Bagian 15.5 Akhirnya, kesimpulan dan pekerjaan masa depan disajikan dalam Bagian 15.5.

16.2 Karya Terkait

Di bagian ini, kami menyajikan beberapa protokol perutean terkait dan terkenal yang baru-baru ini diusulkan untuk sistem IIoT.

Salah satu tujuan dari solusi IoT yang dirancang adalah untuk meningkatkan keandalan sistem IIoT melalui aplikasi pemantauan tingkat lanjut karena IoT menyediakan informasi real-time yang diperoleh dari perangkat yang terhubung dan interaksinya, serta melakukan eksperimen nyata melalui testbed ekstensif yang digunakan di lingkungan industri. Misalnya, Civerchia et al. Mengadopsi protokol IoT untuk mengembangkan solusi IIoT canggih yang ditujukan untuk generasi baru pabrik pintar.

Skema yang mereka usulkan, yaitu solusi NGS-PlantOne, dirancang untuk mendukung aplikasi pemeliharaan prediktif canggih di By mengevaluasi skema yang diusulkan melalui testbed nyata selama 2 bulan, solusi IIoT yang diusulkan dapat menjamin Lingkungan industri, yang didasarkan pada empat komponen utama: perangkat sensor, gateway, remote control dan ruang layanan, dan komunikasi platform terbuka. bahwa semua node dapat berkomunikasi satu sama lain dengan penundaan yang dapat diterima atau mengurangi daya baterai konsumsi daya secara signifikan.

Sementara itu, untuk menyebarkan jaringan IoT untuk pabrik pintar, penulis menggunakan IPv6 melalui Jaringan Area Pribadi Nirkabel berdaya Rendah (6LoWPAN) dalam kombinasi dengan Protokol Perutean IPv6 untuk Daya Rendah dan Jaringan Rugi (RPL) Dan *Constrained Application Protocol* (CoAP) untuk IWSN. Dalam topologi jaringan industri, penulis merancang jaringan otomatisasi pabrik berkabel yang tidak hanya dapat terhubung langsung ke Internet tetapi juga berkomunikasi dengan IWSN. Percobaan simulasi dan testbed menunjukkan bahwa semua topologi diukur memiliki latency rata-rata lebih rendah dari 400 ms.

Untuk sistem skala besar, clustering adalah salah satu metode yang paling efisien untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Tergantung pada struktur serta karakteristik jaringan, cluster dibentuk di bawah kondisi spesifik yang berbeda. Misalnya, berdasarkan local teori dunia, model baru pengelompokan tertimbang yang berkembang dari WSN diusulkan untuk IoT . Skema yang diusulkan memperhitungkan energi sensor, jarak transmisi, dan aliran untuk menentukan bobot tepi dan kekuatan simpul.

Karena mengendalikan pertumbuhan dan bobot topologi skema yang membentuk cluster yang tidak rata mencegah lubang energi dan menjaga keseimbangan konsumsi energi seluruh jaringan IoT. Pada tahap pertama, untuk menentukan kepala cluster, algoritma mempertimbangkan derajat dan jarak relatif antara Selanjutnya, pada tahap kedua, *Bee Colony Optimization* (BCO) digunakan untuk memprediksi hasil rute setiap bagian perutean dari node sumber ke node sink. Ini mengarah pada peningkatan kinerja jaringan secara keseluruhan atau memperpanjang waktu kelangsungan hidup jaringan.

Sedangkan memilih rute maju yang dapat menghubungkan lebih banyak penerima multi-cast menggunakan skema back-off offset dan karakteristik siaran dari komunikasi nirkabel, menyajikan metode perutean yang seimbang energi berdasarkan *Forward-Aware Factor* (FAF) -EBRM) untuk WSN. Berkat kesadaran akan bobot tautan dan kepadatan energi ke depan, FAF-EBRM dapat menyamai node hop berikutnya yang andal dalam rute. Kemudian, berdasarkan mekanisme rekonstruksi spontan untuk topologi lokal, FAF - EBRM mengungguli skema konvensional, seperti *Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) dan *Energy-Efficient Uneven Clustering* (EEUC), dalam hal menyeimbangkan konsumsi energi, memperluas masa pakai jaringan, dan menjamin Kualitas Layanan (QoS) yang tinggi dari WSN.

Sebuah protokol routing berbasis cluster hemat energi, yang disebut Quasi Group Routing Protocol untuk jaringan smartphone multi-hop berbasis Wi-Fi Direct. Dengan demikian, semua perangkat dalam jaringan dikelompokkan ke dalam kuasi - gro up (cluster) dan kepala cluster dipilih berdasarkan tiga pendekatan yang berbeda: (1) perangkat dengan

ID tertinggi di sekitarnya, (2) rekan yang memiliki jarak rata-rata terpendek dari node lain, (3) node dengan Selain itu, algoritme memungkinkan perangkat untuk memutar tanggung jawab CH dan mengelola konsumsi baterainya secara efisien. Skema yang diusulkan yang divalidasi melalui simulasi dapat menghemat sejumlah besar energi.

Umumnya, konsumsi energi di WSN dipengaruhi tidak hanya oleh jumlah total data yang dirasakan dan dikumpulkan, tetapi juga skema perutean.Meskipun metode pengisian daya kolaboratif dapat menangani pengaruh secara efektif, utilitas Jaringan Sensor Isi Ulang Nirkabel (WRSN) Zhang et al mengembangkan algoritma BEAS untuk mengelola penggunaan energi baterai secara efisien, dan algoritma DSR2C untuk mendapatkan tingkat penginderaan dan perutean yang optimal. Oleh karena itu, tingkat konsumsi energi terkendali, dengan mengatakan bahwa tetap lebih rendah dari alokasi energi Selain itu, node sensor memilih jalur dengan konsumsi energi terendah untuk mentransfer data dengan menggunakan protokol perutean yang sadar pengisian daya.

Dengan cara ini, konsumsi energi jaringan dapat diseimbangkan dengan masa pakai yang lama juga. Masalah alokasi energi dirumuskan berdasarkan energi Berkenaan dengan perutean informasi dalam jaringan darurat dan keselamatan publik, protokol perutean multi-hop baru yang disebut Pendekatan Perutean yang Dioptimalkan untuk Jaringan Kritis dan Darurat (Berkaitan dengan perutean informasi dalam jaringan darurat dan keselamatan publik, multi-hop baru protokol perutean yang disebut Pendekatan Perutean yang Dioptimalkan untuk Jaringan Kritis dan Darurat.ORACE-Net Sebagai protokol perutean berbasis metrik, skema perutean yang diusulkan mengandalkan estimasi kualitas tautan ujung-ke-ujung waktu-nyata metrik termasuk kekuatan sinyal ujung ke ujung dan ujung ke ujung Diinvestigasi oleh proses simulasi, protokol yang diusulkan mengungguli protokol yang dipelajari lainnya dalam hal tingkat penerimaan paket dan konsumsi energi. Selain itu, meningkatkan masa pakai jaringan tubuh-ke-tubuh dan keandalan.

16.3 Model Sistem

16.3.1 Topologi Jaringan

Untuk mengatasi kelemahan dalam jaringan skala besar kami, metode perutean statis yang dirancang berdasarkan biasanya, layak untuk menggunakan protokol perutean dinamis untuk WSN skala kecil, namun sejumlah besar energi dihabiskan untuk proses data dan komunikasi data. Struktur topologi jaringan berjenjang digunakan karena dapat memigrasikan beban lalu lintas secara efektif [24, 25]. Dengan demikian, model jaringan dibangun dari tiga lapisan, yaitu lapisan penginderaan, lapisan relai, dan lapisan konvergensi seperti yang digambarkan pada Gambar. 17.1 Lapisan penginderaan berisi sensor industri dan identifikasi frekuensi radio (RFID), yang disebut perangkat I / O, yang memperoleh dan mengirimkan data ke lapisan relai. Di lapisan relai, router saling berhubungan dan meneruskan data ke gateway yang bertanggung jawab untuk mengunggah data ke Internet Menurut fungsi dan spesifikasi perangkat I/O, router, dan gateway, aturan komunikasi antara dua elemen IIoT didefinisikan sebagai berikut:

- Perangkat I / O, si, tidak dapat berkomunikasi langsung dengan perangkat I / O lain

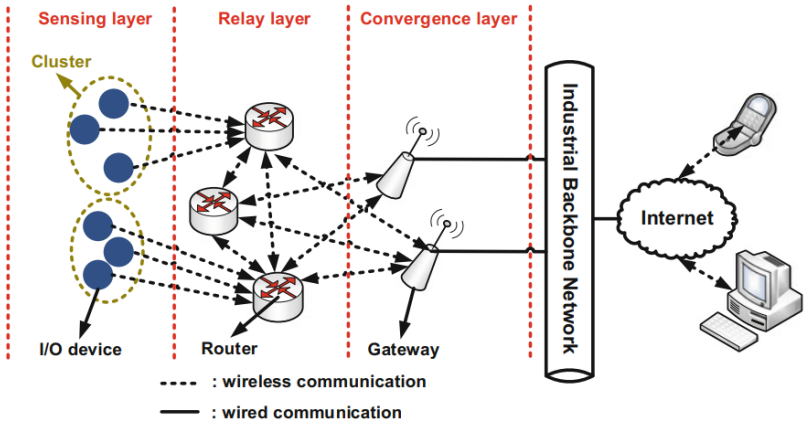
$$(s_i, s_j \in S; d_{s_i s_j} \leq d_{s_{\max}});$$

- Perangkat I / O, si, hanya dapat mengirimkan paket data ke router,

$$r(s \in S, r \in R; d_{sr} \leq d_{s_{\max}});$$

- Sebuah router, ri, dapat menjangkau yang lain, rj, atau gateway,

$$g(r_i, r_j \in R, g \in G; d_{r_i r s_j} \leq d_{s_{\max}}, d_{r_i g} \leq d_{r_{\max}}).$$



Gambar 16.1 Topologi jaringan untuk penyebaran IIoT skala besar di lingkungan industri

Tabel 16.1 Notasi model system

Simbol	Definisi
du,v	Jarak antara simpul u dan simpul v
S, R, G	Set perangkat I / O, router, dan gateway, masing-masing
s ∈S, r ∈R, g ∈G	Perangkat I / O, router, dan gateway, masing-masing
*ds*max , *dr*max	Jarak komunikasi perangkat I / O, dan router, masing-masing
*E*elec	Energi yang dikonsumsi untuk memproses data
‹mp, ‹fs	Koefisien fading multi-jalur yang bergantung pada jarak dan model saluran ruang bebas
*d*0	Ambang batas untuk beralih ke saluran fading multi-jalur
EDA	Energi untuk agregasi dan kompresi
Es, Er , Eg	Konsumsi energi perangkat I / O, router, dan gateway, masing-masing
Eij (*k, dij*) *tx*	Konsumsi energi perangkat I / O i ketika mengirim paket k-bit melalui jarak dij ke perangkat j
Eij (*k*) *rx*	Konsumsi energi perangkat I / O j ketika menerima paket k-bit dari perangkat i
*E*init	Energi awal elemen IIoT

16.3.2 Definisi Variabel

Tabel 17.1 mencantumkan dan mendefinisikan semua notasi parameter dan variabel yang digunakan dalam bab ini.

16.3.3 Model Energi

Untuk mengevaluasi efisiensi energi ERRS, bab ini menggunakan model energi yang diperkenalkan pada [26] Energi untuk mentransmisikan paket panjang k-bit dari node u ke node v dihitung dengan

$$E_{tx}^{uv}(k, d_{u,v}) = \begin{cases} E_{\text{elec}} \times k + \epsilon_{\text{fs}} \times k \times d_{uv}^2 & \text{if } \mathrm{d}_{uv} \leq d_0 \\ E_{\text{elec}} \times k + \epsilon_{\text{mp}} \times k \times d_{uv}^4 & \text{if } \mathrm{d}_{uv} \geq d_0 \end{cases}. \qquad (17.1)$$

Untuk menerima paket k-bit, jumlah energi yang dikonsumsi pada simpul v diberikan oleh

$$E_{rx}^{uv}(k) = (E_{\text{elec}} + E_{DA}) \times k. \qquad (17.2)$$

Mengingat sebuah cluster dengan satu set perangkat I / O N (| N | <| S |), Es, Er, dan Eg, masing-masing dihitung dengan

$$\begin{aligned} E_s &= E_{tx}^{sr}(k, d_{sr}), \\ E_r &= \sum_{i=1}^{|N|} E_{rx}^{s_i r}(k) + \sum_{z,j=1}^{|M|} \left\{ E_{tx}^{rr_j}(k, d_{rr_j}) + E_{rx}^{r_z r}(k) \right\} \\ &\quad + \sum_{u=1}^{|O|} E_{tx}^{rg_u}(k, d_{rg_u}), \\ E_g &= \sum_{j=1}^{|P|} E_{rx}^{r_j g}(k). \end{aligned} \qquad (17.3)$$

dimana M, O adalah himpunan node tetangga dari router r, dan P adalah himpunan node tetangga gateway g (| M |, | P | ≤| R |, | O |≤ | G |).

Oleh karena itu, konsumsi energi Ecluster, i dalam cluster i dihitung dengan

$$E_{\text{cluster},i} = \sum_{j=1}^{|N|} E_{s_j} + E_{r_i}. \qquad (17.4)$$

Konsumsi energi total dalam putaran Eround diberikan oleh

$$E_{\text{round}} = \begin{cases} E_{\text{cluster},i} + E_g & \text{if } L = 1 \\ E_{\text{cluster},i} + \sum_{j=1}^{L} E_{r_j} + E_g & \text{if } L = 1 \end{cases}, \qquad (17.5)$$

di mana putaran didefinisikan sebagai data yang dikumpulkan dari perangkat I/O ke gateway, dan L adalah jumlah hop dari cluster i ke gateway g.
Karena tujuan utama yaitu untuk meminimalkan konsumsi energi untuk sistem IIoT, formulasi optimasi bab ini ditentukan oleh:

$$\begin{aligned} &\textbf{Minimize } E_{\text{round}} \\ &\textbf{subject to } E_s, E_r, E_g \geq 0 \\ &\qquad E_{\text{cluster}} \geq 0 \\ &\qquad |N| \leq |\mathcal{S}| \\ &\qquad |M|, |P| \leq |\mathcal{R}| \\ &\qquad |O| \leq |\mathcal{G}| \end{aligned} \quad . \qquad (17.6)$$

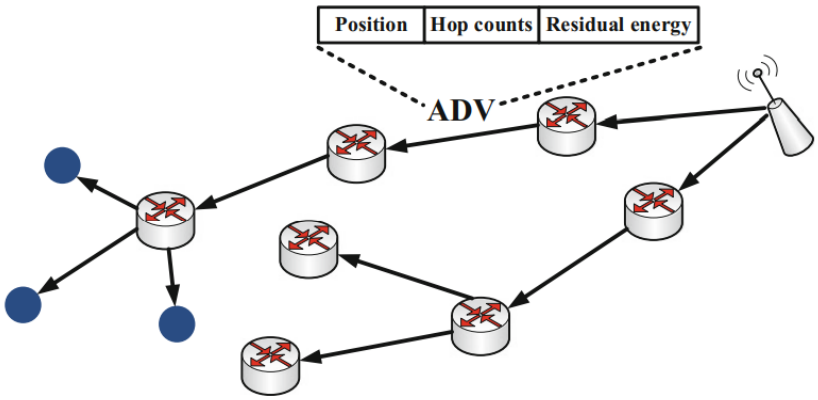
Menurut model pengoptimalan, untuk meminimalkan seluruh konsumsi energi dari sistem IIoT skala besar, pertama, daya yang dikonsumsi untuk satu putaran harus dioptimalkan, yang mengarah pada permintaan untuk meminimalkan konsumsi energi baik untuk transmisi atau penerimaan I / Perangkat O, router, dan gateway. Selanjutnya, algoritme perutean akan mencari jalur konsumsi energi terendah yang memiliki jumlah hop paling sedikit dari CH ke gateway. Selain itu, di lingkungan yang keras, seperti IIoT, jumlah hop juga berperan bagian penting dalam meneruskan data secara real time. Pada Bagian 67.4, proses routing akan dijelaskan secara rinci.

16.4 Skema Perutean Waktu Nyata Sadar Energi (ERRS)

Dalam jaringan, untuk memperbarui informasi node tetangga sebelum membuat cluster atau merutekan data, elemen IIoT dalam bab ini bergantung pada protokol proaktif seperti Router dan gateway secara berkala menyiarkan paket iklan (ADV) setelah periode yang telah ditentukan Paket ADV berisi informasi tentang posisi, jumlah hop, dan energi sisa dari semua elemen IIoT dalam jaringan, seperti yang digambarkan pada Gambar 16.2. Setelah menerima paket ADV, semua node IIoT dapat memanfaatkan informasi yang tersedia untuk memilih cluster yang memiliki router potensial, dan membangun rute data ke gateway.

16.4.1 Skema Pengelompokan

Karena organisasi klaster bergantung sepenuhnya pada komputasi efisiensi energi yang diperlukan dan memutuskan klaster potensial mana yang harus diikuti oleh perangkat I/O, masa pakai jaringan dalam sistem IIoT akan diperpanjang secara signifikan. (n 1 atau n > 1) dalam jangkauan komunikasi perangkat I/O dilakukan melalui prosedur pertukaran paket antara perangkat I/O dan router.



Gambar 16.2 Memperbarui informasi dari paket ADV

Tabel 16.2 Daftar paket yang digunakan oleh perangkat I/O dan router dalam proses pembentukan cluster

n	Paket	Arti
n = 1	HALO-REQ	Mulai pembentukan cluster yang ditandai oleh router
	REV-HALO-REQ	Tanda terima HELLO-REG yang diinformasikan oleh perangkat I / O
	YA-RES	Tunjangan penggabungan cluster dikonfirmasi oleh router
n >1	HALO-REQ	Mulai pembentukan cluster yang ditandai oleh router
	TUNGGU-RES	Tanda terima HELLO-REG yang diinformasikan oleh perangkat I / O
	JOI-REQ	Penggabungan cluster diminta oleh router
	SEL-RES	Cluster yang dipilih dengan CH yang diinformasikan oleh perangkat I / O

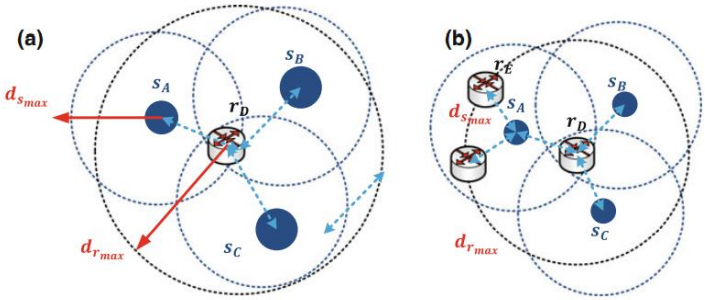
Untuk kejelasan deskripsi proses clustering, paket-paket penting tercantum pada Tabel 16.2. n 1: Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 16.3a, untuk menginisialisasi proses clustering, paket HELLO-REQ (hello-request) disebarkan dari router rD perangkat I / O tetangganya termasuk sA, sB, dan sC untuk menginformasikan Mereka memiliki perannya Tidak seperti paket ADV, HELLO-REG adalah sebagai pesan suar tanpa menyertakan informasi yang bertujuan untuk menginformasikan perangkat I / O tetangga bahwa proses pembentukan cluster dimulai. Karena hanya menerima satu paket HELLO-REQ yang dikirim dari rD, tiga Perangkat I / O segera memutuskan untuk menjadi anggota cluster dari cluster router rD tanpa mempertimbangkan efisiensi energi Ketika sA, sB, dan sC berharap untuk bergabung dengan cluster rD, mereka mengirimkan REV-HELLO-RES (*receive-hello-response*) paket yang berisi nomor identifikasi, energi sisa, dan informasi posisi untuk mengakui penerimaan paket HELLO-REQ dan untuk mendapatkan izin dari CH rD. Jika REV-HELLO-RES berhasil diterima oleh CH rD, rD mengizinkan tiga I / O perangkat untuk menjadi anggota clusternya dengan mengirimkan YES-RES (yes-response) pa cket termasuk informasi routing dengan CH ke sA,

sB, dan sC. Kemudian, perangkat I / O memperbarui tabel routing mereka sendiri, dan organisasi cluster selesai, seperti yang dijelaskan pada Gambar 16.4.
n> 1: Tidak seperti perangkat I / O sB, dan sC pada Gambar 16.3b, sA dapat berkomunikasi dengan router rD, rE, dan rF, oleh karena itu, kami hanya mempertimbangkan pemilihan cluster perangkat I / O sA. Untuk memberi tahu tiga router tentang penerimaan paket HELLO-REQ yang berhasil dari mereka, perangkat I / O sA menyiarkan paket WAIT-RES (waiting-response) yang berisi energi sisa dan informasi posisinya.

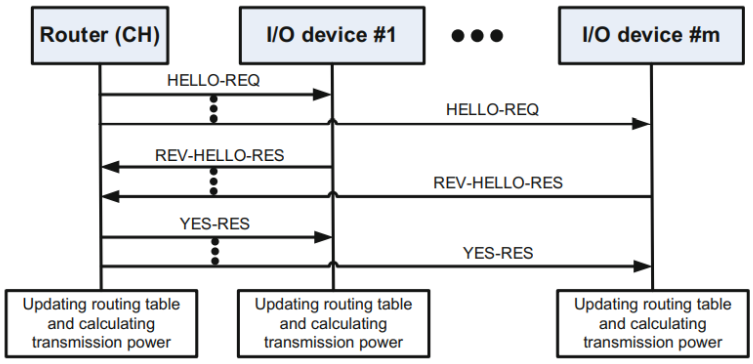
Termasuk energi sisa sA, energi sisa rata-rata semua perangkat I / O di setiap cluster yang dihitung oleh router diberikan oleh

$$\bar{E}_{\text{cluster-res}_j} = \frac{\sum_{i=1}^{|W|} E_{s\text{-res}_i}}{|W|}, \qquad (17.7)$$

dimana $E_{s\text{-res}_i} = E_{\text{init}} - \sum_{\text{round}=1}^{\infty} E_{s_i}$ adalah energi sisa dari perangkat I/O ke-i, dan W adalah himpunan perangkat I/O dalam sebuah cluster. Kemudian, paket JOI-REQ (joining-request) berisi rata-rata energi sisa dan lokasi rD, rE, dan rF dibalas dari tiga router ke s_A.



Gambar 16.3 Distribusi router: satu router dalam jangkauan komunikasi setiap perangkat I/O, dan b tiga router dalam jangkauan komunikasi satu perangkat I/O

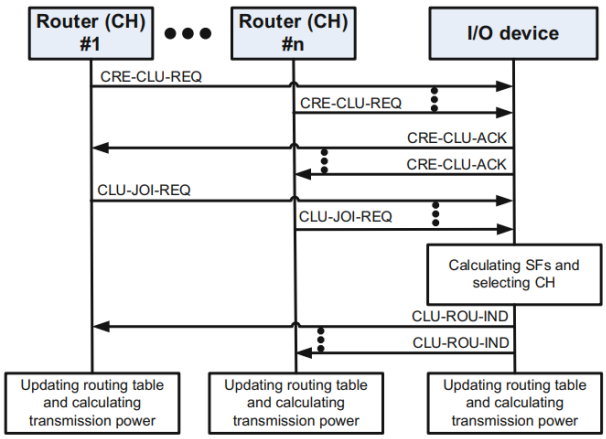


Gambar 16.4 Membuat cluster dengan n = 1

Dengan mempromosikan informasi di JOI-REQ, PI yang dihitung sA untuk setiap router diperoleh dari berikut ini:

$$\mathrm{PI}_{s_k r_j} = \frac{E_{s\text{-res}_k}}{\bar{E}_{\text{cluster-res}_j}} \times \frac{1}{d_{s_k r_j}}, \qquad (17.8)$$

dimana $d_{s_k r_j} = \sqrt{(x_{s_k} - x_{r_j})^2 + (y_{s_k} - y_{r_j})^2}$. Di antara tiga router, sA memutuskan untuk bergabung dengan cluster yang CH-nya memiliki PI terbesar dan menginformasikan rD, rE, dan rF tentang pemilihannya melalui paket SEL-RES (selection-response). Router, sebagai CH potensial, didefinisikan sebagai



Gambar 16.5 Membuat cluster dengan n> 1

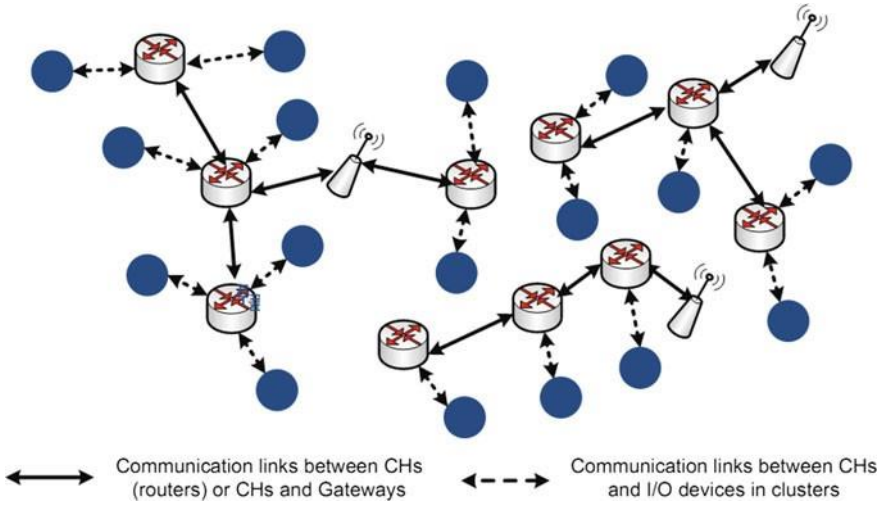
$$\mathrm{CH} = \left\{ r_j \,\middle|\, \arg\min\left\{\mathrm{PI}_{s_k r_j}\right\}, \quad r_j \in \mathcal{R}, \quad s_k \in \mathcal{S} \right\}. \qquad (17.9)$$

Proses pembuatan cluster untuk kasus ini diringkas pada Gambar 17.5.

16.4.2 Skema Perutean

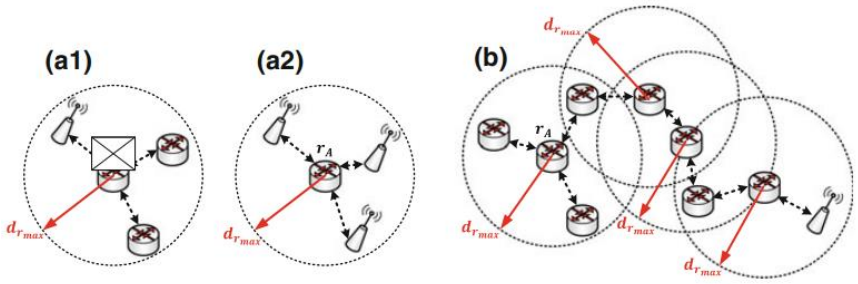
Setelah menyelesaikan proses organisasi klaster, sistem IIoT mencakup klaster yang terbentuk dan CH yang dipilih (router yang dipilih) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 16.6.

$$g_{\text{des}} = \left\{ g_i \,\middle|\, \arg\min_{Z}\{d_{r_A g_i}\}, \quad g_i \in Z, \quad Z \subset \mathcal{G} \right\}, \qquad (17.10)$$



Gambar 16.6 Contoh topologi sistem IIoT dengan cluster dan CH (router) yang dipilih setelah menyelesaikan satu putaran organisasi clustering

Dalam sebuah cluster, setelah menggabungkan data yang ditransmisikan oleh perangkat I / O selama waktu transmisi yang dialokasikan, setiap router menyediakan fungsi perutean waktu-nyata yang sadar energi untuk meneruskan data ke gateway. pesan INI-ROU *(initializing-route)* disebarkan dari router ke tetangganya dalam jangkauan komunikasi drmax. Jika tetangga berhasil menerima INI-ROU, mereka meminta izin untuk meneruskan data dengan mentransmisikan WAIT-ACK pesan yang terdiri dari alamat mereka, jumlah hop, energi sisa, dan informasi posisi.



Gambar 16.7 Distribusi gateway: a gateway terdistribusi dalam jangkauan komunikasi rA, dan b gateway terdistribusi di luar jangkauan komunikasi rA

di mana Z adalah satu set gateway dalam jangkauan komunikasi rA, dan

$$d_{r_A g_i} = \sqrt{\left(x_{r_A} - x_{g_i}\right)^2 + \left(y_{r_A} - y_{g_i}\right)^2}.$$

Dalam hal hanya ada gateway dalam jangkauan komunikasi rA seperti Gambar 16.7a1, data diteruskan langsung dari rA ke gateway secara langsung setelah rA menerima WAIT-ACK dari gateway.Namun, mengenai Gambar 16.7a2, jika several tetangga gateway didistribusikan dalam jangkauan komunikasi rA, algoritma routing menggunakan jarak

transmisi untuk memilih gateway.Untuk menyelesaikan rute, rA hanya mengirimkan data ke gateway terdekat yang ditentukan oleh

$$\bar{d}_{r_A r} = \frac{\sum_{i=1}^{|Q|} d_{r_A r_i}}{|Q|} \qquad (17.11)$$

di mana Q adalah himpunan node tetangga r_A dan $d_{r_A r_i} = \sqrt{\left(x_{r_A} - x_{r_i}\right)^2 + \left(y_{r_A} - y_{r_i}\right)^2}$. Kemudian, energi sisa rata-rata | Q | node tetangga ditentukan oleh

$$\bar{E}_{r\text{-res}} = \frac{\sum_{i=1}^{|Q|} E_{r\text{-res}_i}}{|Q|}, \qquad (17.12)$$

Dimana

$$E_{r\text{-res}_i} = E_{\text{init}} - \sum_{\text{round}=1}^{\infty} E_{r_i}.$$

Karena permintaan untuk meminimalkan energi transmisi dan menjaga keseimbangan sistem IIoT, pada tahap pertama pemilihan forwarder hop berikutnya, skema perutean menggunakan jarak transmisi data dari rA ke tetangganya dan energi sisa setiap tetangga. bahwa jarak transmisinya kurang dari drAr dan energi residunya lebih besar dari Er-res, ia dapat mengambil bagian dalam himpunan yang ditentukan oleh NH sebagai berikut:

$$\mathcal{NH} = \left\{ r_i | d_{r_A r_i} \le \bar{d}_{r_A r} \wedge E_{r\text{-res}_i} \ge \bar{E}_{r-\text{res}}, \quad r_i \in Q, \quad Q \subset \mathcal{R} \right\} \qquad (17.13)$$

Bergantung pada peran jumlah hop yang disajikan dalam Persamaan (17.5), untuk menurunkan konsumsi daya dan penundaan ujung ke ujung di IoT, di antara router di NH, penerus potensial rA secara akurat sebagai berikut:

$$r_{\text{NH}} = \left\{ \{ r_i | \arg\min_{\mathcal{NH}} \{\text{hop counts}\}, \quad r_i \in \mathcal{NH}, \quad \mathcal{NH} \subset \mathcal{R} \right\}. \qquad (17.14)$$

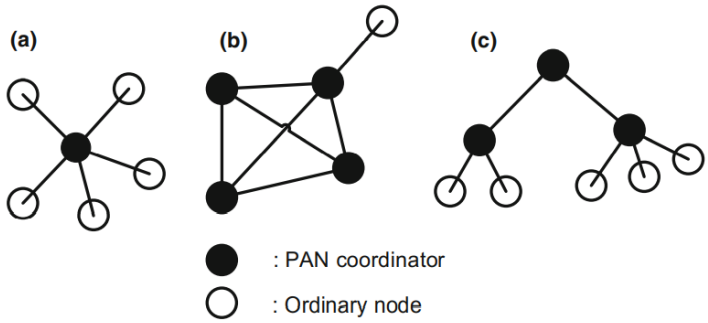
Akhirnya, dalam penyelesaian penentuan hop potensial berikutnya, rA membalas pesan INI-ROU yang dimodifikasi untuk menunjukkan router mana yang mendapat izin untuk meneruskan data. Router berikutnya bertanggung jawab untuk melakukan proses perutean sampai tujuan rA berhasil menerima semua paket data dari dia.

16.5 Evaluasi Kinerja

16.5.1 IEEE 802.15.4a Skema CSMA / CA untuk IIoT

Dengan menggunakan saluran 14/16 pada pita ISM, IEEE 802.15.4a memberikan saluran ke setiap cluster untuk menghindari interferensi antar-cluster.Selain itu, IEEE 802.15.4a juga menyediakan Chirp Spread Spectrum (CSS))) PHY yang digunakan secara luas untuk memecahkan masalah konsumsi energi dalam jaringan skala besar. Berkat mekanisme manajemen daya yang ditentukan oleh IEEE 802.15.4a, mode yang mengaktifkan beacon berpotensi mengurangi daya konsumsi.

Dalam hal pengaksesan saluran, meskipun TDMA digunakan untuk memenuhi persyaratan keandalan dalam aplikasi industri dan IoT, ada beberapa batasan ketat pada durasi slot TDMA, yaitu, yang ditetapkan hingga 10 ms di WirelessHART, dan panjang frame TDMA akan diperpanjang jika ada peningkatan jumlah sensor di IIoT, sehingga tidak sefleksibel IEEE 802.15.4 dalam hal durasi superframe dan interval beacon Selain itu, berdasarkan *Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance* (CSMA / CA IEEE 802.15.4 memberikan beberapa keuntungan yang membuat nyata. Jadi, dalam simulasi ini, elemen IIoT mengoperasikan protokol CSMA / CA IEEE 802.15.4a dengan mode beacon-enable sebagai lapisan MAC sementara CSS diimplementasikan pada lapisan PHY Dengan kata lain, standar IEEE 802.15.4 menyediakan lapisan jaringan dasar yang lebih rendah dari jenis jaringan area pribadi nirkabel (WPAN), yang berkonsentrasi pada biaya rendah, kecepatan rendah, komunikasi di mana-mana antara perangkat. Komponen dasar dalam jaringan IEEE 802.15.4 terdiri dari koordinator PAN dan node. Koordinator PAN bertanggung jawab untuk mengelola seluruh jaringan, sedangkan node biasa berhubungan dengan koordinator untuk berpartisipasi dalam opsi jaringan.Mengenai topologi jaringan, IEEE 802. 15.4 tidak hanya mendukung jaringan bintang sederhana, tetapi juga menggunakan topologi multi-hop, seperti pohon cluster dan mesh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.8. Dalam penelitian ini, kami menerapkan algoritma yang diusulkan dalam topologi cluster-tree dari IEEE 802.15.4 standar untuk mengungkapkan efisiensi algoritma.



Gambar 17.8 Topologi yang didukung oleh IEEE 802.15.4: jaringan bintang, jaringan b mesh, dan pohon cluster c

16.5.2 Model Simulasi

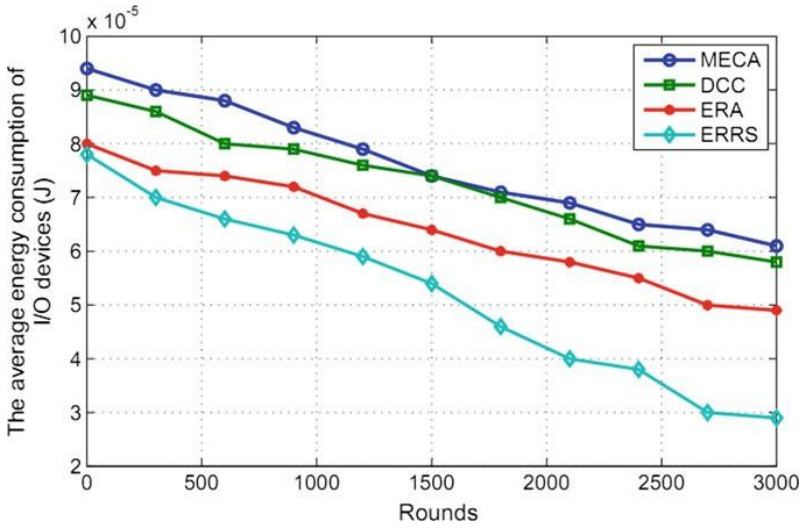
ERRS diverifikasi oleh OPNET Modeler. Sistem IIoT mencakup 300 perangkat I / O, 100 router, dan 50 gateway. Gateway bertindak sebagai koordinator PAN dan router bertindak sebagai koordinator. Sementara itu, semua perangkat I / O bertindak sebagai perangkat akhir yang terkait dengan Semua elemen IIoT dialokasikan secara acak di area seluas 500 500 m2 Tabel 16.3 merinci parameter simulasi utama.

Tabel 16.3 Parameter simulasi

Simbol	Definisi
Ukuran medan IIoT	500 m × 500 m
Distribusi elemen IIoT	Secara acak
| S |	300
| R |	100
| G |	50
*ds*max *, dr*max	[0; 15 m]
lapisan MAC	IEEE 802.15.4a CSMA / CA dengan mode aktifkan suar
Durasi satu slot periode backoff untuk operasi	320 µs
Beacon order (0 ≤ BO ≤ 14)	13
Beacon interval (BI = 15.36 × 2BO)	125.8 s
Superframe order (0 ≤ SO ≤ BO ≤ 14)	7
Active period (SI = 15.36 ×2SO)	1.97 ms
lapisan PHY	CSS
Rentang penginderaan pembawa	30 m
propagasi radio	Two-way ground
Kecepatan data	11 Mbps
Ukuran paket	32 bytes
*E*elec	50 nJ/bit
EDA	5 nJ/bit/signal
*E*init	2J
‹fs	10 pJ/bit/m^2
‹mp	0.0013 pJ/bit/m^4
*d*0	75 m

16.5.3 Hasil Simulasi

Untuk mengungkap peningkatan ERRS, dibandingkan dengan *Minimal Energy Consumption Algorithm (MECA), Distributed Cluster Computing Energy-Efficient Routing Scheme (DCC)*, dan *Energy-Aware Routing (ERA)*, ERRS sangat mirip dengan, terbatas hanya pada Jaringan Sensor Nirkabel, bukan sistem yang lebih besar dan kompleks seperti IIoT.



Gambar 16.9 Konsumsi energi rata-rata perangkat I / O

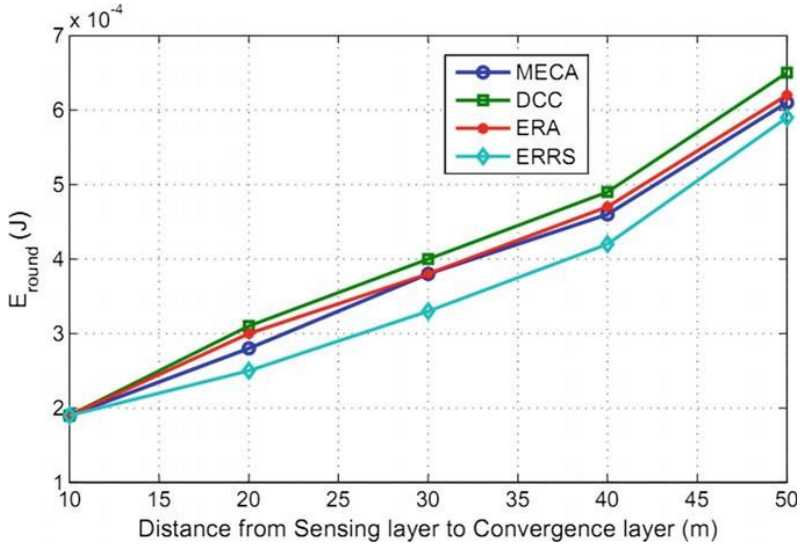
`Sementara itu, MECA dan DCC digunakan. untuk memenuhi syarat batasan daya dalam sistem IoT. MECA menggunakan model optimasi untuk menemukan yang terendah jalur energi dari sumber ke tujuan, sedangkan DCC hanya berfokus pada indikasi bagaimana membentuk cluster menggunakan energi sisa.Namun, penulis MECA dan DCC Berkat routing yang optimal diimplementasikan pada IEEE 802.15.4a CSMA/CA, ERRS mengungguli skema konvensional dalam hal penghematan daya dan penundaan ujung ke ujung.

Konsumsi Energi

Gambar 16.9 menggambarkan energi rata-rata yang dikonsumsi oleh perangkat I/O saat menambah jumlah putaran.

Dari keempat skema perutean yang mengurangi konsumsi energi perangkat I / O, ERRS dapat mencapai disipasi energi terendah, penurunan bertahap dari 7,8 10-5 menjadi 2,9 10-5 J, dibandingkan dengan metode lain.

MECA mencari jalur yang mengkonsumsi energi terendah untuk meneruskan data hanya menggunakan pohon Steiner dan metode pengelompokan K-means sederhana. Jarak transmisi tidak dianggap sebagai metrik untuk membentuk cluster dan rute. Data dengan node penginderaan di MECA adalah yang tertinggi di antara empat skema routing. Penulis DCC dan ERA mempresentasikan metode optimal yang dapat membuat cluster potensial menggunakan energi sisa dan jarak. Namun, DCC menerapkan algoritma dalam topologi yang terdiri dari BS sementara skema di ERA diusulkan di WSN. Oleh karena itu , ketika digunakan dalam sistem IIoT skala besar, jelas, setiap perangkat I / O dalam algoritma di atas tidak dapat menghemat daya sebanyak ERRS.



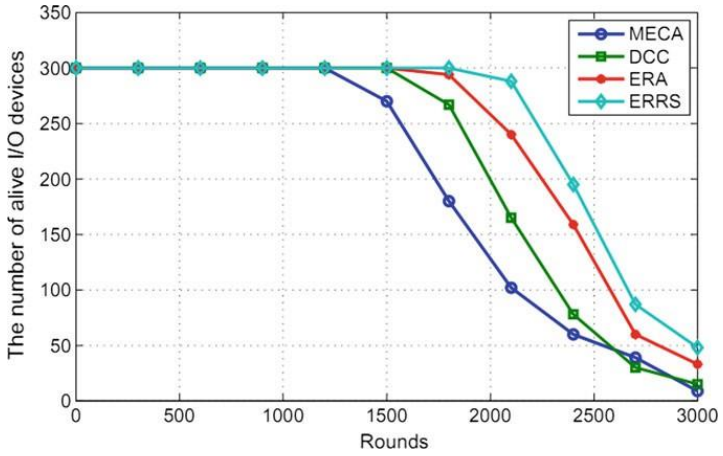
Gambar 16.10 Eround versus jarak antara lapisan penginderaan ke lapisan konvergensi

Karena skala besar sistem IIoT, jarak transmisi menjadi tantangan untuk perutean.Karena meneruskan data langsung ke tujuan alih-alih jalur multi-hop, semua CH di DCC membutuhkan konsumsi daya transmisi lebih banyak daripada ERA dan penerapan algoritma pohon Steiner untuk mencari jalur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.10.

Karena keunggulan IEEE 802.15.4a yaitu daya yang rendah dan jangkauan komunikasi yang jauh, ERRS masih mempertahankan konsumsi energi yang paling rendah, yaitu berkisar antara 1,9 10-4 hingga 5,9 10-4 untuk putaran saat jarak dari Perangkat I / O ke gateway diperpanjang.

Jaringan Seumur Hidup

Masa pakai jaringan dari empat algoritma perutean diilustrasikan dengan jelas pada Gambar 16.11. Dalam bab ini, masa pakai jaringan mengacu pada jumlah node hidup yang tersisa operasional setelah putaran transmisi data. Seperti yang diperkenalkan dalam model sistem, yang pertama Tujuan ERRS adalah mengurangi daya transmisi data perangkat I/O dalam sebuah cluster, sehingga jarak transmisi dan energi sisa dipertimbangkan untuk menciptakan struktur cluster yang optimal. perangkat yang berbeda dalam lapisan, beban lalu lintas jaringan berkurang dan seimbang secara signifikan, yang menghasilkan penghematan daya untuk semua perangkat dalam sistem.

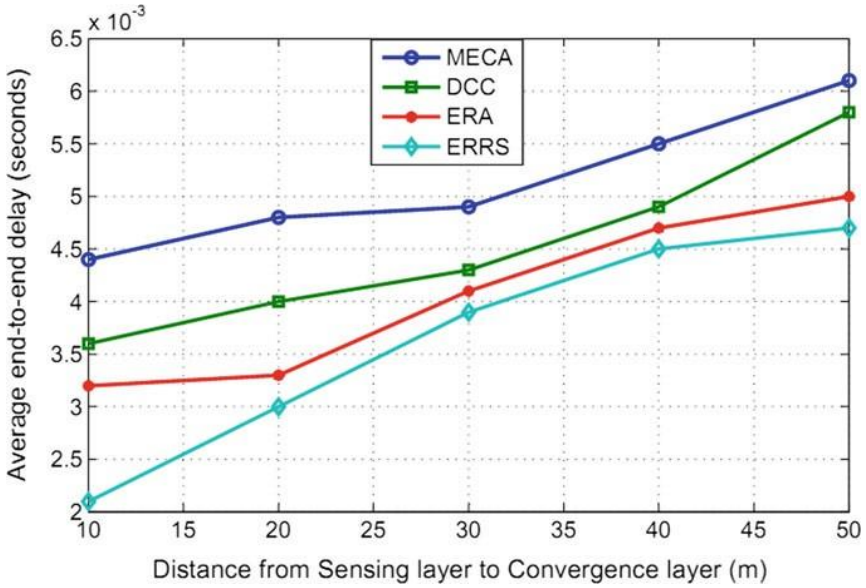


Gambar 17.11 Masa pakai jaringan

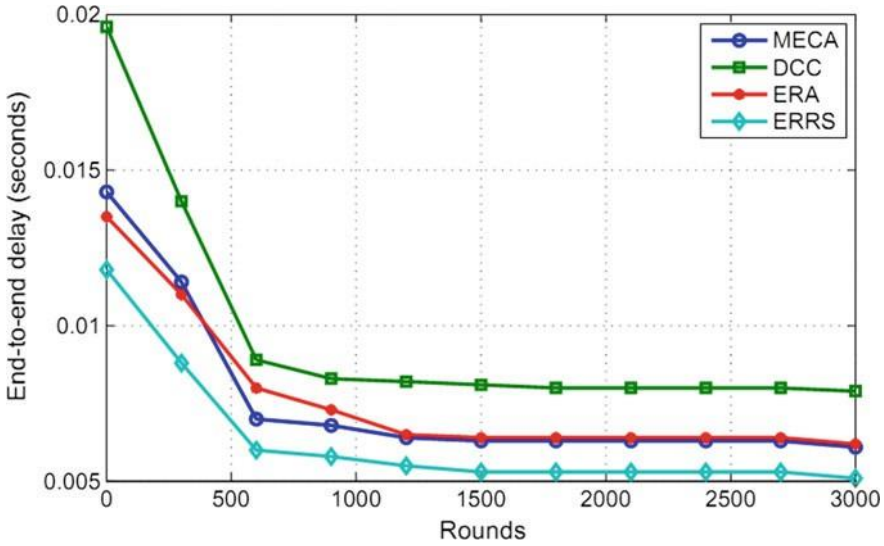
Mengenai pemilihan jalur perutean yang hemat energi, ERRS tidak hanya memilih sink yang paling andal untuk menyelesaikan rute, tetapi juga bertanggung jawab untuk memilih jalur multi-router yang memiliki disipasi energi terendah untuk meneruskan data dari perangkat I/O ke gateway. Selain itu, karena IEEE 802.15.4a dapat menghindari efek negatif dari interferensi dan tabrakan, ERRS mengungguli semua yang terkait dalam memperpanjang masa pakai jaringan.

Rata-rata Penundaan Ujung-ke-ujung

Dalam dua algoritma yang dijelaskan oleh MECA dan DCC, faktor jumlah hop tidak diperhitungkan sebagai syarat untuk membangun rute.Sementara itu, untuk menjamin persyaratan latency untuk sistem IIoT skala besar, ERRS dalam penelitian ini memilih forwarder potensial dengan Dalam jaringan kompleks berskala besar seperti IIoT, selain mengatasi masalah penghematan daya, permintaan untuk mempertahankan penundaan ujung ke ujung terendah telah meningkat.Akibatnya, ERRS memanfaatkan jalur terpendek Selain itu, saat meneruskan data secara bersamaan antar klaster , transmisi yang gagal yang disebabkan oleh tabrakan atau interferensi antar-cluster dimitigasi oleh algoritma CSMA / CA IEEE 802.15.4a.



Gambar 16.12 Rata-rata *delay end-to-end* versus waktu simulasi



Gambar 16.13 Rata-rata penundaan ujung ke ujung versus jarak dari lapisan penginderaan ke lapisan konvergensi

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.12, keterlambatan ujung ke ujung di ERRS tetap stabil pada level terendah mulai dari 0,0118 detik hingga 0,0051 detik jika dibandingkan dengan skema lainnya.

Bahkan ketika jarak antara lapisan penginderaan dan lapisan konvergensi diperpanjang seperti pada Gambar 16.13, pendekatan yang diusulkan masih mencapai hasil terbaik Meskipun penundaan ujung ke ujung rata-rata dari keempat skema perutean tumbuh secara eksponensial, peningkatan dalam penundaan ERRS secara signifikan lebih rendah daripada yang tersisa.

16.6 Kesimpulan

Bab ini mengusulkan pendekatan perutean yang dapat meminimalkan konsumsi energi seluruh IIoT kompleks skala besar. Mengandalkan dua kunci penting jarak transmisi dan energi sisa, pendekatan perutean mengatasi kelemahan dari pekerjaan sebelumnya. Faktor pemilihan digunakan oleh perangkat I / O untuk bergabung dengan cluster yang memenuhi syarat. Selain mengevaluasi efisiensi ERRS, faktor pemilihan digunakan oleh perangkat I / O untuk bergabung dengan cluster yang memenuhi syarat. diperhitungkan sebagai syarat untuk membangun rute data.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ERRS mengungguli skema konvensional dalam hal penghematan daya, masa pakai jaringan, dan rata-rata keterlambatan ujung ke ujung. Sebagai arah penelitian ke depan, efisiensi ERRS akan menjadi diverifikasi dengan penerapan perangkat yang ada di pabrik industri untuk mengatasi masalah praktis memperluas kontribusi bab ini, kami akan menyelidiki ERRS dalam aplikasi militer dan pertanian.

BAB 17
KERANGKA PERSEPSI 3D UNTUK TATA LETAK KONTAINER BERTUMPUK DI INTERNET FISIK

17.1 Pendahuluan

Cara barang dipindahkan menjadi semakin tidak efisien dengan dampak besar terhadap lingkungan. 13 gejala utama dilaporkan untuk menyoroti ketidakberlanjutan sistem logistik saat ini. Menuju visi masa depan, pekerjaan mengklaim bahwa Itulah mengapa semakin banyak inisiatif hijau di tingkat logistik taktis, strategis, dan operasiona. Namun, metrik ini sering tampak terbatas dalam konteks ini, paradigma logistik terintegrasi baru diperlukan dengan menghubungkan ekonomi, ekologi, dan aspek sosial, dan juga termasuk semua tanda.

Internet Fisik menjadi solusi yang sangat menjanjikan untuk tantangan besar keberlanjutan logistik global. Inisiatif ini mendukung ses untuk merancang sistem untuk memindahkan, menangani, menyimpan, mewujudkan, memasok, dan menggunakan objek fisik di seluruh dunia dengan cara yang meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan keberlanjutan secara bersamaan. Pergeseran paradigma ini terutama didasarkan pada jaringan jaringan logistik dan konsep enkapsulasi, dengan cara yang mirip dengan antar-jaringan dan transportasi paket di Internet Digital. Yang terakhir merangkum informasi dalam paket data standar.

Selain itu, semua antarmuka dan protokol dirancang dan dikembangkan secara independen untuk mengeksploitasi Dengan cara ini, paket data dapat diproses oleh peralatan jaringan yang berbeda (misalnya, router atau switch), dan dibawa melalui jaringan yang berbeda menggunakan berbagai jenis media.Dengan analogi, Internet Fisik tidak memanipulasi barang fisik secara langsung, tetapi kontainer modular standar (disebut -containers) yang merangkum barang dagangan fisik, dan containers komposit yang dapat disusun dari satu set kontainerkesatuan dan lebih kecil. Antarmuka dan protokol Internet Fisik dirancang melalui facilities (seperti -hubs, -mover, -carrier, dll.) untuk mendapatkan yang efisien dan berkelanjutan interkonektivitas universal Oleh karena itu, inti dari konsep Internet Fisik adalah penanganan kontainer di seluruh infrastruktur logistik global terbuka.

Visi ini akan membutuhkan pemikiran ulang rantai pasokan global, di mana -kontainer modular akan dimanipulasi dari waktu ke waktu (mengangkut, menyimpan, memuat / membongkar, membangun / membongkar ...) tetapi juga, subbagiannya dapat diubah di antara node yang berbeda dari Jaringan Internet Fisik (misalnya, bongkar/muat sebagian, pemisahan dan penggabungan peti kemas). Komposisi/penguraian kontainer ini merupakan elemen kunci untuk menghasilkan rantai logistik global yang efisien dan berkelanjutan. Selain itu, Internet Fisik diharapkan dapat memanfaatkan kemampuan kontainer pintar sebanyak mungkin, untuk memungkinkan proses pengambilan keputusan di tempat yang akan membuka peluang baru seperti perutean waktu nyata. Misalnya, -kontainer dapat menyesuaikan rencana perutean mereka di setiap -hub, dengan informasi

terkini tentang peluang dan kendala. Akibatnya, tantangan yang signifikan kemudian adalah mempertahankan ketertelusuran kontainerdalam sistem transportasi dan logistik yang sangat dinamis.

Meskipun konstitusi kontainer komposit dapat diasumsikan diketahui secara sempurna ketika dibentuk, banyaknya berbagai proses perutean dan transformasi di Internet Fisik dapat menyebabkan desinkronisasi antara aliran fisik dan informasi. Untuk mengatasi masalah ini , kami mengusulkan sebuah sistem yang dapat menghasilkan dan memelihara secara otomatis tata letak 3D virtual yang mencerminkan distribusi spasial kontainer. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi tetapi di atas segalanya untuk dapat menemukan posisi yang tepat dari item yang ditumpuk. Untuk melakukan ini,

Namun, orisinalitas pendekatan kami adalah untuk tidak bergantung pada kualitas sinyal yang diterima, yang penting dalam lingkungan yang keras dan kondisi operasi yang dihadapi dalam logistik. Selain itu, tidak diperlukan infrastruktur lokalisasi pra-instal. Pendekatan kami didasarkan pada penggunaan smart kontainer menyematkan node sensor nirkabel dan pengetahuan ext dari jaringan spontan yang diperoleh Setelah informasi dikumpulkan, Masalah Kepuasan Kendala (*Constraint Satisfaction Problem*/CSP) dapat dirumuskan, di mana setiap solusi yang layak dari CSP adalah pola pembebanan potensial. Model kontainer komposit yang dihasilkan dapat digunakan untuk menyediakan informasi terkini informasi (persediaan permanen) tetapi juga untuk mendeteksi kesalahan selama proses enkapsulasi, yang mungkin berdampak negatif pada keseluruhan efektivitas dan efisiensi Internet Fisik.

Sisa dari bab ini disusun sebagai berikut: Bagian 17.2 merangkum karya-karya sebelumnya yang terkait dengan teknologi dan teknik pelokalan yang biasa digunakan dalam kegiatan manajemen logistik. Bagian 17.3 secara formal mendefinisikan masalah dan metodologi untuk menghasilkan tata letak 3D virtual dari komposit - kontainer, diikuti dengan rumusan matematis masalah CSP di Bagian 17.4. Sebagai bukti konsep, aplikasi dan hasil diberikan di Bagian 17.5, di mana contoh masalah yang dihasilkan digunakan. Akhirnya, beberapa kesimpulan dan perspektif disediakan di Bagian 17.6.

17.2 Tinjauan Pustaka

Sistem logistik masuk dan keluar biasanya mencakup kegiatan seperti transportasi dan distribusi, inventaris, pergudangan, dan penanganan material. Untuk meningkatkan kinerja dan produktivitas, penggunaan otomatisasi dalam proses rantai pasokan telah berkembang secara dramatis dalam beberapa tahun terakhir. Misalnya, maksimum produktivitas dapat diperoleh dalam penanganan material dengan meminimalkan jumlah dan kompleksitas operasi penanganan.Untuk melakukan ini, diinginkan agar semua gerakan dibuat sesederhana dan seotomatis mungkin. Demikian pula penggunaan ICT (Information and Communication). Technology memberikan lebih banyak ketersediaan dan visibilitas informasi dalam manajemen rantai pasokan untuk pelaksanaan transaksi, kolaborasi / koordinasi dan keputusan. Untuk tujuan itu, ketergantungan pada teknologi identifikasi dan lokalisasi ke dalam proses logistik sangat menonjol.

Teknologi dan perangkat, seperti pembaca kode batang, tag *Radio-Frequency Identification* (RFID), telah merevolusi cara untuk secara otomatis dan terus-menerus mengidentifikasi objek logistik.Sistem identifikasi otomatis ini juga dikenal sebagai teknologi Auto-ID terutama digunakan untuk proses, objek yang diberi tag yang dilengkapi dengan label barcode atau chip RFID dilokalisasi masing-masing ketika mereka berada di dekat pembaca optik atau RF. Meskipun teknologi Auto-ID telah terbukti cukup Keterbatasan ini terutama terkait dengan lingkungan di tag dan pembaca yang berkomunikasi, dan juga cukup untuk pelokalan di beberapa aplikasi logistik, seperti manajemen inventaris, ada banyak aplikasi lain yang tidak dapat memanfaatkan teknologi ini karena beberapa keterbatasan. objek dalam jangkauan. Presisi lokalisasi juga tergantung pada jenis tag (pasif, tag aktif, dan semi-pasif) dan jumlah pembaca yang digunakan.

Hal ini tentu disebabkan oleh penyebaran besar Auto-ID. Untuk mengatasi masalah tentang kurangnya akurasi, beberapa pendekatan telah diusulkan dalam literatur. Kebanyakan dari mereka mengandalkan kombinasi sistem Auto-ID dengan teknologi dan teknik penentuan posisi lainnya. Sebagai contoh, penulis mengusulkan sistem RFID-GPS hybrid untuk mewujudkan pemantauan terus menerus dan lokalisasi yang tepat di terminal kendaraan. Data yang dikumpulkan oleh pembaca RFID digabungkan dengan posisi GPS untuk melacak Ketika sinyal GPS tidak tersedia seperti di lingkungan dalam ruangan, sinyal lain dapat digunakan. Sistem lokasi dalam ruangan yang sangat akurat (*SmartLocator*) menggunakan sinyal inframerah dan RFID.

Solusinya meningkatkan efisiensi operasi input/output gudang dan memungkinkan pemanfaatan ruang penyimpanan yang efektif di gudang yang benar-benar gratis (atau alokasi ruang acak). Thiesse, Fleisch, dan Dierkes dalam pekerjaan, mereka mengusulkan sistem lokalisasi *real-time* (LotTrack) yang menggabungkan sensor RFID dan ultrasonik.Pendekatan mereka berdasarkan metode trilateration (seperti solusi GPS) digunakan untuk meningkatkan visibilitas pelacakan untuk logistik masuk dalam pembuatan chip Dalam pekerjaan sebelumnya, teknik estimasi lokasi digunakan untuk menentukan posisi, khususnya trilaterasi dan kedekatan. Kondisi pengukuran jarak saat ini, penulis telah memperoleh, dengan RFID pasif UHF standar, akurasi yang dapat diterima yang dapat memenuhi persyaratan lokalisasi di lingkungan gudang.

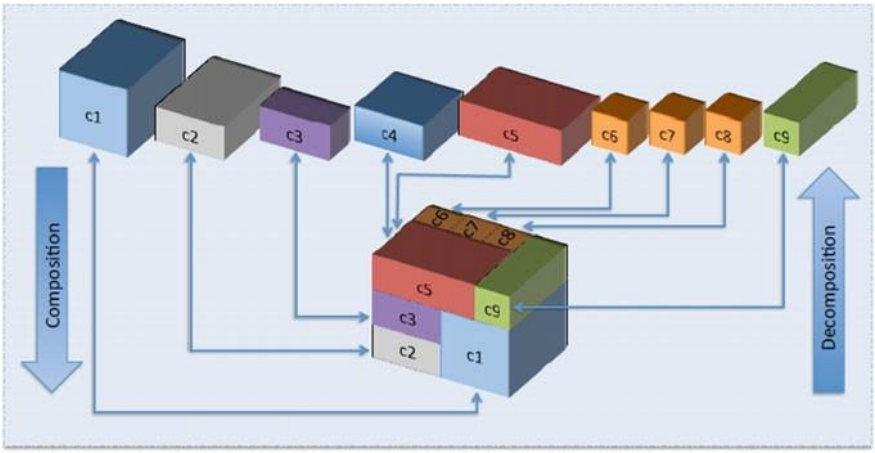
Teknologi lokalisasi lainnya juga telah dicoba seperti Jaringan Sensor Nirkabel.WSN menawarkan sejumlah keunggulan dibandingkan implementasi RFID seperti komunikasi multi-hop, kemampuan penginderaan, dan node sensor yang dapat diprogram. lokalisasi euro-palet dalam gudang teluk tinggi diusulkan di Perangkat sensor berdasarkan teknologi nirkabel 802.15.4 dipasang pada palet dan empat jangkar dipasang. Penulis menggunakan teknik yang sama untuk melacak truk forklift di gudang. Pengukuran jarak diperoleh dengan menggunakan delay propagasi sinyal dan Extended Kalman Filter untuk mengurangi kebisingan dan mendapatkan lokasi yang tepat. Dipelajari dengan lokalisasi luar kontainer pengiriman di pelabuhan dan terminal. Setiap kontainer dilengkapi dengan enam simpul dan menggunakan sisir pengukuran RSS dibatasi dengan batasan geometris untuk menentukan posisi relatif kontainer.

Dari pekerjaan terkait di atas, kami mengusulkan dalam bab ini pendekatan WSN non-konvensional di mana tidak ada pengukuran jarak yang diperlukan.Kami memanfaatkan informasi lingkungan antara node dari Jaringan Sensor Nirkabel. Informasi ini digunakan untuk menentukan tata letak fisik kontainer komposit di Internet Fisik.

17.3 Masalah dan Metodologi

17.3.1 Definisi Masalah dan Pendekatan yang Diusulkan

Seperti disebutkan dalam pendahuluan, Internet Fisik memanipulasi kontainermodular melalui infrastruktur logistik global terbuka, termasuk fasilitas utama seperti -hub. kontainerdiatur ke dalam tiga kategori fungsional: transportasi, penanganan, dan kontainer pengemasan, dengan dimensi modular mereka Meskipun set dimensi modular harus tunduk pada komite standar internasional untuk mendapatkan konsensus maksimum, mitra proyek CELDi PI mengembangkan model matematika untuk menentukan ukuran kontainer terbaik untuk memaksimalkan pemanfaatan ruang.



Gambar 17.1 Contoh komposisi/dekomposisi kontainer PI

Mereka menunjukkan bahwa satu set dimensi eksternal termasuk nilai-nilai berikut dalam meter {0.12, 0.24, 0.36, 0.48, 0.6, 1.2, 2.4, 3.6 , 4.8 , 6, 12}, meningkatkan pemanfaatan ruang pada tingkat beban unit.π -kontainer ini dapat disusun dan saling terkait untuk membangun "komposit" -kontainer dan kemudian didekomposisi menjadi set -kontainer kesatuan, seperti yang digambarkan pada Gambar 17.1 kontaineradalah elemen kunci dari Internet Fisik dan kami mengusulkan dalam bab ini, sistem keterlacakan kontaineruntuk sinkronisasi yang lebih baik dari aliran fisik dan informasi selama proses komposisi / dekomposisi Sistem seperti itu dapat menyediakan ketersediaan informasi dan visibilitas, dan dengan demikian berkontribusi pada efisiensi sistem logistik global terbuka di masa depan.

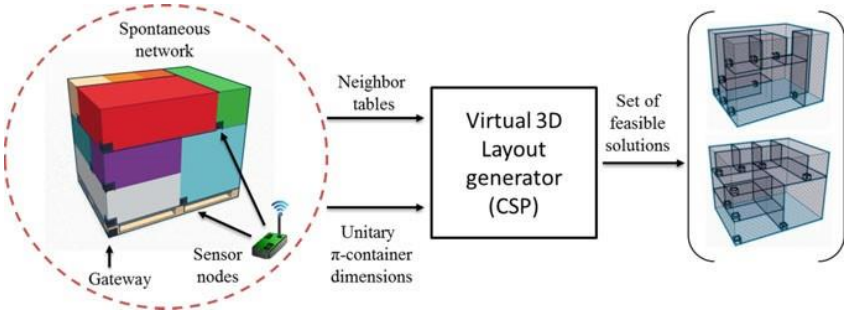
Oleh karena itu, tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk menghasilkan tata letak 3D virtual yang mencerminkan tata letak fisik -kontainer komposit (dengan posisi yang tepat dari kontainer -kontainer bertumpuk). Untuk tujuan itu, kami menganggap bahwa setiap kontainer adalah cerdas Dengan kata lain, kontainerdilengkapi dengan sensor dan perangkat

komunikasi berbiaya rendah untuk dapat merasakan dan mengukur lingkungannya, dan berkomunikasi dengan kontainer pintar lainnya.Contoh integrasi semua kemampuan ini adalah Intelligent Kontainer (jadi - disebut InBin) baru-baru ini dikembangkan oleh Institut Fraunhofer untuk Aliran Material dan Logistik. Kami berasumsi dalam pendekatan kami bahwa node sensor nirkabel terpasang ke salah satu sudut setiap kontainer dan menyimpan informasi tentang kontainer seperti kategori kontainer, pengidentifikasi , dan dimensinya.

Secara konsisten, satu node sensor yang disematkan pada level kontainer komposit, bertindak Node ini juga akan digunakan sebagai referensi mutlak untuk menentukan tata letak 3D virtual Menurut jangkauan transmisi node sensor, komposisi kontainer komposit akan membentuk jaringan nirkabel spontan, seperti yang ditunjukkan di sisi kiri Gambar 18.2 Sebagai hasilnya, setiap kontainerdapat mengumpulkan informasi tentang tetangganya dan menghitung daftar tetangganya Setelah dikumpulkan di gateway, Constraint Satisfaction Problem (CSP) dapat dirumuskan di mana:

Tabel tetangga memberikan batasan posisi antara kontainerkesatuan, tetapi juga dengan komposit kontainer. Ini mewakili pembatasan alokasi dalam masalah CSP.

Ukuran kontainer memberikan batasan geometris dasar. Kontainer kesatuan terletak seluruhnya di dalam kontainer komposit dan tidak tumpang tindih. Masing-masing hanya dapat ditempatkan dengan tepinya sejajar dengan dinding kontainer komposit.



Gambar 17.2 Gambaran umum dari pendekatan yang diusulkan

Juga, setiap solusi yang layak dari CSP adalah pola pemuatan potensial, dan tata letak 3D virtual yang dihasilkan dapat dihasilkan melalui antarmuka pengguna grafis. Gambar menggambarkan pendekatan umum yang diusulkan dalam bab ini.

17.3.2 Metodologi dan Asumsi

Pendekatan yang diusulkan di atas bergantung pada dua prinsip utama. Yang pertama menyangkut node sensor nirkabel yang dapat diprogram dan dapat disinkronkan untuk melaksanakan tugas-tugas tertentu yang mencakup kolaborasi antara tetangga lokal. Gateway dapat memainkan peran koordinator dalam jaringan. Yang kedua Kami menganggap di sini jangkauan transmisi sebagai jarak di mana komunikasi antara dua node dapat diatur, dan di luar itu kualitas komunikasi melebihi stabilitas yang diberikan. Kami berasumsi bahwa setiap node menggunakan satu antena omnidirectional dan dapat mengubah transmisinya. jangkauan misi melalui kontrol tingkat daya transmisi.

Untuk memverifikasi bahwa asumsi ini masuk akal, kami merealisasikan beberapa eksperimen menggunakan platform MICAZ. Node didasarkan pada transceiver RF 2,4 GHz yang sesuai dengan IEEE 802.15.4 yang menawarkan 32 transmisi Jarak komunikasi dari beberapa sentimeter hingga beberapa lusin meter dicapai sesuai dengan kisaran nilai daya RF. Eksperimen telah direalisasikan dalam kondisi yang berbeda (misalnya, garis pandang atau hambatan sensor). ruang lingkup bab, mereka tidak diberikan di sini. Untuk menyimpulkan, setiap kontainerkesatuan (dengan dimensi eksternal yang sebelumnya diberikan dalam Bagian 18.3.1) dapat menyesuaikan jangkauan transmisi dan mendeteksi kedekatan kontainerlain di dalamnya lingkungan, dan berkomunikasi dengan mereka.Akibatnya, batasan posisi antara kontainer kesatuan yang akan digunakan dalam CSP kami, dapat diperoleh setelah beberapa operasi berturut-turut dilakukan dalam kolaborasi di tingkat gateway dan node:

Yang pertama menyangkut identifikasi jumlah kesatuan kontainer yang menyusun komposit kontainer. Hal ini dapat dicapai dengan penerapan mekanisme penemuan untuk menghitung jumlah node dalam jaringan. Tugas ini diprakarsai oleh gateway dilakukan dengan menyiarkan permintaan pengumuman, dan setelah menerimanya, setiap node membalas dengan paket yang berisi pengidentifikasi kontainer. Pengidentifikasi juga dapat digunakan untuk memastikan bahwa kontainer yang terdeteksi milik komposit kontainer. Jika jangkauan transmisi lebih kecil dari dimensi komposit kontainer, semua kontainer tidak dapat ditemukan pada saat yang sama. Di sisi lain, protokol harus disesuaikan dengan algoritma multi-hop yang diperlukan untuk menemukan keseluruhan jaringan.Algoritme dapat diulang pada waktu yang berbeda untuk menoleransi kemungkinan kehilangan paket.

Setelah itu, setiap node mendeteksi dan mengidentifikasi kedekatan node lain. Algoritma penemuan yang sama dapat digunakan untuk mencari tetangga. Sebuah node menyiarkan paket penemuan sehingga mencapai semua node di lingkungan tersebut. Pada langkah ini, kita hanya mengasumsikan Algoritme juga dapat diulang pada waktu yang berbeda agar toleran terhadap kemungkinan gangguan. Hubungan tetangga simetris menyiratkan bahwa node sensor digunakan. Informasi ini penting untuk menghasilkan batasan alokasi terkait untuk CSP kami, sehingga mengurangi jumlah solusi yang layak. Informasi ini sangat penting untuk menghasilkan kendala alokasi terkait untuk CSP kami, sehingga mengurangi jumlah solusi yang layak.Poin akan dibahas di bagian berikut ini.

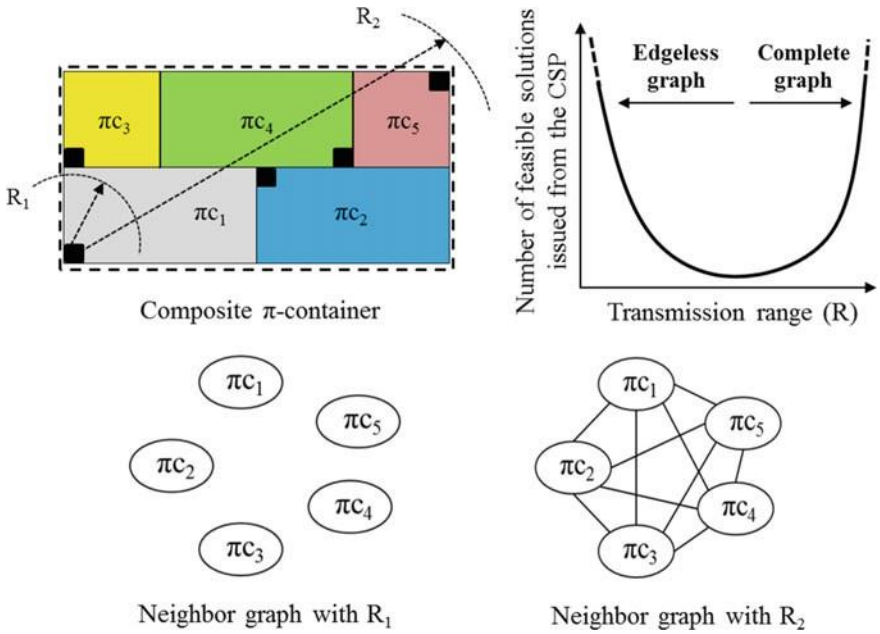
Node yang melekat pada kontainer komposit dapat digunakan sebagai referensi sistem lokalisasi kami. Tergantung, posisi semua kontainer dapat diturunkan dari posisi absolut ini. Mekanisme penerusan berdasarkan perutean multi-hop tree biasanya digunakan di Jaringan Sensor Nirkabel untuk mentransfer data yang dikumpulkan ke seluruh jaringan.Teknik seperti itu digunakan untuk mengumpulkan daftar tetangga lokal di gateway di mana mereka digabungkan bersama untuk menghasilkan daftar tetangga global, sebelum dinyatakan sebagai batasan posisi dalam CSP kami.

Keuntungan dari pendekatan kami adalah bahwa sifat dari sinyal yang diterima, misalnya kekuatan sinyal atau sudut datang, tidak dipertimbangkan dalam operasi berturut-turut untuk melokalisasi wadah . Posisi hanya ditentukan dari informasi geometris dan lingkungan dari -wadah, yang penting dalam lingkungan yang keras dan kondisi operasi yang

dihadapi dalam logistik.Namun, jumlah solusi yang layak dikeluarkan dari pemecah CSP secara langsung terkait dengan relevansi daftar lingkungan global, dan oleh karena itu, pilihan transmisi .jangkauan itu penting.

Memang, dua node bertetangga jika mereka dapat berkomunikasi, yaitu jarak antara mereka kurang dari atau sama dengan jangkauan transmisi Oleh karena itu, dengan jangkauan transmisi lebih kecil dari dimensi terkecil dari -kontainer, banyak node akan Hal ini diilustrasikan pada Gambar 17.3 di mana -kontainer komposit terdiri dari lima -kontainer (πc1, πc2… πc5) Distribusi node sensor (kotak hitam) sesuai dengan susunan yang diperoleh ketika komposit -wadah Daftar tetangga global dimodelkan oleh grafik tidak berarah untuk rentang transmisi yang berbeda Ri. Sebuah simpul mewakili node sensor milik -container, dan tepi, hubungan tetangga di antara mereka.

Grafik tetangga diperoleh dengan rentang transmisi R1, lebih rendah dari dimensi terkecil dari wadah , adalah grafik tanpa tepi (tanpa tepi) Oleh karena itu, tidak mungkin untuk menentukan batasan posisi di CSP kami. Sejumlah solusi yang layak, yaitu, tata letak 3D virtual untuk kontainer komposit, akan sesuai dengan setiap kemungkinan susunan kontainer ke dalam komposit -kontainer. Demikian pula, jika jangkauan transmisi lebih tinggi dari panjang komposit kontainer diagonal, semua node bertetangga satu sama lain Grafik tetangga akan menjadi grafik lengkap, seperti yang digambarkan pada Gambar 17.3 dengan R2. Banyak solusi, di mana kendala posisi akan dipenuhi, dapat ditemukan dari Dengan demikian, jangkauan transmisi harus disesuaikan dengan dimensi wadah untuk mendapatkan batasan posisi yang relevan dan memadai.



Gambar. 17.3 Pengaruh jangkauan transmisi pada jumlah solusi

17.4 Rumusan Matematika dari Soal CSP

Asumsikan bahwa satu set -container dengan dimensi modular saat ini ditumpuk dalam -container komposit dengan dimensi eksternal yang diberikan.Sistem koordinat

Cartesian dipasang pada Front-Left Bottom corner (FLB) dari komposit -container dan Kami juga menetapkan sudut FLB dari setiap -container sebagai asal dari sistem koordinatnya sendiri. Posisi ini tetrahydrofuran orientasi dari -container, dan sesuai dengan Lokasi awal dari node sensor nirkabel. Satu set hubungan ketetanggaan didefinisikan dari grafik tetangga global untuk nilai tertentu dari jangkauan transmisi. Selain itu, kami menganggap bahwa -kontainer dapat secara bebas diputar ke orientasi yang berbeda. Tujuan dari masalah CSP adalah untuk menemukan koordinat absolut dan orientasi masing-masing -container, sambil memenuhi serangkaian batasan berikut:

- Setiap kontainer ditumpuk dalam kontainer komposit.
- Setiap wadah harus ditempatkan secara ortogonal ke dalam wadah. Tumpang tindih antar wadah dilarang.
- Semua hubungan lingkungan tentang kesatuan -wadah dan wadah komposit harus dihormati.
- Semua hubungan lingkungan tentang kesatuan -wadah dan wadah komposit harus dihormati.

Sebuah solusi untuk CSP adalah tugas lengkap yang memenuhi semua kendala. Bagian berikut memberikan ringkasan parameter dan variabel, dan termasuk model matematika dari Masalah Kepuasan Kendala. Model ini didasarkan pada rumusan matematika yang diusulkan oleh Chen et al untuk merumuskan masalah pemuatan peti kemas umum.Model ini telah diadaptasi untuk mempertimbangkan kendala tetangga.

17.4.1 Parameter dan Variabel

Parameter

n = Jumlah total -container kesatuan yang ditumpuk dalam -container komposit (ditentukan dari algoritma penghitungan yang diberikan pada Bagian 18.3.2).

πci = -kontainer set, di mana i {0,…, n} dan c0 adalah komposit -wadah.

(x_o, y_o, z_o) = Asal sistem koordinat kartesius, dengan xo yo zo 0.

(L_i, W_i, H_i) = Dimensi eksternal nonnegatif yang menunjukkan panjang, lebar, dan tinggi ci.

(L_c, W_c, H_c) = Dimensi eksternal nonnegatif yang menunjukkan panjang, lebar, dan tinggi wadah komposit.

R = Jangkauan transmisi node sensor.

V = i × j matriks dengan i dan j {0,…, n}

Elemen matriks V ij multiplexer hubungan tetangga antara kontainer ci dan c j. V ij sama dengan 0 jika i = j. Elemen matriks V yang tersisa dideduksi dari daftar tetangga global dengan: V ij sama dengan 1 jika ci dan cj bertetangga; jika tidak, sama dengan 1.

17.4.1.2 Variabel

(x_i, y_i, z_i) = Variabel kontinu yang menunjukkan koordinat sudut FLB wadah ci.

(x_{ni}, y_{ni}, z_{ni}) = Variabel kontinu yang menunjukkan koordinat node sensor yang ditetapkan ke wadah ci.

(l_{xi}, l_{yi}, l_{zi}) = Variabel biner yang menunjukkan apakah panjang wadah ci sejajar dengan sumbu X, sumbu Y, atau sumbu Z. Nilai lxi sama dengan 1 jika panjang wadah ci sejajar terhadap sumbu X; jika tidak, sama dengan 0.

(w_{xi}, w_{yi}, w_{zi}) = Variabel biner yang menunjukkan apakah lebar wadah ci sejajar dengan sumbu X, sumbu Y, atau sumbu Z. Nilai wxi sama dengan 1 jika lebar wadah ci sejajar terhadap sumbu X; jika tidak, sama dengan 0.

(h_{xi}, h_{yi}, h_{zi}) = Variabel biner yang menunjukkan apakah tinggi wadah ci sejajar dengan sumbu X, sumbu Y, atau sumbu Z. Nilai hxi sama dengan 1 jika tinggi wadah ci sejajar terhadap sumbu X; jika tidak, sama dengan 0.

Jelas bahwa variabel biner, l_{xi}, l_{yi}, l_{zi}, w_{xi}, w_{yi}, w_{zi}, h_{xi}, h_{yi}, dan h_{zi}, saling bergantung dan menentukan orientasi wadah ci.Misalnya jika panjang (L_i), lebar (W_i), dan tinggi (H_i) dari ci masing-masing sejajar dengan sumbu X, Y, dan Z, maka l_{xi}, w_{yi} dan h_{zi} sama dengan 1 dan semua variabel lainnya adalah nol.

Untuk setiap pasangan -container (πc_i, c_j), terdapat enam variabel biner ($Right_{ij}$, $Left_{ij}$, $Behind_{ij}$, $Front_{ij}$, $Below_{ij}$, dan $Above_{ij}$) yang mendefinisikan posisi relatifnya dalam komposit -container. menjadi 1 jika wadah cj masing-masing berada di sebelah kanan, di kiri, di belakang, di depan, di bawah, atau di atas wadah ci; jika tidak, 0. Variabel-variabel ini akan digunakan untuk memastikan bahwa wadah tidak tumpang tindih.

17.4.2 Formulasi

Dari parameter-parameter dan variabel-variabel yang telah dijelaskan di atas, maka kendala-kendala dari permasalahan CSP adalah sebagai berikut:

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Right}_{ij} \cdot [x_j - (x_i + l_{xi} \cdot L_i + w_{xi} \cdot W_i + h_{xi} \cdot H_i)] \ge 0 \quad (18.1)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Left}_{ij} \cdot [x_i - (x_j + l_{xj} \cdot L_j + w_{xj} \cdot W_j + h_{xj} \cdot H_j)] \ge 0 \quad (18.2)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Behind}_{ij} \cdot [y_j - (y_i + l_{yi} \cdot L_i + w_{yi} \cdot W_i + h_{yi} \cdot H_i)] \ge 0 \quad (18.3)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Front}_{ij} \cdot [y_i - (y_j + l_{yj} \cdot L_j + w_{yj} \cdot W_j + h_{yj} \cdot H_j)] \ge 0 \quad (18.4)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Below}_{ij} \cdot [z_j - (z_i + l_{zi} \cdot L_i + w_{zi} \cdot W_i + h_{zi} \cdot H_i)] \ge 0 \quad (18.5)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Above}_{ij} \cdot [z_i - (z_j + l_{zj} \cdot L_j + w_{zj} \cdot W_j + h_{zj} \cdot H_j)] \ge 0 \quad (18.6)$$

$$\forall i, j, 1 \le i, j \le n : \text{Right}_{ij} + \text{Left}_{ij} + \text{Behind}_{ij} + \text{Front}_{ij} + \text{Below}_{ij} + \text{Above}_{ij} \ge 1 \quad (18.7)$$

$$\forall i, \ 1 \le i \le n : x_i + l_{xi} \cdot L_i + w_{xi} \cdot W_i + h_{xi} \cdot H_i \le L_c \quad (18.8)$$

$$\forall i, \ 1 \le i \le n : y_i + l_{yi} \cdot L_i + w_{yi} \cdot W_i + h_{yi} \cdot H_i \le W_c \quad (18.9)$$

$$\forall i, \ 1 \le i \le n : z_i + l_{zi} \cdot L_i + w_{zi} \cdot W_i + h_{zi} \cdot H_i \le H_c \quad (18.10)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : ((x_i + l_{xi} \cdot L_i + w_{xi} \cdot W_i + h_{xi} \cdot H_i) - x_{ni}) \cdot (x_i - x_{ni}) = 0 \quad (18.11)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : ((y_i + l_{yi} \cdot L_i + w_{yi} \cdot W_i + h_{yi} \cdot H_i) - y_{ni}) \cdot (y_i - y_{ni}) = 0 \quad (18.12)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : ((z_i + l_{zi} \cdot L_i + w_{zi} \cdot W_i + h_{zi} \cdot H_i) - z_{ni}) \cdot (z_i - z_{ni}) = 0 \quad (18.13)$$

$$\forall i, j,\ 0 \le i, j \le n : V_{ij} \sqrt{((x_{ni} - x_{nj})^2 + (y_{ni} - y_{nj})^2 + (z_{ni} - z_{nj})^2)} \le V_{ij} R \quad (18.14)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : l_{xi} + l_{yi} + l_{zi} = 1 \quad (18.15)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : w_{xi} + w_{yi} + w_{zi} = 1 \quad (18.16)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : h_{xi} + h_{yi} + h_{zi} = 1 \quad (18.17)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : l_{xi} + w_{xi} + h_{xi} = 1 \quad (18.18)$$

$$\forall i, 1 \le i \le n : l_{yi} + w_{yi} + h_{yi} = 1 \quad (18.19)$$

$$\forall i,\ 1 \le i \le n : l_{zi} + w_{zi} + h_{zi} = 1. \quad (18.20)$$

Kita dapat membedakan kendala yang terkait dengan hubungan ketetanggaan antara node dan yang terkait dengan kondisi kelayakan geometrik untuk menempatkan wadah Kendala (18.1) – (18.7) adalah kondisi yang tidak tumpang tindih dan menyatakan bahwa wadah tidak tumpang tindih. 18.8) – (18.10) memastikan bahwa semua wadah berada dalam wadah komposit Batasan (18.11) – (18.13) mewakili relaksasi antara koordinat sudut FLB dan simpul sensor. ditempatkan di salah satu dari delapan sudut -container menurut -containers dapat diputar secara bebas. Constraint (18.14) menyatakan bahwa semua hubungan tetangga telah dihormati. Terakhir, constraint (18.15) – (18.20) memastikan bahwa variabel biner yang menentukan posisi -kontainer dikontrol dengan benar untuk mencerminkan posisi praktis Model ini mengarah untuk menemukan koordinat absolut dan orientasi setiap -kontainer, yang memenuhi ne hubungan ighbor antara node sensor.

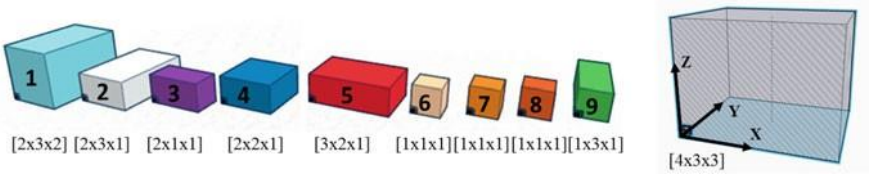
17.5 Aplikasi dan Hasil

17.5.1 Pengaturan Eksperimental

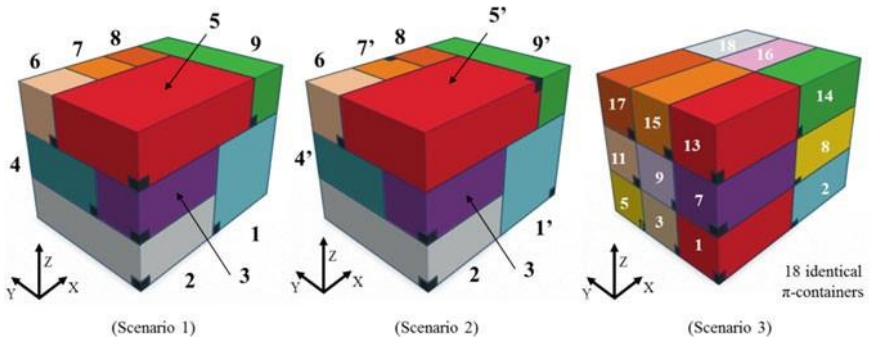
Untuk memvalidasi pendekatan dan model di atas, kami mempertimbangkan skenario yang mewakili komposisi nyata dari komposit -container. Tujuannya adalah untuk menemukan distribusi spasial dari stake -container. Sebagai bukti konsep, satu set sembilan modular -kontainer disajikan Seperti disebutkan dalam Bagian 3.1, dimensi eksternal -kontainer mewakili skala nilai yang besar untuk mencakup semua fungsi, yaitu transportasi, penanganan, dan pengemasan. transmisi. Itulah mengapa satu set nilai yang dinormalisasi {1, 2, 3, 4} untuk dimensi wadah digunakan, seperti yang ditunjukkan Gambar 18.4. Node sensor (kotak hitam) awalnya dipasang di depan- sudut kiri bawah wadah , dan asal sistem koordinat Cartesian kami ditentukan oleh simpul dari wadah komposit . Kami mendefinisikan skenario yang berbeda di mana semua wadah ditumpuk sehingga t mereka sangat cocok dengan volume wadah komposit dengan dimensi. Mereka berbeda dalam jumlah, heterogenitas, dan orientasi akhir wadah yang ditumpuk dalam wadah komposit.

Skenario diilustrasikan pada Gambar 17.5. Kumpulan 9 --containers yang sangat heterogen digunakan dalam skenario 1 dan 2, tidak seperti skenario 3, yang menganggap 18

-container identik dengan dimensi [2 × 1 × 1]. Dalam skenario No rotasi Artinya, xi, yi, dan zi masing-masing sama dengan xni, yni, dan zni. Batasan ini akan mengurangi ruang penelitian dan kompleksitas waktu CSP. Skenario 2 mempertimbangkan rotasi beberapa -container, ditransfeksi dengan simbol prima (r) pada Gambar 17.5. Mereka telah diputar 90 ° atau 180 ° pada bidang horizontal (atau vertikal) dan koordinat sudut FLB mereka berbeda dari node sensor. Tabel 18.1 memberikan untuk setiap skenario Sudut FLB dan koordinat node sensor nat.



Gambar 17.4 Dimensi dari sembilan wadah kesatuan dan komposit



Gambar 17.5 Tiga wadah komposit yang digunakan untuk memvalidasi pendekatan yang diusulkan

Untuk setiap skenario, grafik tetangga global (untuk rentang transmisi tertentu R) dapat diproses oleh node sensor nirkabel menggunakan operasi berturut-turut, dijelaskan dalam Bagian 3.2. Tujuan dari masalah CSP adalah untuk menemukan semua solusi yang memenuhi lingkungan dan batasan dimensi Untuk mengevaluasi dampak rentang transmisi dalam hal jumlah solusi dan waktu komputasi, kami menggunakan nilai R yang berbeda, antara dimensi ternormalisasi terkecil dan terbesar dari wadah kesatuan.

17.5.2 Hasil dan Diskusi

Model matematika CSP dikodekan menggunakan MATLAB, berjalan pada prosesor Intel 2,4 GHz quad-core dengan RAM 8 GB. Hasil numerik dirangkum dalam Tabel 17.2. Ini termasuk waktu komputasi (dalam detik) dan jumlah solusi yang mungkin yang memenuhi semua kendala masalah, untuk nilai R yang berbeda. Diamati bahwa kita hanya memperoleh satu solusi untuk skenario 1 dan 2 (Gbr. 18.6a, b) ketika R masing-masing sama dengan 2,25 dan 2,5. kasus, Layout 3D virtual ini mencerminkan komposisi nyata dari komposit -container yang ditentukan pada Gambar 18.5. Waktu berjalan yang lebih rendah dari 5 detik

menunjukkan bahwa metode yang kami usulkan menghasilkan hasil yang cepat dan memuaskan.

Tabel 17.1 Koordinat sudut FLB dan node sensor untuk setiap scenario

	Dimensi wadah		Sudut FLB dan koordinat node sensor			
	Skenario 1 dan 2	Skenario 3	Skenario 1 dan 3		Skenario 2	
πci	(*Li* × *Wi* × *Hi*)		(*xi, yi, zi*) = (*xni, yni, zni*)		(*xi, yi, zi*)	(*xni, yni, zni*)
1	2 × 3 × 2	2 × 1 × 1	(2,0,0)	(0,0,0)	(2,0,0)	(4,0,0)
2	2 × 3 × 1	2 × 1 × 1	(0,0,0)	(2,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
3	2 × 1 × 1	2 × 1 × 1	(0,0,1)	(0,1,0)	(0,0,1)	(0,0,1)
4	2 × 2 × 1	2 × 1 × 1	(0,1,1)	(2,1,0)	(0,1,1)	(2,1,1)
5	3 × 2 × 1	2 × 1 × 1	(0,0,2)	(0,2,0)	(0,0,2)	(3,0,3)
6	1 × 1 × 1	2 × 1 × 1	(0,2,2)	(2,2,0)	(0,2,2)	(0,2,2)
7	1 × 1 × 1	2 × 1 × 1	(1,2,2)	(0,0,1)	(1,2,2)	(2,3,3)
8	1 × 1 × 1	2 × 1 × 1	(2,2,2)	(2,0,1)	(2,2,2)	(2,2,2)
9	1 × 3 × 1	2 × 1 × 1	(3,0,2)	(0,1,1)	(3,0,2)	(4,3,2)
10		2 × 1 × 1		(2,1,1)		
11		2 × 1 × 1		(0,2,1)		
12		2 × 1 × 1		(2,2,1)		
13		2 × 1 × 1		(0,0,2)		
14		2 × 1 × 1		(2,0,2)		
15		2 × 1 × 1		(0,1,2)		
16		2 × 1 × 1		(2,1,2)		
17		2 × 1 × 1		(0,2,2)		
18		2 × 1 × 1		(2,2,2)		

Tabel 17.2 Hasil komputasi

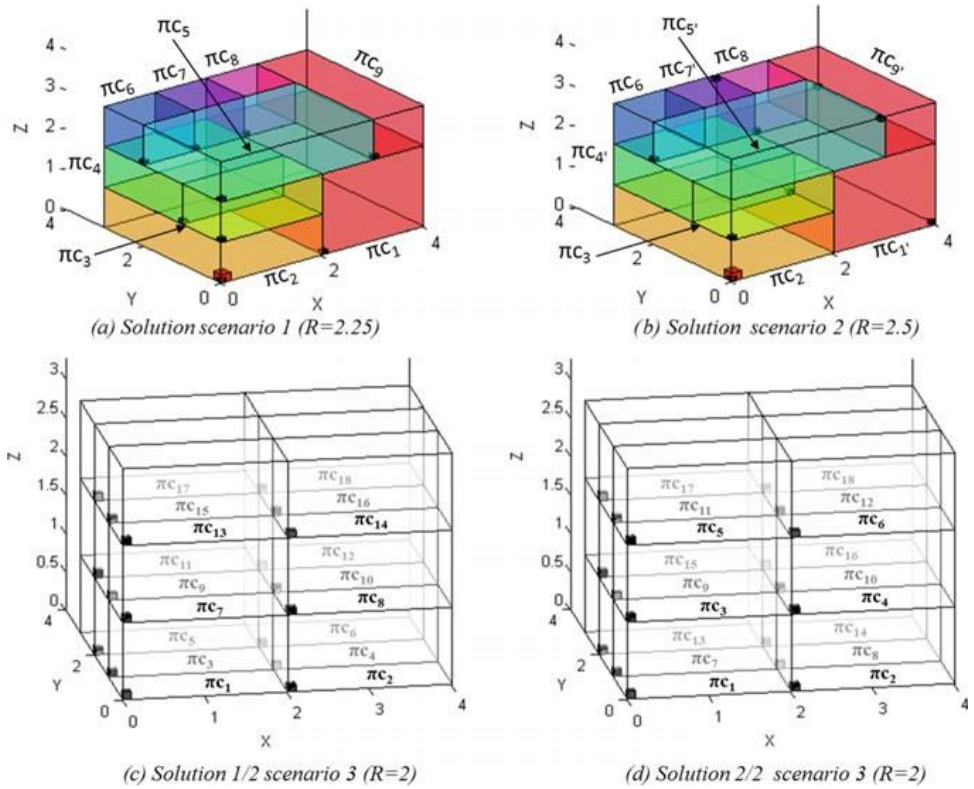
	Jumlah solusi / waktu (s)		
R	skenario 1	skenario 2	skenario 3
1	492/236	2776/575	720/5894
1.5	24/37	720/288	248/1985
2	2/0.8	12/8.6	**2/15.5**
2.25	**1/0.5**	4/7.1	2/2953
2.5	4/2.9	**1/4.9**	5688/18,232
3	180/75.8	322/187	–/–

Untuk skenario 3, kami memperoleh minimal dua tata letak (Gambar 17.6c, d) dengan R = 2 dan waktu komputasi lebih rendah dari 15 detik.Waktunya memuaskan tetapi

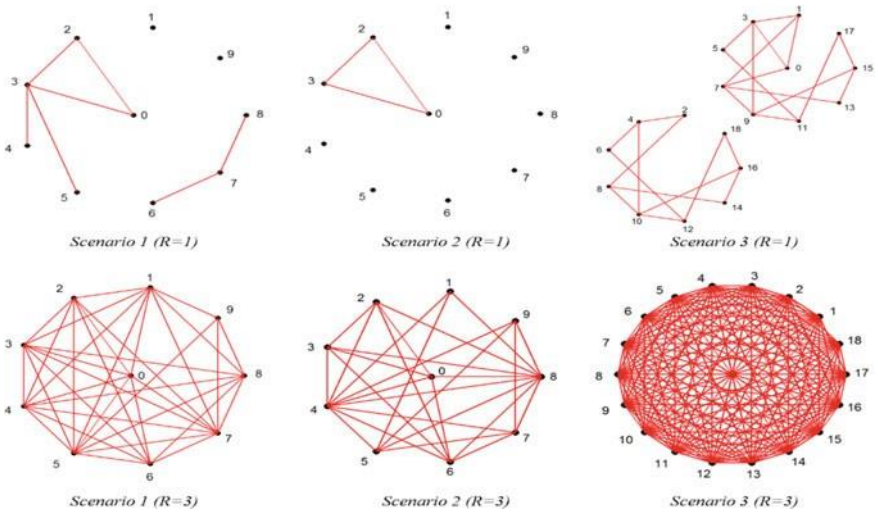
informasi lingkungan tidak cukup untuk menentukan tata letak yang unik Meskipun Gambar 18.6c menunjukkan komposisi sebenarnya dari wadah komposit, himpunan kendala yang sama dihormati dengan susunan yang diperoleh Gambar 17.6d Hal ini dapat dijelaskan oleh himpunan homogenitas wadah dan kendala orientasi. opsi berturut-turut (dijelaskan dalam Bagian 3.2) dieksekusi dua kali untuk mendapatkan lingkungan baru. Yang mengarah ke distribusi node sensor sebagai grid biasa.

Untuk mengatasi masalah ini, penyaringan domain dikembangkan untuk mengidentifikasi tata letak yang unik. grafik. Hal ini dapat dicapai dari node gateway dengan jangkauan transmisi yang berbeda, atau dengan menggunakan gateway kedua yang dipasang pada wadah komposit . Informasi tersebut digunakan untuk menyaring ruang solusi yang memungkinkan di mana setiap solusi harus sesuai dengan h dua grafik tetangga Misalnya, gerbang kedua di sudut kiri-depan-atas dari -container komposit (skenario 3) dapat digunakan untuk menghasilkan batasan tetangga baru antara gateway dan -container 13. Oleh karena itu solusi 2 (Gambar 17.6d) akan dihilangkan dan tata letak yang unik akan diperoleh tanpa menambah waktu komputasi.

Dari Tabel 17.2, waktu komputasi dan jumlah solusi meningkat dengan R mendekati 1 atau 3. Hal ini dapat dijelaskan ketika kita mengamati grafik tetangga yang dihasilkan dari jangkauan transmisi, seperti yang digambarkan pada Gambar 17.7 Pada kasus pertama (R = 1), graf tetangga terputus. Banyak simpul terisolasi (tanpa sisi terhubung) pada skenario 1 dan 2. Skenario 3 menunjukkan graf terputus dengan 2 komponen terhubung. dari R = 3. Untuk nilai-nilai ini dari R, grafik tetangga tidak relevan untuk mengurangi ruang penelitian, sehingga meningkatkan jumlah solusi dan waktu berjalan.



Gambar 17.6 Tata letak virtual 3D diperoleh untuk setiap scenario



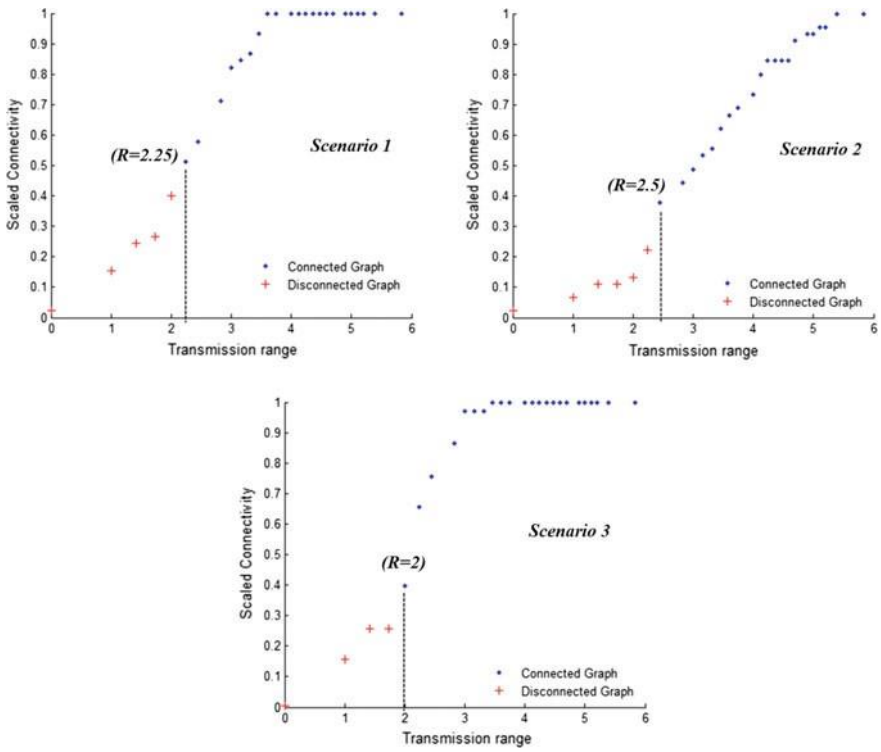
Gambar 17.7 Grafik tetangga diperoleh dari R = 1 dan R = 3

Kita dapat mengamati bahwa hasil terbaik.Gambar 17.8 mengilustrasikan konektivitas berskala dan sifat konektivitas (yaitu, terhubung atau terputus) dari grafik lingkungan untuk rentang transmisi yang berbeda. Hasil menarik ini dapat dimanfaatkan dalam pendekatan kami untuk menciptakan lingkungan yang relevan dan memadai kendala, dan menyimpulkan tata letak 3D virtual dari -container komposit. Sebelum mengeksekusi CSP, gateway dapat memvalidasi relevansi grafik tetangga global dan memutuskan untuk memutar ulang operasi berturut-turut dengan nilai transmisi baru (R) jika diperlukan.

17.6 Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan

Internet Fisik adalah sistem transportasi dan logistik yang sangat dinamis, di mana -kontainer komposit dapat dengan cepat diatur dan / atau dimodifikasi untuk memanfaatkan peluang baru yang mengarah pada peningkatan keberlanjutan rantai logistik global. Identifikasi dan lokalisasi -container bertumpuk dalam -container komposit dapat membantu menjaga informasi ketertelusuran, dan dengan demikian berkontribusi pada kontrol Internet Fisik.

Dalam bab ini, sistem lokalisasi -container diperkenalkan untuk secara dinamis menghasilkan dan memelihara tata letak 3D virtual dari -container komposit. Sistem ini didasarkan pada penggunaan jaringan sensor nirkabel dan hubungan lingkungan antar node. Hal ini memungkinkan kita untuk mendapatkan posisi relatif antara -kontainer.



Gambar 18.8 Konektivitas grafik dan jangkauan transmisi

Informasi ini digunakan sebagai jenis kendala baru dalam masalah CSP di mana setiap solusi mewakili kemungkinan pengaturan wadah . Sebagai bukti konsep, pendekatan dan model yang diusulkan telah divalidasi melalui eksperimen komputasi. menunjukkan bahwa tata letak 3D virtual yang mencerminkan distribusi spasial dapat diperoleh dalam waktu yang wajar ketika informasi lingkungan relevan dan menggunakan penyaringan domain. Pendekatan ini dapat diterapkan untuk memberikan informasi terkini (inventaris permanen), serta mendeteksi kesalahan apa pun selama proses enkapsulasi, yang mungkin berdampak negatif pada efektivitas dan efisiensi Internet Fisik secara keseluruhan.

Pekerjaan di masa depan akan fokus pada teori grafik untuk secara formal memvalidasi relevansi grafik tetangga global.Meskipun protokol hemat energi untuk mekanisme penemuan dan penerusan dapat digunakan, studi tentang konsumsi energi dari node sensor juga akan dilakukan. , peluang untuk mengembangkan CSP yang dinamis dan terdesentralisasi juga akan dipelajari.

BAB 18
KERANGKA INFORMASI LAYANAN INTERNET OF THINGS

18.1 Pendahuluan

Sistem logistik saat ini masih diakui tidak berkelanjutan dalam hal ekonomi, lingkungan, dan masyarakat meskipun beberapa paradigma logistik inovatif yang menyertai proyek telah diusulkan dan dilakukan untuk mengamankan situasi. Logistik cerdas mengeksploitasi konsep intelijen berkat integrasi informasi canggih dan teknologi komunikasi (ICR) untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan secara signifikan dalam hal keamanan, manajemen aliran fisik, otomatisasi proses. Salah satu faktor kunci dari visi logistik tersebut adalah sistem transportasi barang cerdas yang menggunakan teknologi, infrastruktur, dan layanan serta metode operasi, perencanaan, dan kontrol untuk mengangkut barang secara efisien.

Sistem tersebut merupakan solusi efektif untuk masalah terkait transportasi yang signifikan seperti kemacetan, konsumsi energi, dan lingkungan. Simple Links1 adalah kerangka kerja alternatif dari logistik cerdas. Pelaksanaan proyek ed by the consumer good forum bertujuan untuk membuat, mengelola, dan menganalisis tautan digital antara item dan wadahnya sebagai hierarki dinamis, kemudian menyimpulkan informasi pelacakan dan pemantauan tingkat item untuk item apa pun berdasarkan penelusuran hierarki untuk jalur terbaik yang tersedia, memantau dan memprediksi data pada waktu tertentu. Tujuan proyek dimungkinkan oleh prinsip dasar yang membuat item dan wadahnya berkomunikasi bersama untuk berbagi informasi di sepanjang tautan logistik dengan menggunakan teknologi identifikasi berbiaya rendah (yaitu, kode QR). Hasil demonstrasi utama dari proyek ini berimplikasi pada dampak positif dan nilai ekonomis secara end-to-end.Untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh cara kegiatan logistik yang tidak efisien, proyek Intelligent Cargo project (iCargo)2 yang didanai oleh Uni Eropa diharapkan dapat memberikan solusi potensial.

Sangat bergantung pada TIK, iCargo mampu mengidentifikasi diri, deteksi konteks, akses layanan, pemantauan status, dan pendaftaran. Dengan demikian, visibilitas end-to-end aliran pengiriman ditingkatkan dengan sistem pelacakan kargo menangkap informasi real-time yang berkaitan dengan lokasi, waktu, dan status Dengan cara ini, proses logistik seperti aset manajemen, jalur perutean kargo dapat dioptimalkan untuk menghindari truk kosong atau kemacetan. Visi logistik lain yang disebut sebagai logistik hijau menunjukkan metode yang menggunakan teknologi canggih dan peralatan inovatif untuk mengatasi. Masalah lingkungan seperti emisi gas rumah kaca (GRK), kebisingan, dan kecelakaan terutama disebabkan oleh operasi logistik yang tidak efisien.

Untuk menjadikan logistik global hijau, aspek lingkungan diperhatikan sebagai prioritas utama dalam semua operasi logistik khususnya, transportasi, pergudangan, dan operasi inventaris dilakukan dalam serangkaian penelitian dan diselidiki dalam model

Operation Research (OR). r misalnya, untuk meminimalkan emisi GRK dari transportasi, operasi dilakukan dengan mengoptimalkan empat pilihan penting, yaitu pilihan moda (pesawat, kapal, truk, kereta api, tongkang atau jaringan pipa), penggunaan angkutan antar moda. (yaitu, jenis kontainer), pilihan peralatan (yaitu, jenis dan ukuran unit transportasi) dan pilihan bahan bakar (misalnya, bensin, bahan bakar nabati, listrik, dll.) Saat pemilihan optimal peralatan penanganan ini dimulai, emisi minimum diperoleh, sehingga kelestarian lingkungan dihasilkan.

Baru-baru ini, Internet Fisik (PI, atau) adalah paradigma baru yang sangat diharapkan untuk mencapai secara bersamaan tiga dimensi keberlanjutan: ekonomi, lingkungan, dan masyarakat dalam skala global. sebagai metafora PI dibangun menuju sistem logistik global terbuka yang didirikan terutama pada interkonektivitas fisik, digital, dan operasi melalui seperangkat wadah modular standar (π kontainer s), protokol kolaboratif (π -protocols), dan antarmuka cerdas (simpuls) , Diistilahkan untuk pusat distribusi peti kemas) untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Dengan demikian, PI tidak memanipulasi barang fisik secara langsung tetapi kontainer yang merangkum barang dagangan fisik di dalamnya. kontainer adalah standar dunia, cerdas, dan berisi hijau dan modular.

Ekonomi, mereka dicirikan oleh modularitas dan standarisasi di seluruh dunia dalam hal dimensi, fungsi, dan perlengkapan. ting logistik dan rantai pasokan keragaman merek dan jenis produk dengan berbagai ukuran dan berat mengarah ke kisaran ukuran kotak karton yang hampir tak terbatas. pemanfaatan ruang di tingkat palet dan sebagai konsekuensinya juga di tingkat truk. Untuk melepaskan masalah tersebut, konsep standarisasi peti kemas dari PI bertujuan untuk menentukan satu set terbatas dimensi wadah modular yang tunduk pada semua persyaratan khusus. Dengan demikian, memiliki sejumlah kecil kontainer seperti itu akan memudahkan barang untuk digulirkan dari simpul dan ke -trucks dan --trains. kontainer s, simpul, dan penggeraks (dilambangkan untuk material penanganan peralatan) untuk memaksimalkan efisiensi operasinya. Selain itu, simpul dan penggerak dirancang dan Misalnya, dimensi fisik penggerak seperti -pallet atau -trucks harus bersifat modular dan dapat disesuaikan agar sesuai dengan berbagai ukuran kontainer komposit.

Dengan cara ini, fasilitasi proses logistik seperti pemindahan , penyimpanan, penanganan, pengangkutan unit beban memungkinkan sistem untuk mendapatkan efisiensi dan keberlanjutan yang sangat besar.Pekerjaan di membuktikan bahwa standarisasi kontainer meningkatkan pemanfaatan ruang truk dan peralatan penanganan material.Dalam penelitian serupa, evaluasi Kinerja PI diperkenalkan di menunjukkan bahwa pengangkutan pengiriman di jaringan PI berkontribusi untuk mengurangi biaya persediaan dan sistem logistik total berkat fasilitasi konsolidasi kontainer standar tersebut.karena pendekatan konsolidasi pengiriman terbukti mengurangi limbah karbon dan energi secara efektif di tradisional sistem logistik.

Sebuah proyek telah dilakukan oleh CELDi (Pusat Keunggulan dalam Logistik dan Distribusi) untuk memeriksa dampak PI yang lebih komprehensif terhadap kinerja sistem logistik yang ada di AS. Hasil demonstrasi utama yang dinyatakan dalam menyiratkan berbagai dampak positif dari PI pada ketiga aspek berkelanjutan Secara konkret, jika PI

diluncurkan pada 25% arus di AS, dampaknya akan mewakili penghematan 100 miliar USD, pengurangan 200 juta ton emisi CO2, dan penurunan 75% dalam omset jarak jauh untuk pengemudi kendaraan yang mengendarai barang berat Proyek lain yang dipimpin dalam CIRRELT (Pusat Penelitian Antar Universitas tentang Jaringan Perusahaan, Logistik dan Transportasi) adalah memperkirakan potensi keuntungan energi, lingkungan dan keuangan untuk satu produsen industri barang-barang manufaktur yang memanfaatkan jaringan distribusi terbuka Hasil simulasi dari beberapa skenario yang diperkenalkan pada [9] menunjukkan dampak PI dengan keuntungan berlipat ganda termasuk peningkatan tingkat pengisian kendaraan (misalnya, truk, kereta api, dll.), penghematan energi (menghemat jutaan liter solar per tahun), dan pengurangan biaya logistik secara keseluruhan.

PI adalah visi jangka panjang untuk jaringan logistik global end-to-end, dan beberapa aliansi seperti MHI3 dan ALICE4 telah mengadopsi dan kemudian mempromosikan konseptualisasi dan praktik PI. mewujudkan konsep PI pada tahun 2050. Untuk mencapai PI penuh, banyak faktor yang perlu diperhitungkan secara bersamaan, termasuk objek fisik seperti kontainer , penggerak, dan - simpul serta abstrak informal termasuk -protocol dan Sistem Manajemen Internet Fisik (PIMS) Dengan demikian, PI akan mengarah pada pengembangan sistem logistik terbuka untuk menghubungkan objek fisik ke Internet global.

Konsep ini menunjukkan evolusi organisasi yang signifikan, di mana objek logistik diharapkan menjadi cerdas dan otonom karena mereka adalah saluran komunikasi dan stok informasi pada saat yang sama.Dalam konteks ini, PI adalah pemain kunci yang siap untuk mendapatkan keuntungan. dari *Internet of Things (IoT)* bergema karena jutaan kontainer dipindahkan, dilacak, dan disimpan oleh berbagai simpul dan penggerak setiap hari.

Dengan menanamkan kemampuan cerdas seperti penginderaan, komunikasi, dan pemrosesan data ke dalam komponen PI, IoT memungkinkan interkoneksi yang mulus dari perangkat heterogen dan untuk mendapatkan visibilitas operasional yang lengkap dan memungkinkan keputusan real-time terbaik dalam proses logistik. arsitektur untuk PI dan parti. Namun, banyak literatur PI dan IoT, hingga saat ini, sebagian besar telah terputus-putus tanpa banyak penekanan pada teori atau penerapan praktis Bab ini membahas tren aplikasi IoT di PI dan mengungkap berbagai masalah yang harus ditangani untuk mengubah teknologi logistik melalui inovasi IoT.

Dalam hal ini, kontribusi utama bab dirangkum sebagai berikut:

- Paradigma PI yang menyertai perkembangan mutakhir dari proyek terkait disorot. Selain itu, desain proposisi untuk komponen PI diperkenalkan ke aplikasi IoT di PI. simpul.
- Kerangka informasi diusulkan berdasarkan pemanfaatan IoT yang tertanam dalam perangkat fisik PI dan interaksi aktifnya.
- Arsitektur berorientasi layanan (SOA) diusulkan dan dijelaskan untuk IoT yang diterapkan untuk PI. SOA tersebut kemudian mengeksploitasi kerangka kerja informasi untuk membuat dan memberikan layanan IoT untuk PIMS.

- Dengan mengadaptasi kerangka kerja yang diusulkan, sebuah studi kasus yang bertujuan untuk mengembangkan layanan IoT disajikan untuk menggambarkan layanan manajemen operasi logistik yang efisien di PI.

Sisa bab ini disusun sebagai berikut: Bagian 18.2 menjelaskan infrastruktur utama yang memungkinkan PI dan desain proposisi kami untuk membuat IoT di jaringan PI. Dalam Bagian 18.3, kami mengusulkan SOA, yang dirancang untuk beradaptasi dengan lingkungan logistik untuk menyediakan layanan logistik IoT. Setelah itu, Bagian 18.4 memperkenalkan studi kasus yang menggunakan arsitektur IoT yang diusulkan serta arsitektur SOA yang diusulkan untuk membuat dan memberikan layanan nilai tambah untuk manajemen PI. Akhirnya, Bagian 18.5 menyimpulkan bab dan mengusulkan perkembangan lebih lanjut.

18.2 Infrastruktur IoT untuk Internet Fisik

Di bagian ini, kami akan menyajikan elemen kunci termasuk kontainer s, simpuls, dan penggerak serta desain proposisi canggih yang memungkinkan IoT untuk Internet Fisik.

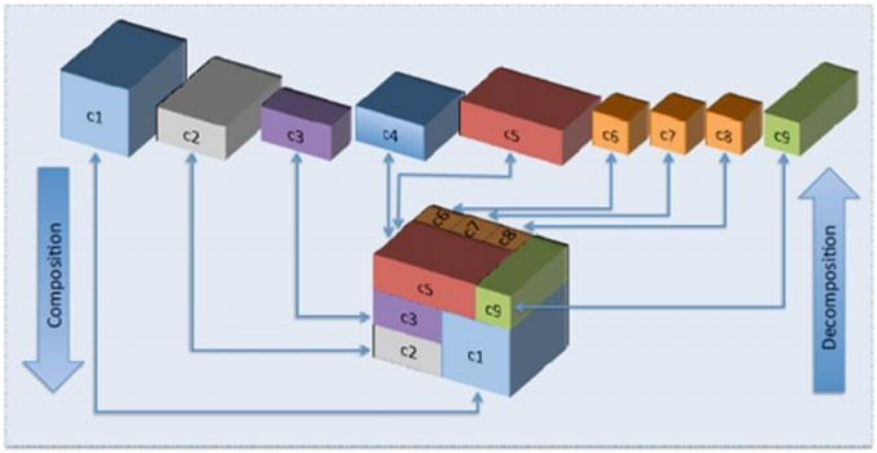
18.2.1 Kontainer

Kontainer adalah elemen kunci yang memungkinkan keberhasilan operasi PI. Kontainer diklasifikasikan ke dalam tiga kategori fungsional: kontainer transportasi, penanganan, dan pengemasan (masing-masing disebut sebagai kontainer T / H / P) dengan korelasinya. menanggapi dimensi modular . Proposisi diperkenalkan untuk merancang ukuran modular wadah ini. Meskipun himpunan dimensi modular harus tunduk pada komite standar internasional, mitra proyek CELDi PI mengembangkan model matematika untuk menentukan ukuran kontainer terbaik untuk memaksimalkan pemanfaatan ruang.Secara paralel, proyek MODULUSHCA5 yang didanai oleh kerangka kerja ke-7 Program komisi Eropa adalah proyek pertama yang merancang dan mengembangkan kontainer (disebut sebagai M - kotak dalam proyek ini) yang didedikasikan untuk barang-barang konsumen yang bergerak cepat (FMCG). Secara umum, FMCG mencakup barang-barang bekas konsumen sehari-hari dengan berbagai ukuran kecil / menengah seperti farmasi, elektronik konsumen, Kotak-M berukuran dan dirancang dengan proses rekayasa metodologis yang diperkenalkan dalam penelitian.

Mereka menunjukkan bahwa satu set dimensi eksternal wadah termasuk nilai berikut dalam meter {0.12, 0.24, 0.36, 0.48, 0.6, 1.2, 2.4, 3.6, 4.8, 6, 12} meningkatkan pemanfaatan ruang pada tingkat beban unit yang berbeda Dengan modularitas dan struktur interlocking, konsep enkapsulasi diterapkan untuk menciptakan beban unit yang efisien yang memfasilitasi proses penanganan material seperti pemindahan, pemuatan, atau penyimpanan Gambar 18.1 mengilustrasikan konsep tersebut yang diwujudkan dengan menyusun sembilan kontainer yang lebih kecil untuk membuat kontainer komposit sebagai unit beban yang efisien.

Perhatikan bahwa, enkapsulasi fisik diterapkan dalam tiga jenis wadah . Dengan demikian, wadah P yang berisi langsung beberapa barang pasif ditempatkan di wadah H, itu sendiri terkandung dalam wadah T. Memang, sejumlah yang lebih kecil kontainer dioptimalkan seperti blok komposisinya (composite kontainer) sangat cocok dengan ruang internal kontainer yang besar.

Selain itu, PI menekankan pentingnya enkapsulasi informasi dan komunikasi. Hal ini dicapai dengan menerapkan IoT dan menyematkan teknologi yang menyertainya seperti RFID, jaringan sensor nirkabel (WSNs).Dengan integrasi ICT seperti itu, kontainer menjadi pintar Objek IoT memiliki kemampuan dasar seperti identifikasi, penginderaan ambien, komputasi, dan komunikasi.Karena kontainer dimanipulasi di seluruh dunia oleh semua jaringan, informasi yang berkaitan dengan status fisik dan konteksnya harus ditangkap, dikodekan, dilindungi, dan ditransfer secara akurat.



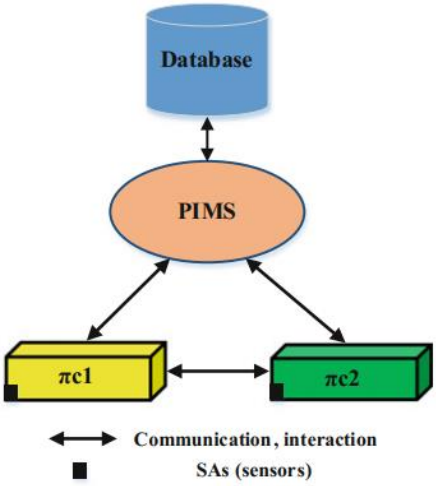
Gambar 18.1 Contoh konsep enkapsulasi yang menyusun sembilan kontainer untuk menghasilkan unit load yang efisien

Standar global EPC memberikan solusi yang memungkinkan identifikasi kontainer secara unik. Secara konkret, kode kontainer dibuat sesuai dengan tag RFID dengan standar EPC. Jadi, ketika kode dimasukkan ke dalam layanan, informasi diumpankan ke Layanan Informasi EPC (EPCIS) 6 dibagi antar operator. Sementara itu, kemampuan penginderaan simpul sensor memungkinkan kondisi lingkungan sekitar wadah dipantau secara berkala. Dengan kemampuan tersebut, wadah dapat mengidentifikasi statusnya dan melaporkannya, membandingkan keadaannya dengan yang diinginkan, dan mengirim informasi (misalnya, peringatan) ketika kondisi tertentu terpenuhi.

Selanjutnya, terintegrasi dengan memori, simpul sensor dapat menyimpan dan memelihara data yang relevan. Menerapkan untuk jaringan PI, karena kontainers setara dengan paket data yang mengalir di jaringan Internet Digital, informasi yang berkaitan dengan spesifikasi dasar kontainer harus disimpan dalam memori seperti pengidentifikasi kontainer, uang receh kontainer nsion, kategori container. Selain itu, untuk mendukung protokol routing secara efektif, informasi routing (yaitu alamat tujuan sebelumnya / berikutnya / akhir) dari kontainer yang disediakan oleh PIMS juga ditambahkan ke memori sensor.

Lebih penting lagi, masalah apa pun Dalam proses logistik di sepanjang rantai pasokan akan direkam dalam memori simpul sensor nirkabel, sehingga informasi tersebut dapat diperiksa menggunakan perangkat apa pun seperti komputer, tablet, atau bahkan ponsel. Kemampuan pemrosesan memungkinkan simpul untuk melakukan tugas tertentu

dan menyediakan fungsionalitas tambahan yang sesuai untuk container. Sementara itu, diaktifkan oleh transceiver nirkabel terintegrasi, kontainer dapat berkomunikasi dengan sistem pendukung yang berbeda (misalnya, sistem manufaktur, rantai pasokan, sistem pemeliharaan, PIMS) dan kontainer aktif lainnya untuk mengaktifkan IoT serta layanan IOT.

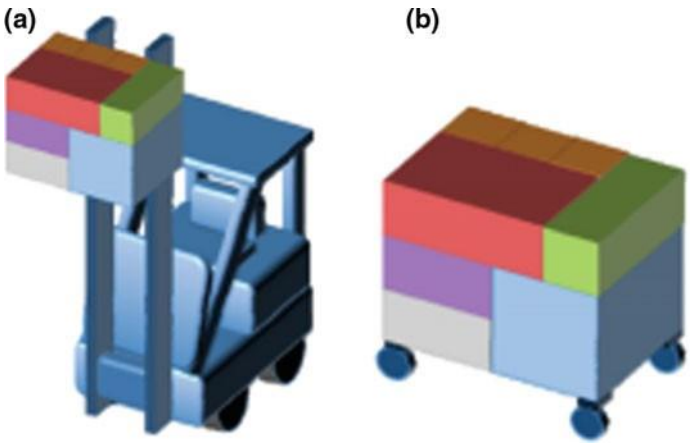


Gambar. 18.2 Sensor nirkabel atau tag pintar yang tertanam diwadah sebagai agen mereka memungkinkan interaksi antara mereka dan dengan PIMS secara aktif

Secara praktis, contoh integrasi semua kemampuan ini dalam Wadah Cerdas yang disebut InBin7 baru-baru ini berkembang ed oleh Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics untuk mendukung pengangkutan produk makanan yang mudah rusak secara efisien. Proyek lain bernama TRAXENS8 telah mengembangkan wadah multi-modal pintar (yaitu, wadah T setara dalam PI) yang dapat mencapai keuntungan besar dalam efisiensi, layanan, dan perlindungan planet ini karena visibilitas kontainer kargo diperoleh secara waktu sebenarnya.

Dengan integrasi TIK seperti itu, setiap kontainer cerdas diwakili oleh agen cerdas yang sesuai (misalnya, tag cerdas, sensor nirkabel, dll.) Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18.2. Setiap agen adalah sebagai saluran komunikasi yang diaktifkan oleh nirkabel teknologi komunikasi dan menyimpan stok informasi penting yang berkaitan dengan produk dan statusnya. Selain itu, ini membantu memastikan identifikasi, integritas, perutean, pengkondisian, pemantauan, keterlacakan, dan keamanan setiap kontainer.

Ini juga memungkinkan distribusi penanganan, penyimpanan, dan otomatisasi perutean. Melalui PI, sensor dapat mengakses data yang diperlukan dengan berinteraksi dengan agen. Namun, berdasarkan peran pemohon, data yang lebih terbatas mungkin diperlukan dan diakses untuk memastikan keamanan dan privasi data Model data umum Modulusca yang terdiri dari empat tipe data: data bisnis, data pengiriman, data jaringan, dan data publik, yang dapat diakses oleh aktor terkait dengan hak yang diberikan untuk mendukung pertukaran informasi di antara para mitra PI.



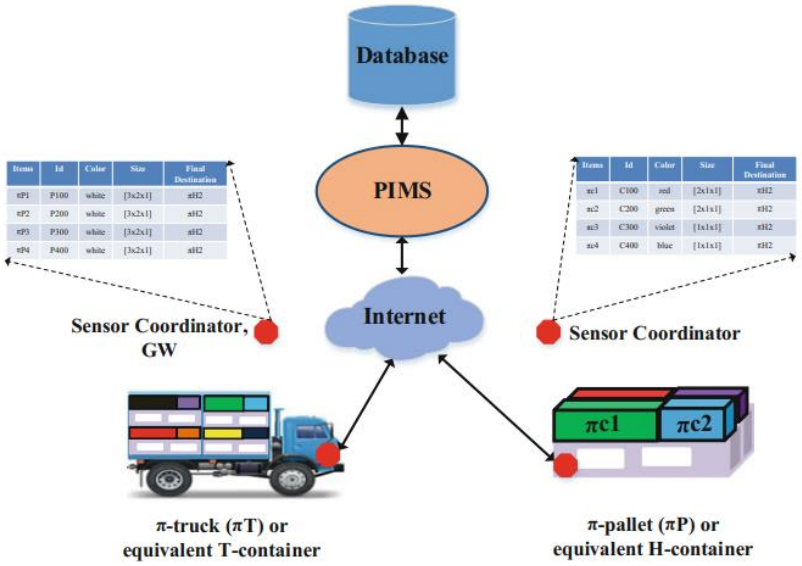
Gambar 1.3 Ilustrasi konseptual Penggerak yang dirancang untuk memanfaatkan modularitas kontainer.
a -truk-angkat b – Penggerak

18.2.2 Penggerak

Di Internet Fisik, kontainer secara umum dipindahkan oleh penggerak. Pindah digunakan di sini sebagai padanan generik untuk kata kerja seperti mengangkut, menyampaikan, menangani, mengangkat, dan memanipulasi. Jenis utama Penggerak termasuk - transporter, konveyer, dan -handler. Yang terakhir adalah manusia yang memenuhi syarat untuk memindahkan kontainer. Semua penggerak dapat menyimpan kontainer untuk sementara meskipun ini bukan misi utama mereka.

Karena penggerak dimanipulasi secara langsung dengan kontainer, mereka dirancang untuk memanfaatkan sebaik mungkin karakteristik kontainer Dari perspektif fisik, dimensi penggerak diinovasi untuk tunduk pada standar modularitas kontainer Gambar 19.3 mengilustrasikan model konseptual penggerak yang dirancang untuk mengeksploitasi modularitas kontainer Gambar 19.3 mengilustrasikan model konseptual penggerak yang dirancang untuk memanfaatkan modularitas kontainer.

Berkenaan dengan perspektif informasi, adopsi teknologi IoT secara luas memungkinkan inventaris cerdas dan manajemen aset. Secara khusus, penggerak dapat bertindak sebagai agen aktif, yang dapat berinteraksi dengan kontainers dan PIMS untuk berbagi informasi dan mengelolanya sementara di Selain itu, status kontainer dan juga penggeraks dipantau secara real time, misalnya, PIMS dapat diperingatkan ketika -truck sedang digunakan secara berlebihan atau ketika -pallet yang menganggur harus ditugaskan untuk melakukan tugas lain Gambar 19.4 mengilustrasikan contoh yang menunjukkan keaktifan penggerak (π -pallet (π) P) dan -truck (π T)) yang diaktifkan oleh sensor atau gateway nirkabel yang dilengkapi.



Gambar 18.4 Layanan logistik IoT yang disediakan oleh infrastruktur IoT dari internet fisik seperti T dan P aktif yang diaktifkan oleh sensor atau gateway nirkabel yang dilengkapi

18.2.3 Simpul

Dalam visi PI, simpul adalah lokasi yang berperan sebagai antarmuka cerdas untuk memungkinkan mewujudkan interkonektivitas universal di tingkat operasional. Misalnya, -gateways memungkinkan masuknya kontainer ke PI secara efisien dan terkendali serta keluarnya dari PI Umumnya, simpul mencakup -penggerak dan / atau simpul tertanam lainnya secara permanen atau sementara, yang dikolaborasikan untuk tujuan bersama penanganan material (misalnya, menyusun kontainer, memindahkan komposit kontainer, menyimpan kontainer komposit, dll.) Tabel 19.1 merangkum kunci simpul yang dirancang untuk jaringan PI Sebagai pusat distribusi kontainer, hampir semua aktivitas logistik dilakukan dan ditransformasikan di sini secara dinamis. Jadi, simpul harus dirancang sedemikian rupa Di bagian selanjutnya, PIMS terdistribusi aktif untuk antarmuka pintar ini diusulkan untuk memungkinkan kelancaran. aliran fisik smart kontainer.

Tabel 18.1 Kunci simpul dengan fungsi spesifiknya di PI

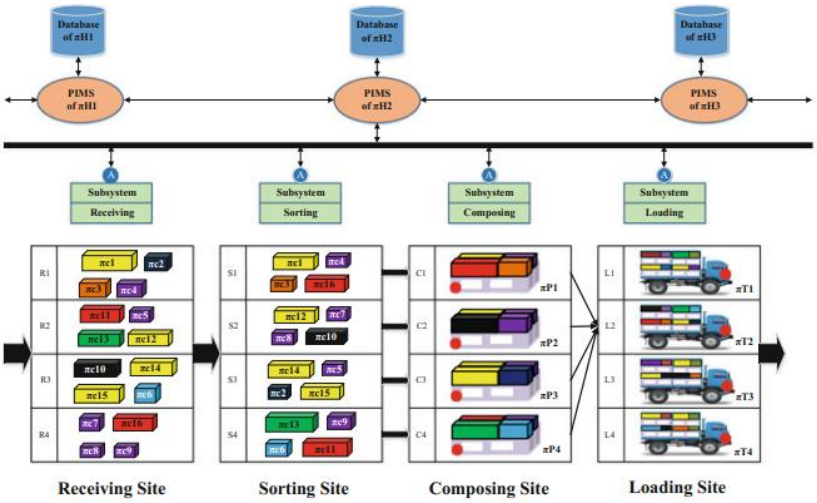
π-simpul	Kegunaan
π-transit	Mentransfer -carrier dari -vehicles masuk ke -vehicles keluar
π-beralih	Transfer unimodal dari kontainer dari -penggerak yang masuk ke -penggerak yang berangkat
π-jembatan	Transfer multimodal satu-ke-satu dari kontainer dari -penggerak yang masuk ke -penggerak yang berangkat
π-penyortir	Menerima kontainer dari satu atau beberapa titik masuk dan harus menyortirnya untuk mengirim masing-masing dari titik keluar tertentu, berpotensi dalam urutan tertentu
π-komposer	Membangun -wadah komposit dari set wadah . yang ditentukan

π-toko	Menyimpan -wadah dalam durasi waktu tertentu
π-gerbang	Terima kontainer dan lepaskan sehingga mereka dan kontennya dapat diakses di jaringan pribadi
π-hub	Pemindahan kontainer dari -penggerak masuk ke kontainer keluar

18.2.4 PIMS Terdistribusi Aktif untuk simpul

Karena tingginya dinamika dan kompleksitas struktural jaringan PI, perencanaan pusat dan pengendalian proses logistik menjadi semakin sulit.Kesulitan tersebut diperkuat oleh kebutuhan manajemen yang efisien dari sejumlah besar kontainer dan aset logistik di setiap simpul. Oleh karena itu, kontrol dan manajemen proses logistik yang terdistribusi dan otonom diperlukan dalam konteks PI. Dengan kata lain, PIMS harus dirancang secara terdistribusi yang memungkinkan pengelolaan fasilitas dan aset logistik secara efisien. Selain itu, PIMS Yang dimaksud dengan "keaktifan" adalah kemampuan PIMS dalam memantau status aset logistik secara real time dan berdasarkan penjadwalan informasi ini, proses direncanakan secara fleksibel dan efektif sehingga pemanfaatan aset dapat dioptimalkan. Bagian ini menjelaskan usulan sistem terdistribusi aktif yang dirancang untuk mengaktifkan IoT untuk PI dalam perspektif aliran informasi dan fisik.

Dengan sistem terdistribusi aktif, proses logistik dipantau dan dikendalikan secara efektif, sehingga kesalahan atau kesalahan niat dapat dilacak dan proses yang tepat yang menyebabkan masalah tersebut dapat ditemukan berkat keaktifan PIMS untuk memperbaikinya. simpuls adalah untuk memastikan kontainer mentransfer secara efisien dan berkelanjutan dari inbound penggerak membawa kontainers ke outbound penggerak.



Gambar 18.5 Sebuah PIMS terdistribusi tipikal untuk mengelola kontainer masuk dan keluar dan aset logistik di H2

Selain itu, diaktifkan oleh IoT, aset logistik dapat terhubung ke PIMS. Oleh karena itu, semua simpul tidak hanya dapat mengelola kontainer yang masuk dan keluar yang berpartisipasi dalam proses logistik tetapi juga aset logistik mereka secara real time.

Gambar 18.5 mengilustrasikan PIMS seperti itu di -hub yang didistribusikan ke dalam subsistem aktif, yang bertanggung jawab untuk fungsi tunggal atau layanan terkait.

Dengan cara yang sama, subsistem yang berkembang spesifik -wadah dan fasilitas yang ditugaskan oleh PIMS mengelola dan mengambil fungsinya.Subsistem aktif bertanggung jawab untuk mengelola satu set aset PI, inventaris (yaitu, -wadah, penggerak) dalam periode yang dijadwalkan untuk menyelesaikan tugas spesifiknya.

Seperti yang didefinisikan pada Tabel 18.1 pertukaran kontainer dari operator ke yang lain adalah aktivitas inti dari -hub (π H).Berikut ini menunjukkan proses pertukaran tersebut baik dalam aliran fisik dan informasi dengan integrasi IoT.Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18.5, proses logistik di H2 dibagi dalam empat sub-proses yang dikelola oleh empat subsistem aktif yang sesuai.

Menerima

Di situs penerima, semua penggerak, dan kontainer yang masuk didaftarkan, diverifikasi, dan dipindai untuk keperluan validasi dan keamanan. terhadap informasi yang ditransmisikan dari H1. Setelah melewati proses awal tersebut, kontainer diarahkan ke lokasi yang sesuai untuk proses berikutnya yang terlibat. Biasanya, memindahkan kontainer didukung oleh konveyer atau -carrier tergantung pada Untuk menghindari tabrakan dan keseimbangan beban, kontainer dialokasikan untuk masuk jalur input yang berbeda.Misalnya, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18.5, setiap empat kontainer dijadwalkan dan dipindahkan dalam satu jalur (tujuan berikutnya dan proses selanjutnya. yaitu, R1, R2, R3, R4) untuk memastikan kelancaran aliran waktu dan jendela ruang Tabel 19.2 menggambarkan status detail kontainer yang dijadwalkan oleh subsistem penerima di lokasi penerima Jadwal dikirim ke subsistem penyortiran tem yang bertanggung jawab untuk menyortir kontainers yang terdaftar.

Tabel 18.2 Jadwal ruang dan waktu untuk kontainer di lokasi penerima

Status -wadah di situs penerima

πc	Digerakkan oleh (π-penggerak)	Lokasi (jalur)	Waktu keluar (min, maks)	Proses selanjutnya	Hub Berikutnya
πc1	π konveyor	R1	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH3
πc2	πkonveyer	R1	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH4
πc3	πkonveyer	R1	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH3
πc4	πkonveyer	R1	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH3
πc5	πkonveyer	R2	(07:00, 07:02)	Penyortiran	πH4

Penyortiran

Keluar dari tempat penerima, kontainer yang diterima dan dipilih menuju ke tempat penyortiran yang bertujuan untuk mengurutkan kontainer tersebut menurut beberapa aturan sebagai berikut

- Π kontainer memiliki tujuan akhir yang sama,
- Atau mereka mungkin memiliki tujuan akhir yang berbeda tetapi dijadwalkan untuk transit di simpul berikutnya yang sama.

Tabel 18.3 mengilustrasikan contoh status dan jadwal kontainer di lokasi penyortiran.

Dalam contoh ini, kontainer, c1 c3, dan c4 yang memiliki tujuan akhir (π H3) diurutkan dan dipindahkan di jalur S1, sedangkan c2 dan c5 dipindahkan di jalur S3 sejak tujuan akhirnya. adalah H4 Seperti disebutkan sebelumnya, misi penyortiran dicapai oleh -sorter yang menggabungkan jaringan -conveyor dan / atau -sorters tertanam lainnya.

Menulis

Di lokasi pembuatan, kontainer yang disortir disusun menjadi kontainer komposit, yang merupakan beban efisien dengan ukuran berbeda yang sesuai dengan ukuran kontainer H / T. Selain itu, urutan penyusunannya harus diperhitungkan karena beberapa kontainer dapat didekomposisi di simpul berikutnya, sehingga harus ditempatkan di lokasi terluar dari kontainer komposit. Dengan kata lain, kesalahan dalam mengalokasikan kontainer dapat menyebabkan ketidakefisienan proses logistik berikut. , tugas penyusunan diselesaikan oleh -komposer dalam kombinasi dengan penggerak yang telah ditetapkan sebelumnya seperti -pallet atau kontainer yang lebih besar untuk dibawa.

Tabel 18.4 mengilustrasikan contoh status dan jadwal kontainer di lokasi pembuatan.

Setelah kontainer disusun menjadi kontainer komposit, enkapsulasi informasi diterapkan. Oleh karena itu, koordinator atau gateway yang disematkan ke -pallet bertanggung jawab untuk mengelola penampung kontainernya secara langsung alih-alih subsistem penyusunnya. Ini didistribusikan manajemen memungkinkan PIMS mengurangi biaya pengelolaan dan penyimpanan data terkait.

Tabel 18.3 Jadwal ruang dan waktu untuk kontainer di lokasi penyortiran

Status -wadah di tempat penyortiran

πc	Digerakkan oleh (π-penggerak)	Lokasi (jalur)	Waktu keluar (min, maks)	Proses selanjutnya	Hub Berikutnya
πc1	πkonveyer	S1	(07:03, 07:04)	Menulis	πH3
πc2	πkonveyer	S3	(07:03, 07:04)	Menulis	πH4
πc3	πkonveyer	S1	(07:03, 07:04)	Menulis	πH3
πc4	πkonveyer	S1	(07:03, 07:04)	Menulis	πH3
πc5	πkonveyer	S3	(07:03, 07:04)	Menulis	πH4

Tabel 18.4 Jadwal ruang dan waktu untuk kontainer di lokasi penyusunan Status -wadah di situs penulisan

πc	Digerakkan oleh (π-penggerak)	Lokasi (jalur)	Waktu keluar (min, maks)	Proses selanjutnya	Hub Berikutnya
πc1	πP1	C1	(07:04, 07:05)	Memuat	πH3
πc2	πP3	C3	(07:04, 07:05)	Memuat	πH4
πc3	πP1	C1	(07:04, 07:05)	Memuat	πH3
πc4	πP1	C1	(07:04, 07:05)	Memuat	πH3
πc5	πP3	C3	(07:04, 07:05)	Memuat	πH4

Memuat

Proses loading berhubungan dengan kontainer komposit atau H / Tkontainer untuk memuatnya ke -transporter dan kemudian memindahkannya ke simpul berikutnya.Serupa dengan proses composing, proses loading harus mengikuti aturan signifikan sebagai berikut:

Tabel 18.5 Jadwal ruang dan waktu untuk kontainer di lokasi pemuatan Status kontainer di lokasi pemuatan

πc	Digerakkan oleh (π-penggerak)	Lokasi (jalur)	Waktu keluar (min, maks)	Proses selanjutnya	Hub Berikutnya
πP1	πT2	L2	(07:05, 07:06)	mengangkut	πH3
πP2	πT2	L2	(07:05, 07:06)	mengangkut	πH3
πP3	πT3	L2	(07:05, 07:06)	mengangkut	πH3
πP4	πT4	L2	(07:05, 07:06)	mengangkut	πH3

- Jumlah kontainer komposit termasuk Hkontainer dioptimalkan sehingga pengaturan spasialnya dalam -transporter memaksimalkan pemanfaatan ruang,
- Karena kontainer komposit mungkin memiliki tujuan akhir yang berbeda tetapi tujuan berikutnya yang sama, urutan pemuatannya harus diperhitungkan untuk memfasilitasi proses pembongkaran di tujuan berikutnya. Dalam hal ini, last-in-first-out (LIFO) aturan diterapkan.

Tabel 18.5 mengilustrasikan contoh status dan jadwal kontainer di lokasi pembuatan.

Dalam contoh, empat -pallet dipindahkan dan berkumpul di jalur L2 dari situs pemuatan, di mana mereka dimuat ke T2 yang telah ditentukan sebelumnya.Pada perspektif informasi, koordinator atau gateway atau perangkat IoT dipasang di T2 untuk sementara mengelola kontainer yang dimuat sampai mereka ditangani dalam proses berikutnya.

18.3 Arsitektur Berorientasi Layanan untuk IOT

Karena tidak ada konsensus tunggal tentang arsitektur untuk IoT yang disepakati secara universal, arsitektur yang berbeda telah diusulkan oleh para peneliti. Dengan banyak hal yang bergerak secara dinamis dalam skenario PI, arsitektur adaptif diperlukan untuk membantu perangkat berinteraksi secara dinamis dengan hal-hal lain dalam Selain itu, sifat IoT yang terdesentralisasi dan heterogen mengharuskan arsitektur menyediakan kemampuan event-driven yang efisien IoT serta layanan sesuai permintaan. , handal, standar, dan arsitektur berbiaya rendah. Selanjutnya, tuntutan bisnis yang selalu berubah dan kebutuhan pengguna akhir yang berbeda harus dipenuhi dengan menyediakan fungsionalitas kustomisasi kepada pengguna akhir dan organisasi di bawah SOA yang fleksibel. Jadi SOA dianggap sebagai metode yang efisien untuk mencapai interoperabilitas antara perangkat heterogen dalam banyak cara. Selain itu, SOA dianggap cocok untuk rantai logistik yang digerakkan oleh permintaan. Secara khusus, SOA dapat mengintegrasikan proses dan informasi logistik; dan berbagi informasi tersebut dapat membantu menciptakan lingkungan yang lebih baik untuk kolaborasi waktu nyata, nyata -sinkronisasi waktu, dan visibilitas waktu nyata di seluruh rantai logistik.

Bagian ini menjelaskan SOA yang diusulkan untuk membuat layanan logistik IoT di PI. Arsitekturnya terdiri dari empat lapisan: lapisan fisik, lapisan jaringan, lapisan layanan, dan lapisan antarmuka. Dalam subbagian berikut, lapisan ini disajikan untuk beradaptasi dengan IoT dari PI.

18.3.1 Lapisan Fisik

Lapisan fisik melibatkan persepsi karakteristik fisik benda atau lingkungan sekitarnya.Proses ini diaktifkan oleh beberapa teknologi identifikasi dan penginderaan seperti RFID, WSN. Misalnya, dengan menanamkan sensor cerdas ke kontainer , kondisi lingkungan (misalnya, suhu, kelembaban, dll.) di sekitarnya dapat dirasakan dan dipantau secara real time. Selain itu, karena komunikasi diaktifkan oleh sensor ini, wadah dapat bertukar informasi dan mengidentifikasi satu sama lain.

Selain itu, lapisan ini bertugas mengubah informasi menjadi sinyal digital, yang lebih nyaman untuk transmisi jaringan. Namun, beberapa objek mungkin tidak dapat dirasakan secara langsung. Dengan demikian, microchip akan ditambahkan ke objek ini untuk menyempurnakannya dengan penginderaan. Dan bahkan kemampuan pemrosesan. Memang, teknologi nano, materi komunikasi dan kecerdasan tertanam akan memainkan peran kunci dalam lapisan fisik. Yang pertama akan membuat chip cukup kecil untuk disematkan ke objek yang digunakan dalam kehidupan kita sehari-hari Yang kedua akan meningkatkannya dengan kemampuan pemrosesan yang dibutuhkan oleh aplikasi masa depan.

Pada lapisan paling bawah dari arsitektur, lapisan fisik menyediakan kumpulan informasi secara berkala atau dalam mode pasif. Dengan aktivitas logistik yang masif, tingkat informasi harus dikategorikan dan distandarisasi. Misalnya, informasi yang digunakan untuk mewujudkan empat kelas keaktifan kontainer dapat diklasifikasikan menjadi empat level yang sesuai :

- Informasi pasif: dikumpulkan dari data statis atau dinamis yang disimpan dalam tag atau sensor RFID. Informasi tersebut berkaitan dengan spesifikasi kontainer dan lokasi untuk menyediakan fungsi pelacakan dan ketertelusuran.
- Informasi pemicu: Informasi ini dirasakan dari penginderaan dan pendeteksian oleh sensor yang memadai. Oleh karena itu, masalah yang terdeteksi dikirim ke PIMS sebagai pesan peringatan. Informasi tersebut menyediakan fungsi pemantauan.
- Informasi proses pengambilan keputusan: Informasi ini diperoleh melalui interaksi dan komunikasi antara proximity kontainers Pengelolaan ketidakcocokan antara kontainers adalah contoh layanan yang dilayani oleh informasi tersebut.
- Informasi yang diatur sendiri: kontainer yang aktif mandiri dan mampu memberikan layanan berdasarkan informasi yang diperoleh dari -infrastructure di kelas sebelumnya.

Tabel 18.6 Pertimbangan desain untuk aplikasi IIoT (diadaptasi dari)

Tujuan desain	Keterangan
Energi	Berapa lama perangkat IoT dapat beroperasi dengan catu daya terbatas?
Latensi	Berapa banyak waktu yang dibutuhkan untuk propagasi dan pemrosesan pesan?
throughput	Berapa jumlah maksimum data yang dapat disinter melalui jaringan?
Skalabilitas	Berapa banyak perangkat yang didukung?
Topologi	Siapa yang harus berkomunikasi dengan siapa?
Keamanan & keselamatan	Seberapa aman dan amankah aplikasi tersebut?

18.3.2 Lapisan Jaringan

Peran lapisan jaringan adalah untuk menghubungkan semua hal yang heterogen bersama-sama dan memungkinkan mereka untuk berbagi informasi dengan hal-hal lain yang terhubung. Selain itu, lapisan jaringan mampu menggabungkan informasi dari infrastruktur TI yang ada yang mendukung proses logistik (yaitu), penggerak, -facilities). Dalam SOA-IoT, layanan yang disediakan oleh IoT atau sekelompok perangkat kolektif biasanya digunakan dalam jaringan heterogen dan semua hal terkait dibawa ke layanan Internet untuk selanjutnya mengakses dan berbagi .

Karena, lapisan jaringan terutama menyediakan informasi yang dikumpulkan dari lapisan fisik ke lapisan layanan, manajemen QoS, penemuan dan pengambilan layanan, pemrosesan data dan sinyal, keamanan, dan privasi sesuai dengan kebutuhan pengguna / aplikasi adalah beberapa hal yang signifikan. Di sisi lain, perubahan dinamis topologi jaringan karena meninggalkan atau bergabung dengan perangkat IoT dapat menyebabkan jaringan tidak kuat. karena jaringan adalah tulang punggung untuk mewujudkan IoT, merancangnya harus mempertimbangkan tantangan signifikan berikut yang tercantum dalam Tabel 18.6.

18.3.3 Lapisan Layanan

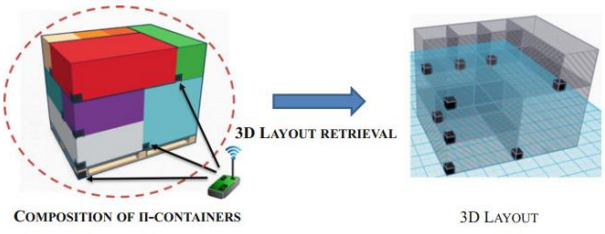
Layanan ini pada gilirannya dieksploitasi untuk mendukung proses logistik subsistem aktif serta pengguna akhir untuk memantau atau melacak Lapisan ini bergantung pada perangkat menengah untuk mengintegrasikan berbagai sumber informasi heterogen yang disediakan oleh perangkat IoT heterogen untuk menciptakan layanan yang berharga Perintah mereka Lapisan ini bertanggung jawab untuk mengidentifikasi dan mewujudkan layanan yang dapat memanfaatkan infrastruktur IoT untuk melayani operasi dalam layanan logistik. Fungsi penelusuran atau pelacakan dasar, pemantauan, penjadwalan, perutean adalah layanan khas dalam operasi logistik. Selain itu , semua masalah berorientasi layanan termasuk pertukaran dan penyimpanan informasi, manajemen basis data, mesin pencari (pencarian basis data, pencarian layanan), dan protokol komunikasi antar layanan diselesaikan oleh lapisan .

18.3.4 Lapisan Antarmuka

Di IoT, karena sejumlah besar perangkat IoT dibuat oleh pabrikan/vendor yang berbeda dan mereka tidak selalu mengikuti standar/protokol yang sama, ada banyak masalah interaksi dengan pertukaran informasi, komunikasi antar benda, dan pemrosesan kejadian kooperatif di antara yang berbeda. Oleh karena itu, misi dari lapisan antarmuka adalah untuk memungkinkan layanan diakses dan digunakan oleh manajer. Oleh karena itu, misi lapisan antarmuka adalah untuk memungkinkan layanan diakses dan digunakan oleh manajer. atau pengguna akhir. Layanan Web adalah teknologi yang mengintegrasikan seperangkat standar dan protokol untuk bertukar data antara aplikasi yang dikembangkan dalam bahasa pemrograman yang berbeda dan mereka dapat berjalan di platform apa pun. Oleh karena itu, Layanan Web dapat digunakan untuk bertukar data. Interoperabilitas dicapai dengan membuka standar yang diusulkan oleh organisasi seperti OASIS dan W3C.

18.4 Manajemen Komposit kontainer: Studi Kasus

Kontainer komposit yang terdiri dari kumpulan kontainer yang lebih kecil yang ditentukan adalah unit beban yang efisien, yang mutlak penting dalam meningkatkan efisiensi pengangkutan, penyimpanan, dan penanganan di seluruh jaringan PI. Dengan memanfaatkan modularitas dan struktur interlocking dari - kontainer, unit beban memiliki ukuran yang berbeda yang disesuaikan agar sesuai dengan ukuran yang berbeda dari sistem penanganan material seperti -pallet (lihat Gambar 18.6). Selanjutnya, set -pallet tersebut, yang pada gilirannya, dimuat ke dalam -truk sedemikian rupa sehingga ruang truk yang digunakan dimaksimalkan sebelum diangkut seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18.5.



Gambar 18.7 Pengambilan layout 3D dari kontainer . komposit

Karena pertukaran kontainer adalah kegiatan inti yang berlangsung terus-menerus di PI, frekuensi proses transformasi yang tinggi dapat Misalnya, wadah yang tidak terduga dapat ditempatkan pada -pallet selama proses pembuatan Selain itu, dalam proses cadangan (yaitu, penguraian atau pembongkaran) bagian kontainer kesatuan dapat didekomposisi (yaitu, de-palletized) secara otomatis di tujuan akhir atau untuk pengambilan pesanan di tujuan berikutnya. posisi dan orientasi kontainer yang tersusun tersedia.

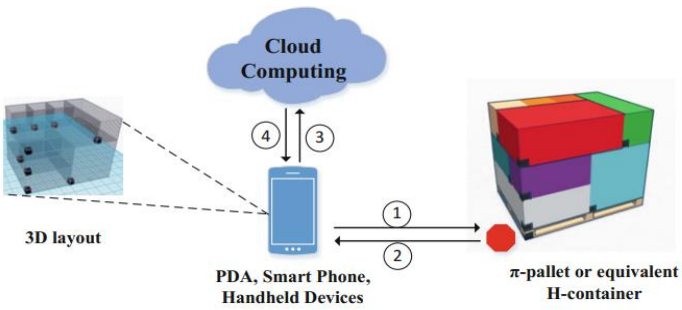
18.4.1 Arsitektur

Arsitektur jaringan yang diusulkan dari IoT yang ditunjukkan pada Gambar 18.8 berisi infrastruktur tetap dan seluler.

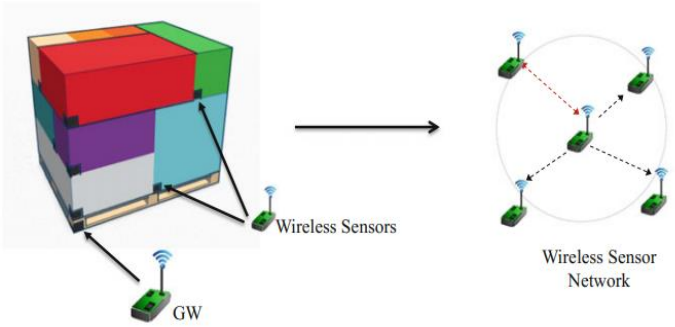
Menerapkan arsitektur yang diusulkan, arsitektur IoT empat lapis terdiri dari elemen-elemen berikut. Pada lapisan penginderaan, setiap node sensor yang dilengkapi dengan masing-masing kontainer berisi informasi yang terkait dengan spesifikasi wadahnya serta pengiriman yang terkandung. kondisi ambien seperti suhu, kelembaban dirasakan dan disimpan dalam sensor. Sebuah gateway (GW) yang ditempatkan di sudut -pallet bertanggung jawab untuk mengkoordinasikan jaringan yang dibentuk oleh sensor tersebut dan mengelola kontainer yang tersusun. Pada lapisan jaringan , sensor dan GW berkomunikasi pada tautan IEEE 802.15.4 untuk membentuk jaringan ad hoc yang dikoordinasikan oleh GW (lihat Gambar 19.9).

Infrastruktur seluler biasanya mencakup PDA, ponsel pintar, atau perangkat yang ditangani. Perangkat IoT ini meminta informasi dari GW / koordinator (alur 1 pada Gambar 18.8). Setelah menerima data yang diminta (alur 2), kemudian mengirimkannya ke cloud untuk meminta layanan (alur 3). Akhirnya, perangkat menerima se layanan dan menampilkan tata letak (alur 4).

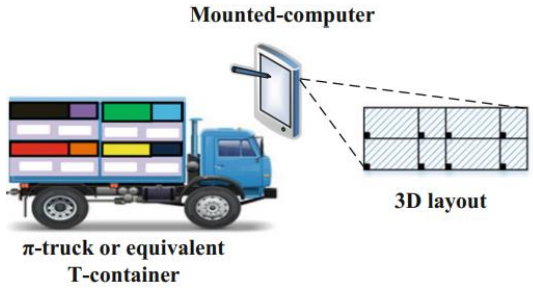
Pada lapisan layanan, GW mengumpulkan informasi dari sensor untuk mencapai tata letak 3D wadah komposit , yang selanjutnya dieksploitasi untuk menyediakan layanan penting (lihat Gambar 18.10).



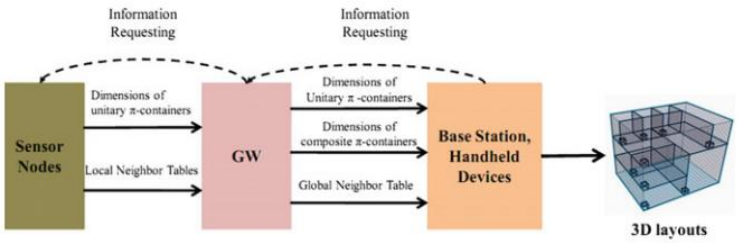
Gambar 18.8 Arsitektur IoT untuk pengambilan tata letak 3D di tingkat wadah-H



Gambar 18.9 Pada lapisan jaringan, jaringan ad hoc dibentuk oleh sembilan sensor nirkabel dan dikoordinasikan oleh GW



Gambar 18.10 Arsitektur IoT untuk pengambilan tata letak 3D di level Tkontainer



Gambar 18.11 Pertukaran informasi antar sensor, GW dan pemrosesan

18.4.2 Kerangka Alur Informasi untuk Mengambil Tata Letak 3D

Dalam kerangka ini (lihat Gambar 18.11), informasi yang diperlukan mencakup dimensi -wadah dan informasi kedekatan yang diperoleh dari hubungan ketetanggaan antara node sensor.Untuk memvalidasi kerangka kerja, metode berbasis simulasi telah dibuat dan dijelaskan dalam pekerjaan penelitian kami sebelumnya.

Dengan metodologi sederhana untuk mengambil tata letak 3D dari kontainer komposit, layanan IoT bernilai tambah dapat dikembangkan untuk mendukung proses logistik di PI. Di subbagian berikutnya, layanan tersebut diperkenalkan.

18.4.3 Layanan Nilai Tambah Diaktifkan oleh Tata Letak 3D yang Diperoleh

Tata letak 3D yang dicoba memberikan tampilan 3D yang tepat dari distribusi spasial dari kontainer tersusun di bloknya. Selain itu, lokasi node sensor yang dilengkapi juga tersedia. Dengan demikian, fungsi penginderaan menawarkan distribusi komponen lingkungan di dalam blok ini. Dengan cara ini , status kontainer dipantau terus menerus

untuk mencegah masalah secara real time. Seperti, kontainer yang dilengkapi dengan sensor yang memadai dapat mendeteksi masalah (misalnya, suhu tinggi yang tidak normal), memeriksa integritas deteksi dengan - kontainer jika relevan, dan mengirim pesan peringatan ke agen mereka atau langsung ke PIMS. Dalam contoh lain, kedekatan kontainer yang membawa kargo tidak kompatibel satu sama lain (misalnya, produk kimia yang dapat mencemari satu sama lain atau menyebabkan ledakan) dapat dideteksi dan dihindari ketika kontainer tiba di -hub, ia mengirimkan ke PIMS daftar elemen yang tidak sesuai dengan kargonya.

18.5 Kesimpulan dan Pekerjaan Masa Depan

Dengan perkembangan pesat dalam teknologi IoT yang muncul, bab ini mengusulkan kerangka desain pengembangan SOA untuk Internet Fisik menggunakan IoT, yang sebenarnya termotivasi dan sangat dituntut dari manajer logistik karena mereka membutuhkan penyediaan layanan untuk mengelola dan mengontrol proses logistik secara efisien. Dalam konteks ini, kami menjelaskan infrastruktur utama dan desain proposisi yang sebagian besar didasarkan pada inovasi TIK canggih untuk memungkinkan IoT untuk layanan logistik semacam itu, menyediakan tata letak 3D dari wadah komposit disajikan sebagai studi kasus untuk menyoroti penggunaan praktis dan manfaat kerangka kerja yang kami usulkan.

PI adalah konsep inovatif dalam logistik. Beberapa penelitian dan studi sejak 2011 telah berkontribusi untuk mendemonstrasikan dan memberikan bukti konsep. Melihat roadmap masa depan, sasaran di 2020 adalah mewujudkan interoperabilitas antara jaringan dan aplikasi TIK untuk logistik. Jelas, aplikasi Dengan kata lain, IoT memungkinkan PI mencapai tujuan keberlanjutan globalnya. Namun, penerapan dan realisasi teknologi logistik ini sebagian besar menghadapi tantangan signifikan dari perspektif teknis.

Misalnya, karena fasilitas fisik PI dilengkapi dengan perangkat pintar (mis. RFID, sensor) biasanya ditenagai oleh baterai, menghemat energi mereka untuk memperpanjang masa operasinya adalah penting. Perangkat IoT ini dapat diminta kapan saja untuk memberikan informasi ke Lapisan yang lebih tinggi di SOA untuk mengembangkan layanan. Dengan demikian mereka dapat selalu aktif. Untuk mengurangi konsumsi daya yang akan dilakukan oleh node WSN tertidur (mode daya rendah) sebagian besar waktu dan hanya akan bangun untuk memperoleh data sensor atau untuk berbicara dengan node lain. Beberapa masalah penting seperti standarisasi, jenis jaringan, kualitas layanan, dan perlindungan data logistik adalah diharapkan dapat memberikan dasar untuk penelitian lebih lanjut tentang layanan logistik berbasis IoT.

DAFTAR ISI

Abbate S, Avvenuti M, Corsini P, Vecchio A (2009) Localization of shipping containers in ports and terminals using wireless sensor networks. In: International conference on computational science and engineering, pp 587-592

Agha KA, Bertin MH, Dang T, Guitton A, Minet P, Val T, Viollet JB (2009) Which wireless technology for industrial wireless sensor networks? The development of OCARI technology. IEEE Trans Industr Electron 56(10):4266-4278

Akyildiz I, Kasimoglu I (2004) A protocol suite for wireless sensor and actor networks. In: IEEE radio and wireless conference, Sept 2004, pp 11–14

Akyildiz I, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E (2002) A survey on sensor networks. IEEE Commun Mag 40(8):102–114

Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M, Ayyash M (2015) Internet of things: a survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Commun Surv Tutor 17(4):2347-2376

Alliance Z (2008) Zigbee specification. Zigbee Document 053474r13, Zigbee alliance, May 2008

Amgoth T, Jana PK (2015) Energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks. Comput Electr Eng 41:357-367

Anastasi G, Conti M, Di Francesco M (2011) A comprehensive analysis of the MAC unreliability problem in IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. IEEE Trans Industr Inf 7(1):52-65

Anastasi G, Conti M, Francesco MD, Neri V (2010) Reliability and energy efficiency in multi-hop IEEE 802.15.4/ZigBee wireless sensor networks. In: 2010 IEEE symposium on computers and communications (ISCC), June 2010, pp 336-341

Andrn F, Strasser T, Zoitl A, Hegny I (2012) A reconfigurable communication gateway for distributed embedded control systems, pp 3720-3726. https://doi.org/10.1109/iecon.2012. 6389299

At90can128 Data Sheet (2013) http://www.atmel.com (accessed 7/3/2015)

Athanasiou G (2012) Cooperative management of wireless mesh networks. In: Wireless Days (WD), 2012 IFIP, pp 1-6

Atzori L, Iera A, Morabito G (2010) The internet of things: a survey. Comput Netw 54(15):2787-2805

Bai Y, Zhou Z, Chen J (1996) The implementation of MIL-STD-1553B processor. In: ASIC 2nd international conference, pp 8/1–8/7, 21–24 Oct 1996

Ballot E, Montreuil B, Meller R (2014) The physical internet: the network of the logistics networks. La Documentation Française, Paris

Basagni S, Conti M, Giordano S, Stojmenovic I (2004) Mobile ad hoc networking. Wiley, San Francisco, CA, USA

Batalin MA, Sukhatme GS (2004) Using a sensor network for distributed multi-robot task allocation. In: Proceedings IEEE international conference on robotics and automation, vol 1, 158–164

Behroozi H, Alajaji F, Linder T (2008) On the optimal power-distortion region for asymmetric Gaussian sensor networks with fading. In: IEEE international symposium on information theory, July 2008, pp 1538–1542

Ben Arbia D, Alam M, Kadri A, Ben Hamida E, Attia R (2017) Enhanced IoT-based end-to-end emergency and disaster relief system. J Sens Actuator Netw 6(3):19

Ben Arbia D, Alam MM, Attia R, Ben Hamida E (2017) ORACE-Net: a novel multi-hop body-to-body routing protocol for public safety networks. Peer-to-Peer Netw Appl 10(3):726-749

Berge J (2001) Fieldbuses for process control: engineering, operation, and maintenance. ISA: Research Triangle Park, NC, USA

Bettendorf B (2004) Which industrial network for you (Industrial Networking). Putman Media Publications, p 34

Bisdikian C (2001) An overview of the bluetooth wireless technology. IEEE Commun Mag 39(12):86-94

Boterenbrood H (2000) Canopen high-level protocol for CAN-bus. NIKHEF, Amsterdam, 20 Mar 2000

Brooks P (2001) Ethernet/IP: industrial protocol. Retrieved 10 Jan 2005, from http://literature.
rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/enet-wp001_-en-p.pdf

Bunzel S (2011) Autosar-the standardized software architecture. Informatik-Spektrum 34(1):79-83

CAN Protocol Specification (2013). http://www.can-cia.org. Accessed 13 Feb 2015

Cao H, Ma J, Zhang G, Zhang J, Ren G (2010) Marine main engine remote control system with redundancy can bus based on distributed processing technology, in: 2010 International Conference on Intelligent Control and Information Processing, ICICIP, pp 638-640. http://dx. doi.org/10.1109/ICICIP.2010.5564343

Cavalieri S, Monforte S, Tovar E, Vasques F (2002) Multi-master profibus-DP modelling and worst-case analysis based evaluation. In: Proceedings of the 15th IFAC world congress on automatic control, Barcelona, Spain, 2002

Cavalieri S, Panno D (1998) A novel solution to interconnect Fieldbus systems using IEEE Wireless Lan technology. Comput Standards Interfaces 20(1):9–23

Chang J-Y (2015) A distributed cluster computing energy-efficient routing scheme for internet of things systems. Wirel Pers Commun 82(2):757-776

Chang-kun H (1996) A distributed control system of ship diesels, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT'96, pp 1-5. http://dx.doi.org/10.1109/ ICIT.1996.601528

Chao H, Chen Y, Wu J (2011) Power saving for machine to machine communications in cellular networks. In: 2011 IEEE GLOBECOM workshops (GC Wkshps), Dec 2011, pp 389-393

Chen C, Lee S, Shen Q (1995) An analytical model for the container loading problem. Eur J Oper Res 80(1):68-76

Chen D, Nixon M, Mok A (2010) WirelessHART: real-time mesh network for industrial automation, 1st edn. Springer Publishing Company, Incorporated

Chen D, Xia L, Wang H (2008) Modeling and Simulation of Monitor-Control Network in Ship Power Station, pp 384-388. http://dx.doi.org/10.1109/PEITS.2008.97

Chen MND, Mok A (2010) WirelessHART: real-time mesh network for industrial automation, 1st edn. Springer Publishing Company, Incorporated

Cheng YC, Robertazzi TG (1988) Distributed computation with communication delay (distributed intelligent sensor networks). IEEE Trans Aerosp Electron Syst 24(6):700-712. https:// doi.org/10.1109/7.18637

Choi D, Kim DS (2008) Wireless fieldbus for networked control systems using lr-wpan, Int J Control Autom Syst 6(1):119

Choi D-H, Lee JI, Kim D-S, Park WC (2006) Design and implementation of wireless Fieldbus for networked control systems. In: SICE-ICASE, IEEE international joint conference, 2006, pp 1036–1040

Civerchia F, Bocchino S, Salvadori C, Rossi E, Maggiani L, Petracca M (2017) Industrial internet of things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications. J Ind Inf Integr

Colson S, Hoff H (2005) Ultra-wideband technology for defence applications. In: IEEE international conference on ultra-wideband, pp 615-620, Sept 2005

Colson S, Hoff H (2005) Ultra-wideband technology for defence applications. In: IEEE international conference on ultra-wideband, pp 615-620, Sept 2005

Corrigan S (2002) Introduction to the controller area network (CAN). Texas Instruments Appli- cation Report, SLOA101

Cramer R-M, Win M, Scholtz R (1998) Impulse radio multipath characteristics and diversity reception. IEEE Int Conf Commun 3:1650-1654

Crowley K, Frisby J, Edwards S, Murphy S, Roantree M, Diamond D (2004) Wireless temperature logging technology for the fishing industry. In: Proceedings IEEE sensors, Oct 2004, pp 571–574

Cucej Z, Gleich D, Kaiser M, Planinsic P (2004) Industrial networks. In: 46th international symposium electronics in Marine, 2004, pp 59–66

Cui S, Madan R, Goldsmith A, Lall S (2005) Joint routing, MAC and link layer optimization in sensor networks with energy constraints. In: IEEE international conference on communications, ICC 2005, vol 2, May 2005, pp 725-729

Culler D, Estrin D, Srivastava M (2004) Guest editors' introduction: overview of sensor networks. Computer 37(8):41–49

D.C.W.A. Engineer for Transceivers (2014) Can Bit Timing to Optimize Performance, vol 48, September 2014 (URL http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/48-09/CAN_ bit_timing.html)

DDC Corporation (1999) MIL-STD-1553 designer's guide

De Pellegrini F, Miorandi D, Vitturi S, Zanella A (2006) On the use of wireless networks at low level of factory automation systems. IEEE Trans Ind Inform 2(2):129–143

Decotignie J-D (1999) Some future directions in Fieldbus research and development, In: Field- bus technology, Springer, Berlin, pp 308–312

Decotignie J-D (2002) Wireless Fieldbusses–a survey of issues and solutions. In: Proceedings 15th IFAC world congress on automatic control (IFAC), 2002

Department of defense interface standard for digital time division command/response multiplex data bus (l975)

Dhondge K, Shorey R, Tew J (2016) HOLA: heuristic and opportunistic link selection algorithm for energy efficiency in industrial internet of things (IIoT) systems. In: 2016 8th international conference on communication systems and networks (COMSNETS), Jan 2016, pp 1-6

Ding J, Sivalingam K, Kashyapa R, Chuan LJ (2003) A multi-layered architecture and protocols for large-scale wireless sensor networks. In: IEEE 58th vehicular technology conference, vol 3, Oct 2003, pp 1443-1447

Ding S, Murakami N, Tomiyama H, Takada H (2005) A GA-based scheduling method for FlexRay systems. In: Proceedings of the 5th ACM international conference on embedded software, ser. EMSOFT '05, ACM, New York, USA, pp 110-113

Ding S, Tomiyama H, Takada H (2008) An effective ga-based scheduling algorithm for Flexray systems. IEICE Trans Inf Syst E91-D(8):2115-2123

Dinh NQ, Kim D-S (2012) Performance evaluation of priority CSMA-CA mechanism on ISA100.11a wireless network. Comput Stand Interface 34(1):117–123. ISSN: 0920-5489

Djiev S. Industrial networks for communication and control. https://data.kemt.fei.tuke.sk/SK_ rozhrania/en/industrial%20networks.pdf

Dong X, Ergen M, Varaiya P, Puri A (2003) Improving the aggregate throughput of access points in IEEE 802.11 wireless LANs. In: 28th annual IEEE international conference on local computer networks, pp 682-690, Oct 2003

Du W, Navarro D, Mieyeville F (2015) Performance evaluation of IEEE 802.15.4 sensor networks in industrial applications. Int J Commun Syst 28(10):1657-1674

El-Hoiydi A (2002) Spatial TDMA and CSMA with preamble sampling for low power ad hoc wireless sensor networks. In: Seventh international symposium on computers and communications, pp 685-692

Elloy J-P, Simonot-Lion F et al. (2002) An architecture description language for in-vehicle embedded system development. In: 15th IFAC world congress, Barcelona, Spain, 2002

Endres E, Mller C, Shadrin A, Tverdyshev S (2010) Towards the formal verification of a distributed real-time automotive system. In: NASA formal methods, ser. NASA conference proceedings, NASA/CP-2010-216215, pp 212-216

Fantoni D (1999) A never-ending story: the Fieldbus standardization. Automazione e Strumen- tazione 47(11):69–75

Farsi M, Barbosa M (2000) CANopen implementation: application to industrial networks. Research Studio Press ltd

Feuerstein MJ, Blackard KL, Rappaport TS, Xia H (1994) Path loss, delay spread, and outage models as functions of antenna height for microcellular system design. IEEE Trans Veh Technol 43(3):487–498

Fontana R (2004) Recent system applications of short-pulse ultra-wideband (UWB) technology. IEEE Trans Microw Theory Tech 52(9):2087-2104

Fontana R (2004) Recent system applications of short-pulse ultra-wideband (UWB) technology. IEEE Trans Microw Theory Tech 52(9):2087-2104

Galloway B, Hancke G (2013) Introduction to industrial control networks. IEEE Commun Surveys Tutorials 15(2):860–880

Galloway B, Hancke GP (2013) Introduction to industrial control networks. IEEE Commun Surv Tutorials 15(2):860-880

Gereziher WA, Dong-Seong K (2017) Distributed control system for ship engines using dual fieldbus, Computer Standards & Interfaces, vol 50, pp 83-91

Goliya A (2003) Dynamic adaption of DCF and PCF mode of IEEE 802.11 WLAN. Ph.D. dissertation, School of Information Technology, Indian Institute of Technology, Bombay

Guerrero C, Rodriguez-Navas G, Proenza J (2002) Hardware support for fault tolerance in triple redundant can controllers, in: 9th International Conference on Electronics, Circuits and Systems, vol 2, pp 457-460. http://dx.doi.org/10.1109/ICECS.2002.1046195

Guohuan L, Hao Z, Wei Z (2009) Research on designing method of can bus and modbus protocol conversion interface. In: International conference on future biomedical information engineering, pp 180–182, Dec 2009

Haehniche J, Rauchhaupt L (2000) Radio communication in automation systems: the R-Fieldbus approach. In: IEEE international workshop on factory communication systems, 2000, pp 319–326

Hao Q, Brady D, Guenther BD, Burchett J, Shankar M, Feller S (2006) Human tracking with wireless distributed pyroelectric sensors. IEEE Sens J 6(6):1683–1696

Hashimoto N, Isshiki N, Iguchi M, Morisaki M, Ishii K (2006) Assets location management solution based on the combination of SmartLocator and RFID. NEC Tech J 1:92-96

Hayashi H, Hasegawa T, Demachi K (2009) Wireless technology for process automation. In: ICCAS-SICE, Aug 2009, pp 4591–4594

He X, Wang Q, Zhang Z (2011) A survey of study of Flexray systems for automotive net. In: International conference on electronic and mechanical engineering and information technology (EMEIT), vol 3, pp 1197-1204

Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H (2002) An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Trans Wirel Commun 1(4):660-670

Hoa TD, Kim D-S (2013) Data forwarding algorithm over lossy links in wireless sensor networks. IEICE Commun Expr 2(10):453–458. ISSN: 2187-0136

Hochmuth P (2005) GM cuts the cords to cut costs. Mobility wirel Art Techworld

Huang J, Meng Y, Gong X, Liu Y, Duan Q (2014) A novel deployment scheme for green internet of things. IEEE Internet Things J 1(2):196-205

Immoreev I, Fedotov P (2002) Ultra wideband radar systems: advantages and disadvantages. In: IEEE conference on ultra wideband systems and technologies, pp 201-205, May 2002

Immoreev I, Fedotov P (2002) Ultra wideband radar systems: advantages and disadvantages. In: IEEE conference on ultra wideband systems and technologies, pp 201-205, May 2002

International Organization for Standardization (2003) Road vehicles: controller area network: part 1: data link layer and physical signalling, ISO 11898-1

International Organization for Standardization (2003) Road vehicles: controller area network: part 2: high-speed medium access unit, ISO 11898-2

International Organization for Standardization (2003) Road vehicles: controller area network: part 3: low-speed, fault-tolerant, medium dependent interface, TC 22/SC 3/WG 1, ISO/PRF 11898-3

International Organization for Standardization (2004) Road vehicles: controller area network: part 4: time-triggered communication, ISO 11898-4

J K-W, L J-W, P J-H, K SY, H-C Park, J-S Lee (2010) Development of network platform for integrated information exchange on shipboard, in: IJCSNS Int J Comput Sci Netw Secur 10 Jan 2010

Jamieson K, Balakrishnan H, Tay YC (2003) SIFS: a MAC protocol for event-driven wireless sensor networks. Technical report

Jessen J, Peter Schwefel NH, Hamdan A (2007) Markov chain-based performance evaluation of Flexray dynamic segment. In: 6th international workshop on real time networks (RTN 07)

Ji Jao S (2004) Design of 1553B decoder based on FPGA. In: Microcontroller & embedded system, pp 42–44

Johansson KH, Törngren M, Nielsen L (2005) Vehicle applications of controller area network

Juanole G (2002) Quality of service of communication networks and distributed automation: Models and performances. In: Proceedings of 15th triennial IFAC world congress, 2002

Karapistoli E, Pavlidou F-N, Gragopoulos I, Tsetsinas I (2010) An overview of the IEEE 802.15.4a standard. IEEE Commun Mag 48(1):47-53

Kay S, Michels J, Chen H, Varshney P (2006) Reducing probability of decision error using stochastic resonance, IEEE Signal Process. Lett. 13(11):695-698. http://dx.doi.org/10.1109/ LSP.2006.879455

Kevan T (2005) Wireless sensors. Sensors Magazine online, Aug 2005

Kim B, Park K (2009) Probabilistic delay model of dynamic message frame in Flexray protocol. IEEE Trans Consum Electron 55(1):77-82

Kim D-S, Choi D-H, Mohapatra P (2009) Real-time scheduling method for networked discrete control systems. Control Eng Pract 17(5):564-570

Kim D-S, Lee YS, Kwon WH, Park HS (2003) Maximum allowable delay bounds of networked control systems. Control Eng Pract 11(11):1301-1313. https://doi. org/10.1016/s0967-0661(02)00238-1 (URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0967066102002381)

Kim D-S, Lee YS, Kwon WH, Park HS (2003) Maximum allowable delay bounds of networked control systems. Control Eng Practice 11(11):1301–1313

Kopetz H (1991) Event-triggered versus time-triggered real-time systems. In: Lecture notes in computer science, operating systems of the 90s and beyond, vol 563. Springer, Heidelberg, Germany, pp 87-101

Kruger CP, Hancke GP (2014) Implementing the internet of things vision in industrial wireless sensor networks. In: 12th IEEE international conference on industrial informatics (INDIN) 2014, July 2014, pp 627-632

Kshetrimayum R (2009) An introduction to UWB communication systems. IEEE Potentials 28(2):9-13

Kulkarni S (2004) TDMA service for sensor networks. In: 24th international conference on distributed computing systems workshops, Mar 2004, pp 604-609

Laha A, Cao X, Shen W, Tian X, Cheng Y (2015) An energy efficient routing protocol for device-to-device based multihop smartphone networks. In: 2015 IEEE international conference on communications (ICC), June 2015, pp 5448-5453

Lahaie IJ (ed) (1992) Ultrawideband radar: SPIE proceedings, vol 1631, Jan 1992

Lawrenz W (1997) CAN system engineering: from theory to practical applications. Springer

Lee D, Allan J, Thompson HA, Bennett S (2001) PID control for a distributed sys- tem with a smart actuator, Control Eng Pract 9(11):1235-1244. http://dx.doi.org/10.1016/ S0967-0661(01)00069-7 (pID control. URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0967066101000697)

Lee H, Yi DK, Lee JS, Park G-D, Lee JM (2010) Marine engine state monitoring system using distributed precedence queue mechanism in CAN networks, in: Proceedings of the Third International Conference on Intelligent Robotics and Applications, ICIRA 2010, Shanghai, China, November 10-12, 2010, Part I, Springer, Berlin, Heidelberg, pp 237-245. http://dx.doi. org/10.1007/978-3-642-16584-9_22

Lee J, Lee J (2010) Scheduling of can-based network for marine engine state monitoring, in: The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2010

Levitt LJ, Fundamental communication range limitation of UWB communications for military application. Aviation and Missile Research, Development, and Engineering Center Redstone Arsenal, AL 35898-5000

Li H, Zhou Y, Tian L, Wan C (2010) Design of a hybrid RFID/GPS-based terminal system in vehicular communications. In: 6th international conference on wireless communications networking and Mobile Computing (WiCOM), pp 1-4

Li S, Xu LD, Zhao S (2015) The internet of things: a survey. Inf Syst Front 17(2):243-259

Lin C-Y, Tseng Y-C, Lai T (2006) Message-efficient in-network location management in a multi-sink wireless sensor network. In: International conference on sensor networks, ubiqui- tous, and trustworthy computing, vol 1, no 2, pp 8–14, June 2006

Lin P, Qiao C, Wang X (2004) Medium access control with a dynamic duty cycle for sensor networks. In: IEEE wireless communications and networking conference, vol 3, Mar 2004, pp 1534-1539

Lin Qing YX et al (1999) Field bus and network integration, test control technique

Lin Y, Meller R, Ellis K, Thomas L, Lombardi B (2014) A decomposition-based approach for the selection of standardized modular containers. Int J Prod Res 52(15):4660-4672

Lingqi L, Hanasaki K, Xiangyu W, Yanbin P, Zheng L, Youhua W (1999) Integration of fieldbus into DCS. In: 38th annual conference proceedings of the SICE 1999, pp 1043-1046. http://dx. doi.org/10.1109/SICE.1999.788695

Liu L, Hua C, Chen C, Guan X (2015) Relay selection for three-stage relaying scheme in clustered wireless networks. IEEE Trans Veh Technol 64(6):2398-2408

Long NB, Nhon T, Kim DS (2016) Rate-estimation-based relay selection scheme for large-scale wireless networks. IET Commun 10(12):1501-1507

Lu G, Krishnamachari B, Raghavendra C (2004) An adaptive energy-efficient and low-latency mac for data gathering in wireless sensor networks. In: Proceedings of 18th international parallel and distributed processing symposium, Apr 2004

Luo T, Motani M, Srinivasan V (2009) Cooperative asynchronous multichannel mac: design, analysis, and implementation. IEEE Trans Mob Comput 8(3):338-352

Lynch A, Genello B, Wicks C (2007) UWB perimeter surveillance. IEEE Aerosp Electron Syst Mag 22(1):8-10

Lynch A, Genello B, Wicks C (2007) UWB perimeter surveillance. IEEE Aerosp Electron Syst Mag 22(1):8-10

Matkurbanov P, Lee S, Kim D-S (2006) A survey and analysis of wireless Fieldbus for industrial environments. In: SICE-ICASE, international joint conference, IEEE, 2006, pp 5555–5561

McFarlane D, Sheffi Y (2003) The impact of automatic identification on supply chain operations. Int J Logist Manag 14(1):1-17

McKinnon A, Browne M, Whiteing A, Piecyk M (eds) (2015) Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics. Kogan Page Publishers, UK

Meller R, Lin Y, Ellis K (2012) The impact of standardized metric physical internet contain- ers on the shipping volume of manufacturers. In: Proceedings of 14th IFAC symposium on information control problems in manufacturing, Bucharest, Romania, pp 364-371

Miorandi D, Vitturi S (2004) Analysis of master-slave protocols for real-time industrial communications over IEEE 802. 11 WLANS. In: 2nd IEEE international conference on industrial informatics, INDIN'04, 2004, pp 143–148

Modbus application protocol specification V1.1a. Available at http://www.modbus.org, June 2004

Modbus messaging on TCP/IP: implementation guide V1.0a. Available at http://www.modbus.org, June 2004

Modbus Over Serial Line (2013) http://www.modbus.org. (accessed 20/5/2015)

Modbus over serial line: specification and implementation guide V1.0. Available at http://www.modbus.org, Dec 2002

Modbus Protocol Specification (2013) http://www.can-cia.org (accessed 2/3/2015)

Modi A (2013) Novel design of directive ultra wide band right angle triangular sheet antenna. In: International conference on microwave and photonics (ICMAP), pp 1-3, Dec 2013

Modi A, Gehani A (2012) Novel design of ultra wideband vertical slotted triangular (vst) sheet antenna. In: 5th international conference on computers and devices for communication (CODEC), pp 1-3, Dec 2012

Montreuil B (2011) Toward a physical internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. Logist Res 3(2-3):71-87

Montreuil B, Ballot E, Tremblay W (2015) Modular design of physical internet transport, handling and packaging containers. In: Smith et al (ed) Progress in material handling research vol 13, MHI, Charlote, NC, USA, to appear

Montreuil B, Meller R, Ballot E (2010) Towards a physical internet: the impact on logistics facilities and material handling systems design and innovation. In: Gue K et al (eds) Progress in material handling research. Material Handling Industry of America, USA

Morel P, Croisier A (1995) A wireless gateway for Fieldbus. In: Sixth IEEE international symposium on, vol 1. IEEE, 1995, pp 105–109

Morel P, Croisier A, Decotignie J-D (1996) Requirements for wireless extensions of a FIP Fieldbus. In: Emerging technologies and factory automation, EFTA'96. Proceedings, vol 1, pp 116–122

Murakami HTMK, Liyama S, Hosotani I (2007) A static scheduling method for distributed automotive control systems. IPSJ Trans Adv Comput Syst 48:203-215

Murdork JR, Koenig JR (2001) Open systems avionics network to replace MIL-STD-1553. IEEE AESS Syst Mag, 34–36

Nekoogar F, Farid D (2012) Characteristics and limitations of conventional RFIDs. In: Ultra-wideband radio frequency identification systems. Springer, Boston, MA, pp 25-49

Nessa A, Kadoch M, Hu R, Rong B (2012) Towards reliable cooperative communications in clustered ad hoc networks. In: Global communications conference (GLOBECOM), 2012 IEEE, Dec 2012, pp 4090-4095

Neumann P (1999) Locally distributed automation–but with which Fieldbus system? Assembly Autom 19(4):308–312

Neumann P (2007) Communication in industrial automation what is going on? Control Eng Prac 15(11):1332–1347

Neumann P, Diedrich C, Simon R (2002) Engineering of field devices using device descriptions. In: Proceedings IFAC world congress, 2002

Noh DH, Kim DS (2014) Message scheduling on can bus for large-scaled ship engine systems, IFAC Proc. 47(3):7911-7916

Nugroho DA, Prasetiadi A, Kim D-S (2014) Male-silkmoth-inspired routing algorithm for large-scale wireless mesh networks. J Commun Netw (JCN). IF: 0.747, ISSN: 1976-5541

Open DeviceNet Vendors Association (ODVA). https://www.odva.org/

Palattella MR, Accettura N, Vilajosana X, Watteyne T, Grieco LA, Boggia G, Dohler M (2013) Standardized protocol stack for the internet of (important) things. IEEE Commun Surv Tutorials 15(3):1389-1406. Third 2013

Pan M, Yue H, Li P, Fang Y (2012) Throughput maximization of cooperative wireless mesh networks using directional antennas. In: 1st IEEE international conference communications in China (ICCC), pp 10-14

Park H-S, Kim D-S, Kwon W-H (2002) A scheduling method for network-based control systems. IEEE Trans Control Syst Technol 10(3):318-330. IF: 2.521, ISSN: 1063-6536

Partner R, THOB T, NTU D. D B3. 5-specification of residential gateway enhancements

Patni ML (2004) Ultra-wideband: the next generation personal area network technology. Computer Systems Limited, Feb 2004

Pielli C, Biason A, Zanella A, Zorzi M (2016) Joint optimization of energy efficiency and data compression in TDMA-based medium access control for the IoT. In: 2016 IEEE GLOBECOM workshops (GC Wkshps), Dec 2016, pp 1-6

Pizzica S, Raytheon Company (2001) Open systems architecture solutions for military avionics testing. IEEE AESS Syst Mag, 45–47 No. 301 Institute of Aeronautics and Astronautics, Application note for MIL-HDBK-1553 multiple data bus

Pop T, Pop P, Eles P, Peng Z, Andrei A (2006) Timing analysis of Flexray communication protocol. In: 18th euromicro conference on real-time systems, pp 11, 216

Quang PTA, Kim D-S (2014) Throughput-aware routing for industrial sensor networks: application to ISA100.11a. IEEE Trans Industr Inf 10(1):351-363

Quang PTA, Kim D-S (2015) Clustering algorithm of hierarchical structures in large-scale wireless sensor and actuator networks. J Commun Netw 17(5):473-481

Quang PTA, Kim D-S (2015) Clustering algorithm of hierarchical structures in large-scale wireless sensor and actuators networks. J Commun Netw. IF: 0.747, ISSN: 1976-5541

Quang PTA, Kim D-S (2015) Clustering algorithm of hierarchical structures in large-scale wireless sensor and actuators networks. J Commun Netw. ISSN: 1976–5541

Ran P, Wang B, Wang W (2008) The design of communication convertor based on CAN bus, in: IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2008, pp 1-5. http://dx.doi. org/10.1109/ICIT.2008.4608607

Rauchhaupt L (2002) System and device architecture of a radio based Fieldbus—the R-Fieldbus system. In: IEEE international workshop on factory communication systems, 2002, pp 185–192

Robb S (1999) CAN bit timing requirements. Motorola Semiconductor Application Note, AN1798

Robert Borsh GmbH (1991) CAN Specification Version 2.0, Part A. Stuttgart, Germany

Röhrig C, Spieker S (2008) Tracking of transport vehicles for warehouse management using a wireless sensor network. In: International conference on intelligent robots and systems, pp 3260-3265

Rugin R, Mazzini G (2004) A simple and efficient MAC-routing integrated algorithm for sensor network. In: IEEE international conference on communications, vol 6, June 2004, pp 3499-3503

Safwat A, Hassanein H, Mouftah H (2003) ECPS and E2LA: new paradigms for energy efficiency in wireless ad hoc and sensor networks. In: IEEE global telecommunications conference GLOBECOM'03, vol 6, Dec 2003, pp 3547-3552

Sakkila L, Rivenq A, Tatkeu C, El-Hillali Y, Ghys J-P, Rouvaen JM (2010) Methods of target recognition for UWB radar. In: IEEE intelligent vehicles symposium (IV), pp 949-954, June 2010

Sallez Y, Montreuil B, Ballot E (2015) On the activeness of physical internet containers. In: Borangiu T, Thomas A, Trentesaux D (eds) Service orientation in holonic and multi-agent manufacturing, vol 594. Springer, New York, pp 259-269

Sarraj R, Ballot E, Pan S, Montreuil B (2014) Analogies between internet network and logistics service networks: challenges involved in the interconnection. J Intell Manuf 25(6):1207-1219

Schmidt E, Schmidt K (2009) Message scheduling for Flexray protocol: the dynamic segment. IEEE Trans Veh Technol 58(5):2160-2169

Schmidt K, Schmidt E (2009) Message scheduling for Flexray protocol: the static segment. IEEE Trans Veh Technol 58(5):2170-2179

Shavazi A, Abzari M, Mohammadzadeh A (2009) A research in relationship between ICT and SCM. Eng Technol 50:92-101

Shenhua Y, Minjie Z, Xinghua W, Chunsen C (2010) Design and implementation of intelligent monitoring system for ship-hull status based on CAN bus 1 384-388. http://dx.doi.org/10. 1109/ICOIP.2010.217

Shi C, Zhao H, Garcia-Palacios E, Ma D, Wei J (2012) Distributed interference-aware relay selection for ieee 802.11 based cooperative networks. IET Netw 1(2):84-90

Silva FA (2014) Industrial wireless sensor networks: applications, protocols, and standards [book news]. IEEE Ind Electron Mag 8(4):67-68

Simonot-Lion F (1999) Une contribution a la modelisation et´ a la validation d'architectures temps reel, HDR thesis, INPL, Nancy, France, 1999

Singh S, Motani M (2012) Cooperative multi-channel access for 802.11 mesh networks. IEEE J Sel Areas Commun 30(9):1684-1693

Siwiak K (2001) Ultra-wide band radio: introducing a new technology, In: VTS 53rd IEEE vehicular technology conference, vol 2, pp 1088-1109

Siwiak K (2001) Ultra-wide band radio: introducing a new technology. In: IEEE VTS 53rd vehicular technology conference, vol 2, pp 1088-1093

Solano WM, Junell J, Schmalzel JL, Shummard KC (2004) Implementation of wireless and intelligent sensor technologies in the propulsion test environment. In: Proceedings IEEE con- ference on sensor for industry, Jan 2004, pp 135–138

Son ND, Tan DD, Kim D-S (2012) Backoff algorithm for time critical sporadic data in industrial wireless sensor networks. In: International conference on advanced technologies for commu- nications (ATC), 2012, Oct 2012, pp 255-258

Song Y, Zhang C, Fang Y (2007) Throughput maximization in multi-channel wireless mesh access networks. In: IEEE international conference on network protocols, pp 11-20

Spieker S, Röhrig C (2008) Localization of pallets in warehouses using wireless sensor networks. In: 16th mediterranean conference on control and automation, pp 1833-1838

Stenerson J (1999) Industrial networks. In: Stewart CE (ed) Sensors and communications fundamentals of programmable logic controllers (2nd edn). Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp 367-392

Suzuki T, Tasaka S (2001) Performance evaluation of priority-based multimedia transmission with the PCF in an IEEE 802.11 standard wireless LAN. In: 12th IEEE international symposium on personal, indoor and mobile radio communications, vol 2, pp 70-77

Tan DD, Kim D-S (2014) Dynamic traffic-aware routing algorithm for multi-sink wireless sensor networks. Wirel Netw 20(6):1239-1250. IF: 1.055, ISSN: 1572-8196

Tan DD, Kim D-S (2014) Dynamic traffic-aware routing algorithm for multi-sink wireless sensor networks. Wirel Netw 20(6):1239–1250. IF: 1.055, ISSN: 1572-8196

Tan DD, Kim D-S (2015) Interference-aware relay assignment scheme for multi-hop wireless networks for wireless networks. Wirel Netw 1-13. IF: 1.055, ISSN: 1570-8705

Tang C, Song L, Balasubramani J, Wu S, Biaz S, Yang Q, Wang H (2014) Comparative investigation on CSMA/CA-based opportunistic random access for internet of things. IEEE Internet Things J 1(2):171-179

Tavakoli H, Miic J, Naderi M, Miic V (2013) Energy-efficient clustering in IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. In: 33rd IEEE international conference on distributed computing systems workshops (ICDCSW), July 2013, pp 262-267

Tay YC, Jamieson K, Balakrishnan H (2004) Collision-minimizing CSMA and its applications to wireless sensor networks. IEEE J Sel Areas Commun 22(6):1048-1057

Technology@Intel Magazine (2005) Expanding usage models for wireless sensor networks, Aug 2005, pp 4–5

Temple C (2003) Protocol overview. In: FlexRay international workshop, Detroit

Thiesse F, Dierkes M, Fleisch E (2006) LotTrack: RFID-based process control in the semiconductor industry. IEEE Pervasive Comput 5:47-53

Thomesse JP (1999) Fieldbuses and interoperability. Control Eng Pract 7(1):81–94

Thomesse JP (2000) Radio communication in automation systems: the R-Fieldbus approach. In: IEEE international workshop on factory communication systems, 2000, pp 319–326

Thomesse J-P (2002) Fieldbuses and quality of service. In: 5th Portuguese conference on automatic control-controlo, pp 10–14

Tindell K, Burns A, Wellings A (1995) Calculating controller area network (can) message response times. Control Eng Pract 3(8):1163–1169

Tran M-P, Minh Thu PT, Lee H-M, Kim D-S (2015) Effective spectrum handoff for cognitive UWB industrial networks. In: ETFA WIP, Luxembourg, 8-11 Sept 2015

Tubaishat M, Madria S (2003) Sensor networks: an overview. IEEE Potentials 22(2):20–23

US Department of Energy (2004) Sensors and automation: Eaton wireless sensor network for advanced energy management solutions, June 2004

Vakil S, Dong M, Liang B (2010) Effect of cluster size selection on the throughput of multi-hop cooperative relay. In: Vehicular technology conference fall (VTC 2010-Fall), 2010 IEEE 72nd, Sept 2010, pp 1-5

van Dam T, Langendoen K (2003) An adaptive energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks. In: Proceedings of the 1st international conference on embedded networked sensor systems, series. SenSys'03, pp 171-180

Verdone R (2008) Wireless sensor networks. In: Proceedings of the 5th European conference, Bologna, Italy

Voss W The future of CAN/CANopen and the industrial ethernet challenge. ESD Electronics, Inc., USA. http://www.rtcgroup.com/whitepapers/files/TheFutureofCAN.pdf

W. W. Group (2008) Draft standard ISA100. 11a. International Society of Automation, May 2008

Wang K, Peng D, Song L, Zhang H (2014) Implementation of modbus communication protocol based on arm coretx-m0, in: 2014 IEEE International Conference on System Science and Engineering, ICSSE, pp 69-73. http://dx.doi.org/10.1109/ICSSE.2014.6887907

Wang K, Wang Y, Sun Y, Guo S, Wu J (2016) Green industrial internet of things architecture: an energy-efficient perspective. IEEE Commun Mag 54(12):48-54

Wang Z (2006) Research of bus communications in integrated avionics system based on MIL-STD-1553B. NanJing University of Science and Technology

Willig A, Kubisch M, Hoene C, Wolisz A (2002) Measurements of a wireless link in an industrial environment using an IEEE 802.11—compliant physical layer. IEEE Trans Ind Electron 49(6):1265–1282

Willig A, Matheus K, Wolisz A (2005) Wireless technology in industrial networks. Proc IEEE 93(6):1130-1151

Willig A, Matheus K, Wolisz A (2005) Wireless technology in industrial networks. Proc IEEE 93(6):1130–1151

Winance M (2007) Being normally different changes to normalization processes: from alignment to work on the norm. Disabil Soc 22(6):625–638

Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std., 2012

Xie M, Wang X (2008) An energy-efficient TDMA protocol for clustered wireless sensor networks. In: CCCM'08. ISECS international colloquium on computing, communication, control, and management, vol 2, Aug 2008, pp 547-551

Xu LD, He W, Li S (2014) Internet of things in industries: a survey. IEEE Trans Industr Inf 10(4):2233-2243

Yang D, Gidlund M, Shen W, Xu Y, Zhang T, Zhang H (2013) CCA embedded TDMA enabling acyclic traffic in industrial wireless sensor networks. Ad Hoc Netw 11(3):1105-1121

Yang F, Wang Z, Hung YS, Gani M (2006) H infinity control for networked systems with random communication delays. IEEE Trans Autom Control 51(3):511-518. https://doi.org/10. 1109/TAC.2005.864207

Yang J (1995) The system of modem military aviation electronic communications. Aeronaut Comput Tech, 11–15

Yang Y, Cao S (2014) Multiplex TDMA link assignment with varying number of sensors in industrial wireless sensor networks. In: 2014 international conference on identification, information and knowledge in the internet of things, Oct 2014, pp 242-247

Ye W, Heidemann J, Estrin D (2004) Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks. IEEE/ACM Trans Netw 12(3):493-506

Yoo S, Chong PK, Kim D, Doh Y, Pham ML, Choi E, Huh J (2010) Guaranteeing real-time services for industrial wireless sensor networks with IEEE 802.15.4. IEEE Trans Ind Electron 57(11):3868-3876

Yook JK, Tilbury DM, Soparkar NR (2002) Trading computation for bandwidth: reducing communication in distributed control systems using state estimators. IEEE Trans Control Syst Technol 10(4):503-518. https://doi.org/10.1109/tcst.2002.1014671

Youssef M, Vasan A, Miller R (2002) Specification and analysis of the DCF and PCF protocols in the 802.11 standard using systems of communicating machines. In: 10th IEEE international conference on network protocols, pp 132-141, Nov 2002

Zeng H, Di Natale M, Ghosal A, Sangiovanni-Vincentelli A (2011) Schedule optimization of time-triggered systems communicating over Flexray static segment. IEEE Trans Industr Inf 7(1):1-17

Zhai C, Zou Z, Chen Q, Xu L, Zheng L-R, Tenhunen H (2016) Delay-aware and reliability- aware contention-free MF-TDMA protocol for automated RFID monitoring in industrial IoT. J Ind Inf Integr 3:8-19

Zhang B (2006) On the formal verification of flexray communication protocol. In: Merz S, Nipkow T (eds) Automatic verification of critical systems, Nancy/France, pp 184-189

Zhang D, Li G, Zheng K, Ming X, Pan ZH (2014) An energy balanced routing method based on forward-aware factor for wireless sensor networks. IEEE Trans Industr Inf 10(1):766-773

Zhang D, Wang X, Song X, Zhang T, Zhu Y (2015) A new clustering routing method based on PECE for WSN. EURASIP J Wirel Commun Netw 2015(1):162

Zhang D, Zheng K, Zhang T, Wang X (2015) A novel multicast routing method with minimum transmission for WSN of cloud computing service. Soft Comput 19(7):1817-1827

Zhang D, Zhu Y, Zhao C, Dai W (2012) A new constructing approach for a weighted topology of wireless sensor networks based on local-world theory for the internet of things (IOT). Comput Math Appl 64(5):1044-1055 (Advanced Technologies in Computer, Consumer and Control)

Zhang J, Orlik PV, Sahinoglu Z, Molisch AF, Kinney P (2009) UWB systems for wireless sensor networks. IEEE

Zhang Y, He S, Chen J (2016) Data gathering optimization by dynamic sensing and routing in rechargeable sensor networks. IEEE/ACM Trans Netw 24(3):1632-1646

Zheng D, Ge W, Zhang J (2009) Distributed opportunistic scheduling for ad hoc networks with random access: an optimal stopping approach. IEEE Trans Inf Theory 55(1):205-222

Zheng L (2010) Industrial wireless sensor networks and standardizations: the trend of wireless sensor networks for process automation. In: Proceedings of SICE annual conference, Aug 2010, pp 1187–1190

Zhou J, Zhang H, Zhou H (2015) Localization of pallets in warehouses using passive RFID system. J Central South Univ 22(8):3017-3025

Zorzi M (2004) A new contention-based mac protocol for geographic forwarding in ad hoc and sensor networks. In: IEEE international conference on communications, vol 6, June 2004, pp 3481-3485