

Dr. Unang Achlison, ST, M.Kom

DIGITAL VIDEO



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

DIGITAL VIDEO

Dr. Unang Achlison, ST, M.Kom



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

DIGITAL VIDEO

Penulis :

Dr. Unang Achlison, ST, M.Kom

ISBN : 9 786236 141885

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 Yudianto, 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 izin dari penulis

Kata Pengantar

Video digital merupakan teknologi digital yang digunakan untuk menangkap sinyal televisi, merekam audio video, dan memproses audio video. Implementasi video digital mulai dari pola siaran televisi analog, pengkodean video, pengkodean audio, prinsip dasar modulasi digital, kemudian transmisi terestrial sinyal televisi digital. Seiring berkembangnya teknologi digital, telah berkembang teknologi yang memungkinkan sinyal video dan audio dapat diproses secara digital.

Implementasi video digital terdapat dalam perangkat *high definition multimedia interface* (HDMI) yang ada pada komputer, televisi digital dan monitor resolusi tinggi. Stasiun pemancar televisi telah menerapkan pemancar sinyal televisi digital melalui satelit dan transmisi terestrial sinyal televisi digital sehingga penerima televisi sudah bisa menikmati kualitas siaran televisi digital.

Video digital merupakan teknologi yang sudah berkembang di indonesia, namun belum banyak pengguna yang memahami teknologi video digital. Hal ini yang mendorong penulis untuk membuat sebuah buku tentang video digital. Adanya buku tentang video digital ini juga dapat digunakan untuk menambah wawasan mengenai teknologi multimedia.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB 1 Pendahuluan	1
BAB 2 Televisi Analog	7
2.1. Memindai Gambar Hitam/Putih Asli	9
2.2. Denyut Sinkronisasi Horisontal dan Vertikal	10
2.3. Menambahkan Informasi Warna	11
2.4. Metode Transmisi	14
2.5. Distorsi dan Interferensi	15
2.6. Sinyal dalam Interval Pengosongan Vertikal	16
2.7. Pengukuran Sinyal Video Analog	18
2.8. TV Analog dan Digital dalam Jaringan Kabel Broadband	22
BAB 3 Data Stream MPEG	23
3.1. MPEG-Standar dan Aplikasinya	23
3.2. Transport stream MPEG-2	27
3.3. Aliran Dasar yang Dikemas (Packetized Elementary Stream/PES)	28
3.4. Paket Transport stream MPEG-2	32
3.5. Informasi untuk Penerima	35
3.6. Menyinkronkan ke Transport stream	35
3.7. Membaca Struktur Program Saat Ini	36
3.8. Mengakses Program	36
3.9. Mengakses Program yang Berantakan	38
3.10. Sinkronisasi Program (PCR, DTS, PTS)	38
3.11. Informasi Tambahan dalam Transport stream (SI)	42
3.12. Bagian dan Tabel Non-Pribadi dan Pribadi	42
3.13. Layanan Informasi menurut DVB (SI)	49
3.14. PSIP menurut ATSC	59
3.15. Tabel ARIB menurut ISDB-T	61
3.16. Detail Penting Lainnya dari Transport streamMPEG-2	62
BAB 4 Sinyal Video Digital Menurut ITU-BT.R.601 (CCIR 601)	64
BAB 5 Format Sinyal Video untuk HDTV dan UHDTV	67

5.1. Format Gambar	67
5.2. Sinyal Baseband HDTV Tidak Terkompresi	69
5.3. Sinyal Antarmuka Video Fisik Hingga UHD TV	71
BAB 6 Transformasi ke dan dari Domain Frekuensi	73
6.1. Transformasi Fourier	74
6.2. Transformasi Fourier Diskrit (Discrete Fourier Transform/DFT)	75
6.3. Transformasi Fourier Cepat (Fast Fourier Transform/FFT)	76
6.4. Implementasi dan Aplikasi Praktis DFT dan FFT	77
6.5. Transformasi Kosinus Diskrit (Discrete Cosine Transform/DCT)	78
6.6. Sinyal Domain Waktu dan Transformasinya dalam Domain Frekuensi	80
6.7. Kesalahan Sistematis dalam DFT atau FFT, dan Cara Mencegahnya	82
6.8. Fungsi Window	84
BAB 7 Pengkodean Video (MPEG-2, MPEG-4/AVC, HEVC)	86
7.1 Kompresi Video	87
7.2 Mengurangi Kuantisasi dari 10 Bit menjadi 8	89
7.3 Menghilangkan Interval Horizontal dan Vertikal Blanking	89
7.4 Pengurangan Resolusi Warna Vertikal (4:2:0)	90
7.5 Langkah Reduksi Data Lebih Lanjut	91
7.6 Modulasi Kode Denyut Diferensial dari suatu Gambar Bergerak	92
7.7 Transformasi Kosinus Diskrit Diikuti Kuantisasi	96
7.8 Pemindaian Zig-Zag dengan Run-Length Coding dari Zero Sequ	103
7.9 Pengkodean Huffman	104
7.10 Struktur Aliran Dasar Video	106
7.11 Metode Kompresi Video Terbaru	108
7.12 Pengodean Video Tingkat Lanjut MPEG-4	109
7.13 HEVC—Pengodean Video Efisiensi Tinggi, UHD TV	114
7.14 Format Gambar	114
7.15 Metode Pengodean Video	115
7.16 Tempat H.265 di Dunia MPEG	115
7.17 Langkah-Langkah Pengkodean Video di H.265	117
7.18 HEVC secara Detail	119
7.19 Ringkasan, Pandangan, dan Jalur ke UHD TV	125
BAB 8 Pengkodean Audio	127
8.1. Sinyal Sumber Audio Digital	127
8.2. Sejarah Pengkodean Audio	127
8.3. Model Psikoakustik Telinga Manusia	129

8.4.	Prinsip Dasar Pengkodean Audio	133
8.5.	Pengkodean Subband Sesuai dengan MPEG Layer I, II	134
8.6.	Transformasi Coding untuk MPEG Layer III dan Dolby Digital	137
8.7.	Suara Multichannel	138
8.8.	Perkembangan Baru - MPEG-4	139
BAB 9	Teleteks, Subtitle dan VPS untuk DVB	141
9.1.	Teleteks dan Subtitel.....	141
9.2.	Sistem Program Video	144
9.3.	WSS – Pensinyalan Layar Lebar	147
9.4.	Data Terkait Program Lebih Lanjut	148
BAB 10	Sinyal Antarmuka AV Fisik	150
10.1.	Antarmuka Fisik untuk Sinyal Video Digital	151
10.2.	"CCIR 601" Antarmuka Paralel dan Serial	162
10.3.	Antarmuka Transport stream Paralel Sinkron/Synchronous Parallel Transport Stream Interface (TS PARALLEL)	153
10.4.	Antarmuka Transport stream Serial Asinkron/Asynchronous Serial Transport Stream Interface (TS-ASI)	156
a.	Antarmuka SMPTE310	157
b.	ISDB-T BCMUX	157
c.	Antarmuka HD-SDI	158
d.	Antarmuka DVI	150
e.	Antarmuka DVB-IP	158
10.5.	SDI melalui IP, AVB	160
a.	HDMI – High Definition Multimedia Interface/Antarmuka Multimedia Definisi Tinggi	160
b.	HDMI – Jalur Pengembangan dan Versinya	160
10.6.	Implementasi Mekanik	161
10.7.	Fungsi Antarmuka HDMI	163
10.8.	Format Sinyal Antarmuka HDMI	164
10.9.	Teknologi Pengukuran HDMI	166
10.10.	HDMI – Ringkasan dan Pandangan	166
BAB 11	Pengukuran pada Transport stream MPEG-2	169
11.1.	Hilangnya Sinkronisasi (TS_sync_loss)	169
11.2.	Kesalahan Sinkronisasi Byte (sync_byte_error)	171
11.3.	Tabel Asosiasi Program Hilang atau kesalahan Table/PAT	171
11.4.	Tabel ProgramMap Hilang atau kesalahan PMT	171

11.5. PID_Error	173
11.6. Continuity_Count_Error	173
11.7. Transport_Error (Prioritas 2)	174
11.8. Siklus Kesalahan Pemeriksaan Redundansi	175
11.9. Kesalahan Referensi Jam Program/Program Clock of Reference Error (PCR_Error).....	175
11.10. Kesalahan Stempel Waktu Presentasi (PTS_Error)	176
11.11. Kesalahan Tabel Akses Bersyarat/Conditional Access Table Error (CAT_Error)	176
11.12. Kesalahan Tingkat Pengulangan Informasi Layanan/Service Information Repetition (SI_Repetition)	177
11.13. Memantau Tabel NIT, SDT, EIT, RST dan TDT/TOT	178
11.14. PID tidak terdefinisi (Unreferenced_PID)	178
11.15. Kesalahan dalam Transmisi Informasi Layanan Tambahan	179
11.16. Memantau Transport stream MPEG-2 yang Sesuai dengan ATSC	179
BAB 12 Analisis Kualitas Gambar Sinyal TV Digital	181
12.1. Metode untuk Mengukur Kualitas Video	182
12.2. Analisis Kualitas Gambar Subyektif	183
a. Metode Skala Kualitas Berkelanjutan Stimulus Ganda DSCQS	183
b. Metode Evaluasi Kualitas Berkelanjutan Stimulus Tunggal SSCQE	183
12.3. Analisis Kualitas Gambar Objektif	184
12.4. Ringkasan dan Pandangan	188
BAB 13 Prinsip Dasar Modulasi Digital	190
13.1. Pendahuluan	190
13.2. Mixer	191
13.3. Modulator Amplitudo	193
13.4. Modulator IQ	194
13.5. Demodulator IQ	198
13.6. Penggunaan transformasi Hilbert dalam modulasi IQ	201
13.7. Aplikasi Praktis Transformasi Hilbert	203
13.8. Pengkodean Channel/Koreksi Kesalahan Penerusan	205
13.9. Perbandingan dengan Metode Modulasi Analog	208
13.10. Modulasi Amplitudo	209
13.11. Varian Modulasi Amplitudo	211
13.12. Modulasi Frekuensi	211
13.13. Pembatasan Pita dari Sinyal Pembawa Termodulasi	213

13.14. Ringkasan	215
BAB 14 Mengirimkan Sinyal Televisi Digital melalui Satelit - DVB-S/S2	217
14.1. Parameter Sistem DVB-S	219
14.2. Modulator DVB-S	221
14.3. Pengkodean Konvolusi	225
14.4. Pemrosesan Sinyal di Satelit	229
14.5. Penerima DVB-S	230
14.6. Hal yang Mempengaruhi Tautan Transmisi Satelit	234
14.7. DVB-S2	236
14.8. DVB-S2X – Ekstensi dalam Standar DVB-S2	240
BAB 15 Teknologi Pengukuran DVB-S/S2	244
15.1. Pendahuluan	244
15.2. Mengukur Rasio Kesalahan Bit	244
15.3. Pengukuran pada Sinyal DVB-S menggunakan Spectrum Analyzer	246
15.4. Perkiraan Penentuan Daya Noise N	247
15.5. C/N, S/N dan Eb/N0	248
15.6. Menemukan Rasio EB/N0 dalam DVB-S(1)	249
15.7. Rasio Kesalahan Modulasi (Modulation Error Ratio/MER)	249
15.8. Mengukur Redaman Bahu	250
15.9. Uji Penerima DVB-S/S2	251
15.10. Pengukuran pada Sistem Antena Satelit	252
BAB 16 Transmisi Kabel Broadband Menurut DVB-C	255
16.1. Standar DVB-C	256
16.2. Modulator DVB-C	258
16.3. Penerima DVB-C	259
16.4. Efek Interferensi pada Tautan Transmisi DVB-C	261
BAB 17 Mengukur Sinyal TV Digital di Kabel Broadband	262
17.1. Penerima Uji DVB-C/J83A, B, C dengan Analisis Konstelasi	262
17.2. Mendeteksi Efek Interferensi Menggunakan Analisis Konstelasi	266
17.3. Aditif White Gaussian Noise (AWGN)	267
17.4. Fase Jitter	268
17.5. Pengganggu Sinusoidal	268
17.6. Efek Modulator I/Q	269

17.7. Rasio Kesalahan Modulasi (Modulation Error Ratio/MER)	271
17.8. Kesalahan Vektor Magnitudo (Error Vector Magnitude/EVM)	259
17.9. Mengukur Bit Error Ratio (BER)	259
17.10. Menggunakan Spectrum Analyzer untuk Mengukur Sinyal DVB-C	273
17.11. Mengukur Redaman Bahu	275
17.12. Mengukur Riak atau Kemiringan di Channel	275
17.13. Uji Penerima DVB-C/J83A/B/C	275
BAB 18 Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM)	278
18.1. Mengapa Multi-Carrier?	280
18.2. Apa itu COFDM?	282
18.3. Membangkitkan Simbol COFDM	286
18.4. Sinyal Tambahan dalam Spektrum COFDM	294
18.5. Modulasi Hirarki	297
18.6. Ringkasan	298
BAB 19 Transmisi Terrestrial Sinyal Televisi Digital (DVB-T)	299
19.1. Standar DVB-T	287
19.2. Operator DVB-T	302
19.3. Modulasi Hirarki	307
19.4. Parameter Sistem DVB-T Channel 8/7/6 MHz	309
19.5. Modulator dan Pemancar DVB-T	311
19.6. Penerima DVB-T	314
19.7. Interferensi pada Tautan Transmisi DVB-T dan Efeknya	318
19.8. DVB-T Single-Frequency Networks (SFN)	322
19.9. Tingkat Input Penerima Minimum yang Diperlukan dengan DVB-T	328
BAB 20 Mengukur Sinyal DVB-T	331
20.1. Mengukur Rasio Kesalahan Bit.....	333
20.2. Mengukur Sinyal DVB-T Menggunakan Spectrum Analyzer	335
20.3. Analisis Konstelasi Sinyal DVB-T	336
20.4. Aditif White Gaussian Noise (AWGN)	337
20.5. Fase Jitter	338
20.6. Sumber Interferensi	338
20.7. Echo, Penerimaan Multijalur	338
20.8. Efek Doppler	338
20.9. Kesalahan I/Q Modulator	339
20.10. Penyebab dan Akibat Kesalahan I/Q pada DVB-T	342

20.11. Mengukur Amplitudo, Fase dan Respon Delay Grup	349
20.12. Mengukur Respon Impuls	349
20.13. Mengukur Redaman Bahu	350
BAB 21 DVB-H/DVB-SH - Siaran Video Digital untuk Perangkat Genggam	354
21.1. Pendahuluan	354
21.2. Konvergensi antara Radio Seluler dan Penyiaran	356
21.3. Parameter Esensial DVB-H	356
21.4. Bagian DSM-CC	357
21.5. Enkapsulasi Multiprotokol	358
21.6. Standar DVB-H	359
21.7. Ringkasan	363
21.8. DVB-SH	364
DAFTAR PUSTAKA	367

BAB 1

PENDAHULUAN

Sejak tahun 2010 hingga 2012, televisi telah memasuki era *high-definition TV* (HDTV). Dengan adanya ini, layar datar HDTV mulai beredar dimasyarakat. Saat ini, ukurannya rata-rata sekitar 40 hingga 55 inci. Kualitas gambar menjadi jauh lebih baik daripada perangkat CRT. Fitur "Smart TV" dan "HbbTV" biasanya terintegrasi ke dalam perangkat, yakni menggabungkan antara dunia TV dengan dunia internet. Selain itu, televisi resolusi ultra-tinggi/*ultra-high-resolution TV* (UHDTV) telah diiklankan secara intensif sejak 2014, meskipun perangkat UHDTV ditawarkan dan rantai transmisi tersedia, konten *high ultra resolution* dan kapasitas channel yang sesuai belum tersebar luas. Selain televisi yang menjadi salah satu bagian dari penyiaran, radio jugamasih diterima dalam bentuk analog, meskipun misalnya di Indonesia, DAB/DAB+ telah mengalami pertumbuhan yang kuat sejak 2011. Istilah "broadcasting" mengacu pada transmisi informasi, baik itu suara, gambar atau bunyi, atau data yang dikirimkan dari satu titik - pemancar - ke banyak titik - penerima radio. Sebagai fitur tertentu dari penyiaran, sumbernya tidak terpengaruh oleh jumlah penerima, artinya kapasitas channel tidak terpengaruh karena adanya peningkatan jumlah penerima yang mendengarkan. Ini adalah perbedaan besar untuk tautan radio seluler atau koneksi internet di mana komunikasi *peer-to-peer* digunakan. Selain itu, jaringan siaran sejauh ini selalu dirancang untuk toleransi noise yang tinggi sehingga tidak akan terganggu jika terjadi bencana. Hal ini membuat penyiaran menjadi media yang aman untuk mendistribusikan informasi kepada masyarakat bahkan dalam kondisi yang sulit.

Buku ini membahas semua standar penyiaran analog dan digital yang berkaitan dengan standar pita dasar (MPEG) dan standar transmisi (DVB, ATSC, ISDB-T, DAB, ...) yang digunakan dalam buku ini. Selain itu, buku ini merinci dalam bab tersendiri kebutuhan fundamental termasuk

- sinyal audio dan video analog,
- transformasi antara domain waktu dan domain frekuensi,
- metode modulasi analog dan digital,
- metode modulasi multicarrier, OFDM,
- sinyal video dan audio digital.

Standar MPEG menjelaskan metode pengkodean sumber yang paling umum untuk aplikasi multimedia dan penyiaran, dan tentu saja secara komprehensif tercakup dalam banyak bagian, membahas protokol Transport Stream MPEG-2 serta pengkodean video dan audio, yaitu kompresi file sinyal video dan audio digital. Selain pengenalan video H.262/MPEG-2, H.264/MPEG-4/AVC dan H.265 / HEVC juga akan dijelaskan. Bab-bab berikutnya mencakup penyiaran video digital - ATSC, ISDB-T, DAB/DAB+ dan DTMB - dan membahas semua jalur transmisi yang digunakan, termasuk:

- transmisi terestrial,
- jalur transmisi satelit,
- kabel broadband siaran (CATV),
- dan kabel dua kawat,

Penyiaran bersifat linier dalam artian bahwa pengguna hanya dapat memilih program dengan memilih satu atau channel lainnya. Dalam channel siaran fisik atau logis tertentu, peserta tidak dapat mempengaruhi proses. Namun demikian, VoD (Video on Demand), YouTube, dan lainnya sudah memungkinkan kenikmatan TV "non-linear". Siaran TV melalui IP dalam

bentuk IPTV atau OTT (*Over the Top TV*) yang lebih dikenal dengan layanan “streaming” juga dibahas, dan bab tersendiri tentang penggunaan kabel pita lebar untuk layanan dua arah seperti telepon dan internet melalui DOCSIS (*Data over Cable Service Interface Specification*/Spesifikasi Antarmuka Layanan Data melalui Kabel) sekarang juga disertakan.

Transmisi video sudah dimulai sekitar tahun 1884 dengan pengembangan disk Nipkow oleh Paul Nipkow. Dengan menggunakan piringan yang berputar dengan serangkaian lubang di sepanjang kurva heliks, dia dapat menguraikan gambar menjadi elemen - "garis" - dan mentransfernya dari piringan pemancar yang berputar ke piringan penerima yang berputar secara sinkron. Kedua disk digerakkan oleh motor sinkron, dengan frekuensi listrik 50 Hz atau 60 Hz, tergantung negaranya. Beberapa tahun sebelumnya, Heinrich Hertz membuktikan adanya gelombang elektromagnetik yang diprediksi secara matematis oleh Maxwell. Berdasarkan pencapaian tersebut, Marconi melakukan transmisi informasi pertama sekitar tahun 1895. Awalnya, penyiaran digunakan untuk mentransmisikan potongan informasi pendek melalui jarak yang lebih jauh secara nirkabel, bukan menggunakan telegrafi kabel, ke target tetap di darat atau target bergerak di atas air. Tahun 1920-an muncul transmisi musik pertama, memulai era penyiaran seperti yang pahami sekarang. Beberapa upaya pertama untuk mentransfer musik dilakukan dari stasiun pemancar Königs-Wusterhausen di selatan Berlin, yang dianggap sebagai tempat lahirnya siaran radio. Transmisi siaran pertama kali menggunakan gelombang panjang, menengah, dan pendek termodulasi amplitudo. Kualitas suara mengharuskan untuk meninggalkan banyak hal yang diinginkan, terutama karena bandwidth rendah sekitar 5 kHz dan gangguan atmosfer. Pada saat itu, channel radio pita sempit juga digunakan untuk menyiarkan sinyal TV pita sempit menggunakan disk Nipkow di kedua ujung rantai transmisi yang disebut “Fernsehtuben” (Ruang menonton TV) (lihat juga “NBTB” = TV baris sempit, John Logie Baird), dengan sekitar 30 baris per layar. Alasan memilih frekuensi listrik (50 Hz, 60 Hz) sebagai kecepatan refresh adalah sinkronisasi motor sinkron dari disk Nipkow. Tahun 1930-an muncul transmisi “televisi pita lebar” pertama pada beberapa ratus baris per layar. Namun, usia televisi hitam-putih baru dimulai setelah Perang Dunia II. Di Eropa, yayasan itu ditetapkan dengan mengadopsi “standar Gerber”. Hal ini mengakibatkan duadunia TV terpisah: satu menggunakan 50 Hz dengan 50 bidang dan 25 bingkai perdetik, sedangkan selain itu 60 Hz dengan 60 bidang dan 30 frame per detik. Kekurangan frekuensi pada akhir tahun 1940-an mendorong Eropa untuk membuka Pita VHF FM (pita VHF II, 87,5 - 108 MHz) untuk penggunaan radio. Metode modulasi yang digunakan pada pita FM adalah modulasi frekuensi yang dianggap kurang rentan terhadap gangguan atmosfer, sehingga menghasilkan standar radio yang masih digunakan hingga saat ini pada peralatan endpoint VHF di banyak rumah tangga, dan saat itu tidak terlihat seperti akan digantikan oleh penyiaran digital hingga tahun 2030. Mono VHF Penyiaran FM yang awal diikuti pada 1950-an oleh siaran FM stereo VHF, yang kemudian dilengkapi dengan sinyal RDS (Radio Data System). Tahun 1960-an melihat munculnya televisi berwarna dengan tiga metode transmisi warna yang berbeda - NTSC, PAL dan SECAM –yang terintegrasi secara kompatibel ke dalam skema transmisi hitam-putih. Teletext muncul pada 1980-an, melengkapi program yang ditayangkan dengan data untuk pertama kalinya. Teletext dikembangkan oleh BBC sebagai “Teletext Inggris”. Upaya pertama di televisi definisi tinggi, HDTV, sudah muncul pada 1980-an, tetapi butuh waktu lama, yaitu 30 tahun lagi, untuk benar-benar bisa memperkenalkannya. Tonggak lebih lanjut termasuk proses D2MAC (sekitar 1990) dan PALplus (sekitar 1991). Sistem D2MAC pertama kali gagal karena kekurangan satelit “TV-Sat1”, dan kemudian benar-benar menghilang. Digital audio broadcasting (DAB) dikembangkan pada akhir 1980-an, dengan pemancar radio DAB digital pertama yang mulai beroperasi bahkan sebelum era televisi digital. Akhir tahun 1980-an muncul penambahan satelit dan kabel broadband ke transmisi terestrial yang sudah lama ada. Pada pertengahan 1990-an, era televisi digital dimulai dengan dirilisnya standar MPEG, DVB dan ATSC. MPEG adalah kumpulan dari berbagai norma pita dasar untuk sinyal penyiaran digital (video dan audio), yang ditujukan untuk menyiapkan sinyal untuk penyimpanan (misalnya DVD)

dan distribusi (penyiaran) melalui pengkodean sumber dan multiplexing. "MPEG" adalah singkatan dari "Moving Pictures Expert Group". Proyek Eropa "DVB" (Digital Video Broadcasting) menghasilkan serangkaian standar penyiaran untuk distribusi sinyal TV dengan layanan suara dan data yang menyertainya: standar DVB-S mencakup transmisi TV digital melalui satelit, DVB-C adalah standar untuk transmisi TV digital melalui kabel broadband, dan standar DVB-T digunakan untuk transmisi TV digital terestrial. DVB juga telah diadopsi oleh banyak negara di luar Eropa. Pada awal tahun 2000-an, televisi digital berupa SDTV (Standard Definition Television) telah diluncurkan di beberapa negara dengan menggunakan siaran satelit, kabel, dan terestrial. Standar ATSC (AS), ISDB-T (Jepang), dan DTMB (Cina) muncul secara bersamaan setelah DVB. Spesifikasi untuk pengkodean video H.264/AVC dan DVB-S2 sebagai televisi satelit digital generasi kedua, keduanya diterbitkan pada tahun 2003, digunakan untuk mengimplementasikan sistem HDTV di banyak negara. Namun era HDTV baru benar-benar tiba setelah 2010, ketika konten serta perangkat TV yang sesuai dan terjangkau tersedia. Sementara itu, dari sekitar tahun 2004, upaya untuk membuat televisi mobile dengan DVB-H, MediaFLO dan T-DMB dilakukan. Meskipun hal ini secara teknis merupakan sistem fungsional, namun gagal secara ekonomi. Sejak 2011, radio digital diperluas lebih lanjut melalui DAB+, dan sejak saat itu, konten radio dan perangkat radio digital secara signifikan lebih banyak tersedia. Penampilan dari HbbTV (Hybrid Broadband Broadcast TV) dan "Smart TV" menandai awal dari konvergensi televisi dan internet: TV layar datar semakin dilengkapi dengan koneksi WLAN atau Ethernet, dan perangkat lunak yang sesuai atau "middleware" serta pra-instal dan aplikasi yang dapat diunduh. Kemunculan UHD TV memberikan awal bagi televisi definisi tinggi. Terestrial analog, satelit dan saat ini juga termasuk televisi kabel analog telah dimatikan. Beberapa tahun berikutnya terjadi migrasi dari DVB-T generasi pertama ke DVB-T2 generasi kedua. DVB-T2 diikuti dengan rilisnya DVB-C2, standar baru untuk penyiaran digital melalui kabel broadband. Transmisi kabel broadband berbasis DOCSIS telah digunakan sejak akhir 1990-an juga untuk telepon dan internet. Standar DOCSIS 3.1 terbaru, dirilis pada tahun 2013, diharapkan dapat merevolusi pemanfaatan kabel broadband. Sementara itu, penyiaran juga menemukan keuntungan dari penggunaan jalur twisted pair dengan xDSL dan menawarkan layanan streaming melalui internet, sehingga memunculkan kata kunci baru: "OTT" (Over-the-Top TV). Berikut ini adalah tonggak sejarah penyiaran radio dan TV dari ditemukannya gelombang elektromagnetik hingga 2019:

- Persamaan Maxwell, 1864
- Heinrich Hertz, bukti keberadaan gelombang elektromagnetik, 1886
- Marconi, transmisi berita pertama melalui gelombang elektromagnetik, 1895
- Disk Nipkow, 1884
- Radio melalui gelombang panjang, menengah dan pendek, 1923
- Televisi bandwidth sempit, John Logie Baird, 1926 Televisi hitam putih, 1934
- Radio VHF, 1949
- Televisi berwarna, 1967
- Teleteks, awal 1980-an
- Upaya pertama di HDTV, pertengahan 1980-an
- D2MAC, PALplus, awal 1990-an
- TV kabel, dari pertengahan 1980-an
- Televisi satelit, dari akhir 1980-an
- DAB - Penyiaran Audio Digital, dikembangkan menjelang akhir 1980-an
- Layanan DAB tersedia di Jerman mulai pertengahan 1990-an
- MPEG, pertengahan 1990-an
- DVB, ATSC, pertengahan 1990-an
- SDTV, akhir 1990-an
- xDSL, jalur dua kabel, awal 2000-an

- DOCSIS = Data over Cable System Interface Specification/Spesifikasi Antarmuka Layanan Data melalui Kabel, akhir 1990-an
- Ekspansi DAB dari sekitar tahun 2005 dan seterusnya di Inggris
- DAB+ dari sekitar tahun 2008 di Australia, Skandinavia
- DAB/DAB+ — Ekspansi dari 2011 di Jerman
- HDTV, televisi definisi tinggi sejak 2010 (langkah pertama dari 2002)
- HbbTV = Hybrid Broadcast Broadband TV, Smart TV, dari 2010 dan seterusnya
- UHD TV, ultra-high-definition/televisi definisi tinggi dari tahun 2014 dan seterusnya
- Televisi "linier" dan "nonlinier"
- OTT=Over-the-Top TV, video, dan audio dari sekitar tahun 2010

Tabel 1.1. Metode dan standar untuk televisi digital dan radio digital

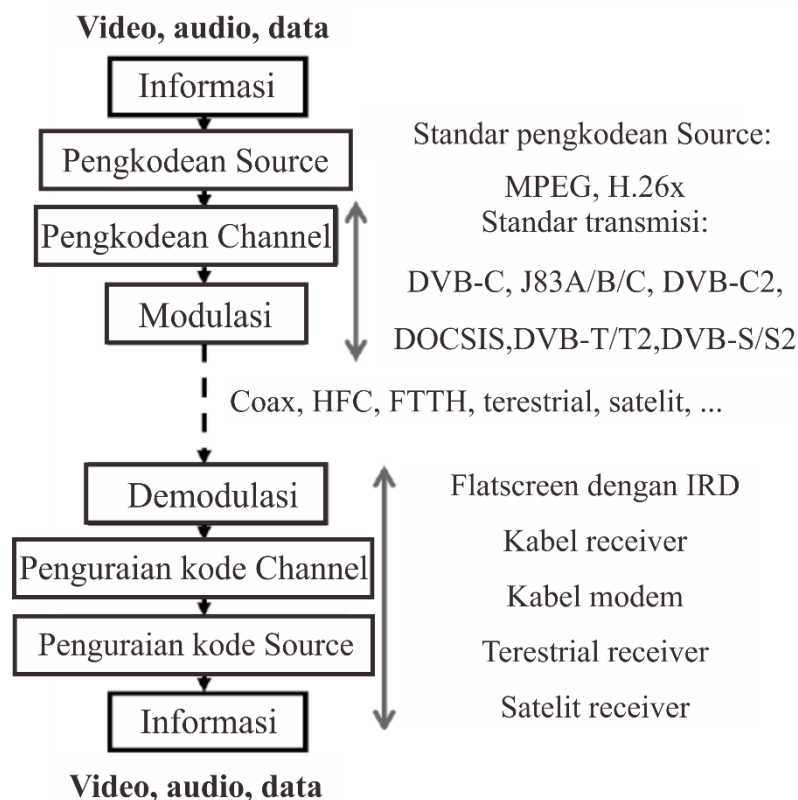
Metode/standar	Aplikasi
JPEG	Kompresigambar diam, fotografi, internet
JPEGBergerak	DVPRO, MiniDV, kamera video rumah digital
MPEG-1	Video CD
MPEG-2	Sinyal pita dasaruntuktelevisi digital, DVD-Video
MPEG-4	Algoritmakompresi video dan audio baru
MPEG-H	Lihat HEVC, High Efficiency Video Coding/Pengodean Video Efisiensi Tinggi
H.262	Pengkodean video (lihat video MPEG-2)
H.264	Pengkodean video, AVC (lihat MPEG-4, Bagian 10 Video)
H.265	Pengkodean video, HEVC (lihat video MPEG-H)
DVB	Penyiaran Video Digital
DVB-S	Televisi digital melaluisatelit
DVB-S2	Standarsatelit DVB baru
DVB-C	Televisi digital melaluikabelbroadband
DVB-T	Televisiterrestrial digital
J83A	= DVB-C
J83B	Standarkabel Amerika Utara
J83C	StandarkabelJepang
ATSC	Standar Amerika Utara untuktelevisiterrestrial digital (AS, Kanada)
ISDB-T	StandarJepanguntuktelevisiterrestrial digital
DTMB	Standar China untuktelevisiterrestrial digital (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting/Siaran Multimedia Terrestrial Digital)
CMMB	Siaran Multimedia Seluler China
DAB	Siaran Audio Digital (Digital Audio Broadcasting)
IBOC – HDRadio	Radio hibrida (radio digital)
Fmextra	Siaran radio digital
T-DMB	Standar Korea Selatan untuktransmisiseluler video dan audio MPEG berdasarkan DAB (<i>Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting</i> /Siaran Multimedia Digital Terrestrial)
DVB-H	Siaran Video Digital untukalatGenggam
MHP	Platform Rumah Multimedia (Multimedia Home Platform)
DRM	Digital Radio Mondiale/Radio Digital Mondiale
MediaFLO	Media Forward Link Only, standar TV seluler
DVB-SH	DVB untuk terminal genggammelaluisatelit dan terrestrial
DVB-T2	Penyiaran Video Digital TerrestrialGenerasiKedua
DVB-C2	Penyiaran Video Digital GenerasiKedua – Kabel
IPTV	TV internet, TV melaluixDSL
DOCSIS	Data Over Cable System Interface Specification /Spesifikasi Antarmuka Layanan Data melalui Kabel, IP dan teleponmelaluikabel broadband

Catatan: Beberapa istilah yang tercantum dalam tabel tsb dilindungi oleh © copyright.

Penyiaran berarti terjadi transmisi informasi dari pemancar ke penerima (lihat Gambar 1.1.). Informasi, gambar bergerak, suara lip-synchronous terkait dan data pelengkap harus disiapkan terlebih dahulu untuk transmisi. Selama proses ini, yang disebut pengkodean sumber, sinyal video dan audio dikompres menggunakan misalnya algoritma MPEG untuk mencapai kecepatan data yang dapat diterima. Selanjutnya, sinyal video dan audio digabungkan menjadi satu sinyal data — sinyal multipleks “MUX” — yang kemudian diberi kode channel oleh modulator untuk mempersiapkannya untuk channel transmisi.

Hal ini umumnya dipahami sebagai perlindungan kesalahan, Koreksi Kesalahan Terusan, FEC(*Forward Error Correction*). Selanjutnya, data yang dilindungi kesalahan dimodulasi ke pembawa frekuensi tinggi sinusoidal (sinyal RF). Sinyal RF kemudian diperkuat dan ditransmisikan secara terestrial, melalui satelit, atau melalui kabel. Penerima kemudian mendemodulasi sinyal RF untuk mengekstrak datastream yang biasanya dipengaruhi oleh kesalahan transmisi yang disebabkan oleh sumber gangguan (noise, dll). Kemudian, penguraian kode channel dapat memperbaiki kesalahan ini hingga pada tingkat apa pun yang memungkinkan dengan cara menerapkan prosedur pemancar dalam urutan terbalik. Penguraian kode sumber berikutnya, yaitu dekomposisi, mengembalikan sinyal video dan audio yang kemudian dikeluarkan atau disajikan kepada pengguna (pemirsa, pendengar). Semua standar penyiaran digital dapat dijelaskan dan diwakili oleh langkah- langkah tsb.

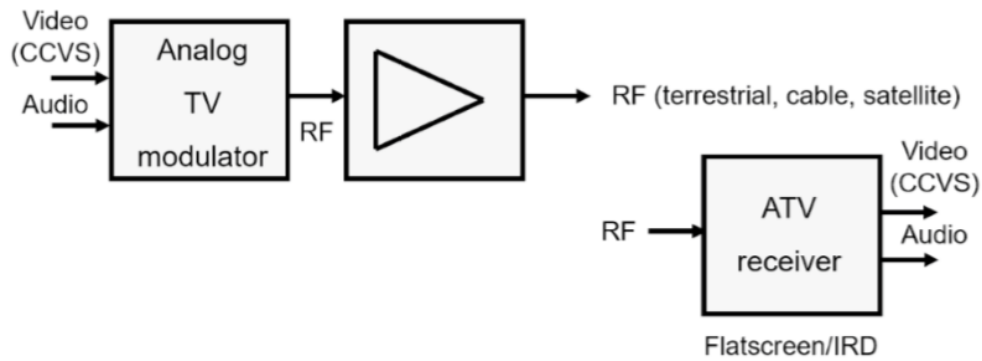
Untuk TV analog (analog TV/ATV), kode sumber artinya membatasi lebar pita sinyal video dan audio dan secara teknis menerapkan proses ini (sinyal CCVS, mono, sinyal L/R, dll.). Sinyal video dan audio diumpankan ke modulator gambar dan suara, dan sinyal RF tunggal yang dihasilkan berisi tepat satu program kemudian ditransmisikan ke penerima. Penerima ATV disetel ke channel penerimaan tertentu dan memutar tepat satu program.



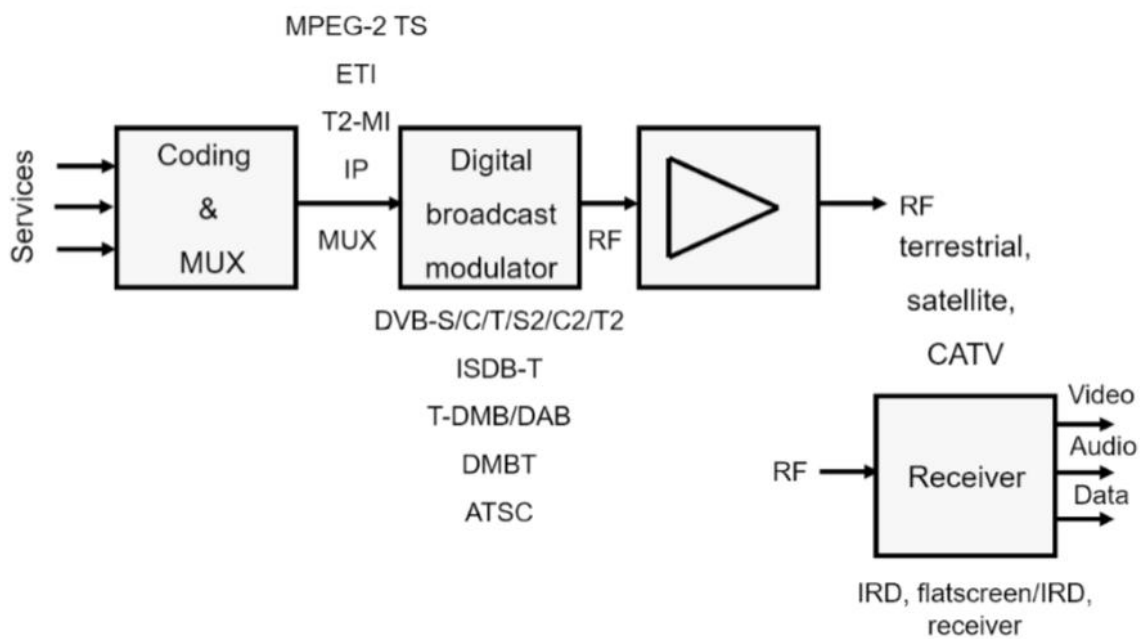
Gambar 1.1 Prinsip transmisi informasi dalam penyiaran

Dalam kasus televisi digital, beberapa program atau layanan diberi kode sumber dan digabungkan menjadi sinyal multipleks digital (“MUX” misalnya, MPEG-2 Transport Stream). Sinyal multipleks ini kemudian diumpankan ke modulator siaran digital di mana Video Digital (Dr. Unang Achlison, S.T., M.Kom)

perlindungan kesalahan ditambahkan ke data aliran yang kemudian dimodulasi ke pembawa RF menggunakan pembawa tunggal atau proses modulasi multi-pembawa (OFDM). Setelah amplifikasi, sinyal RF kemudian ditransmisikan ke penerima secara terestrial, melalui satelit atau melalui kabel broadband. Penerima siaran digital disetel ke channel penerimaan dari mana mereka dapat mengekstrak beberapa program. Hanya satu program (layanan) yang dipilih yang disajikan kepada pengguna akhir (penonton, pendengar).



Gambar 1.2 Rantai transmisi TV analog



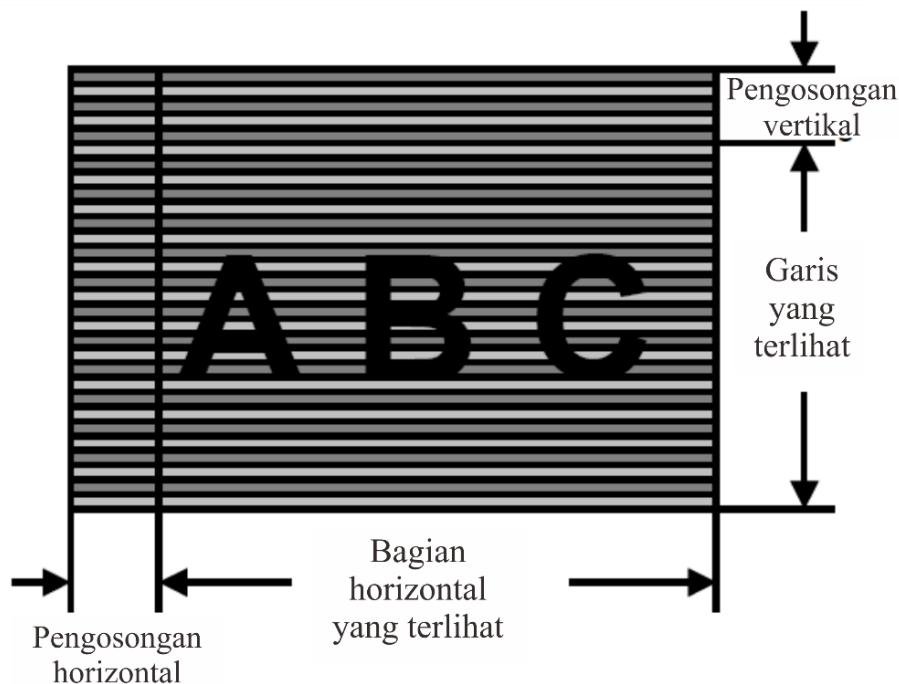
Gambar 1.3 Rantai penyiaran digital

BAB 2

TELEVISI ANALOG

Di seluruh dunia, hanya ada dua standar utama televisi analog, sistem 625-line dengan frame rate 50 Hz dan sistem 525-line dengan frame rate 60 Hz. Sinyal video-dan-blanking dengan warna komposit (CVBS, CCVS) dari sistem ini ditransmisikan dalam standar transmisi warna berikut:

- PAL (*Phase Alternating Line*)
- KNKT (Komite Sistem Televisi Nasional)
- SECAM (*Sequentiel Couleur a Memoire*)



Gambar 2.1 Membagi bingkai menjadi garis

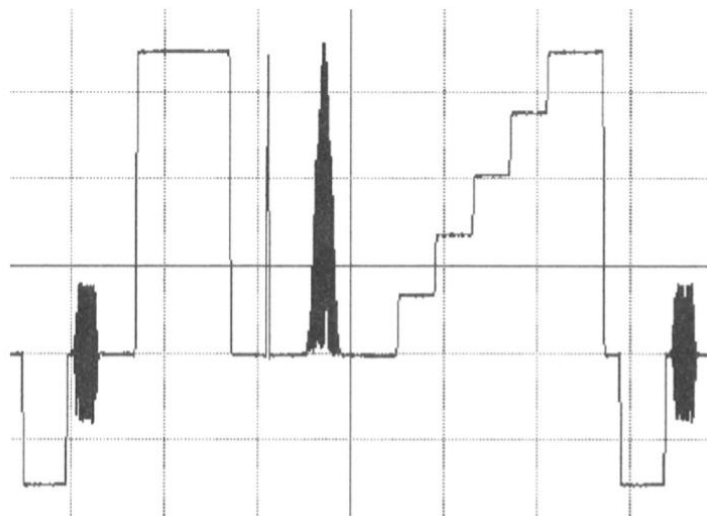
Transmisi warna PAL, NTSC, dan SECAM dapat berada dalam sistem 625-baris dan dalam sistem 525-baris. Namun, tidak semua kemungkinan kombinasi dapat benar-benar diterapkan. Sinyal video dengan pengkodean kompositnya kemudian dimodulasi ke pembawa, pembawa visi/penglihatan, sebagian besar dengan modulasi amplitudo negatif. Sementara, di mana modulasi positif (sinkronisasi di dalam) digunakan. Subcarrier suara pertama dan kedua biasanya merupakan subcarrier termodulasi FM. Di Indonesia, subcarrier suara kedua adalah subcarrier NICAM yang dimodulasi secara digital. Meskipun perbedaan antara metode yang diterapkan di berbagai negara mungkin kecil, namun secara bersama-sama hal itu dapat menghasilkan banyak standar yang saling bertentangan. Standar televisi analog diberi nomor berdasarkan abjad dari A sampai Z dan pada dasarnya menggambarkan frekuensi channel dan bandwidth di pita VHF I dan III (47 ... 68 MHz, 174 ... 230 MHz) dan pita UHF IV dan V (470 ... 862MHz); contohnya adalah Standar B, G Jerman: B = 7 MHz VHF, G = 8 MHz UHF.

Dalam kamera televisi, setiap bidang dibedah menjadi struktur garis 625 atau 525. Karena waktu terbang balik berkas yang terbatas pada penerima televisi, bagaimanapun, interval pengosongan vertikal dan horizontal menjadi penting dan hasilnya, tidak semua garis terlihat tetapi merupakan bagian dari interval pengosongan vertikal. Dalam satu garis juga, hanya bagian tertentu yang benar-benar terlihat. Dalam sistem 625 garis, 50 garis dikosongkan dan

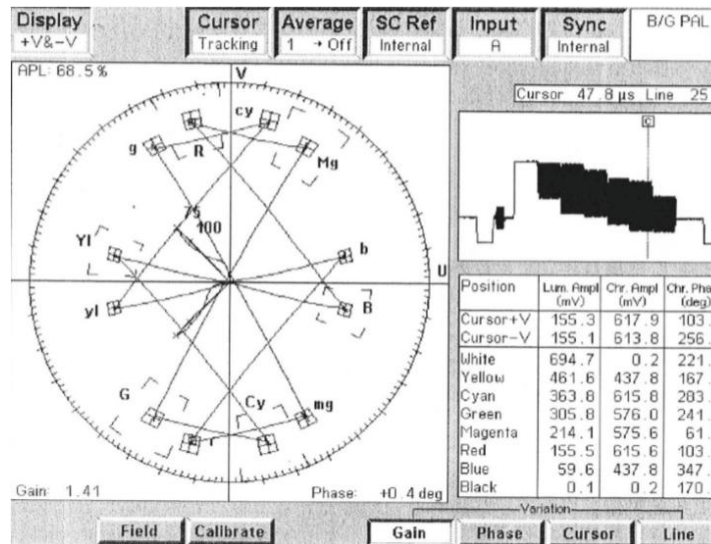
jumlah garis yang terlihat adalah 575. Dalam sistem 525 garis, antara 38 dan 42 garis jatuh ke dalam area interval pengosongan vertikal.

Untuk mengurangi efek kedipan, setiap frame dibagi menjadi dua bidang yang menggabungkan garis genap dan ganjil dalam setiap kasus. Bidang ditransmisikan secara bergantian dan bersama-sama menghasilkan laju pengulangan bidang dua kali laju bingkai. Awal garis ditandai dengan denyut sinkronisasi horizontal, yaitu denyut yang berada di bawah level nol volt dalam sinyal video dan memiliki magnitudo -300 mV. Semua waktu dalam sinyal video dirujuk ke tepi depan denyut sinkronisasi dan di situ tepat pada titik 50%. 10 μ s setelah tepi jatuh denyut sinkronisasi, area gambar aktif dalam garis dimulai pada sistem 625-garis. Area gambar aktif itu sendiri memiliki panjang 52 μ s.

Dalam matriks di kamera televisi, sinyal luminance (luminous density) (sinyal Y atau sinyal hitam/putih) pertama-tama diperoleh dan diubah menjadi sinyal yang memiliki rentang tegangan dari 0 Volt (sesuai dengan level hitam) hingga 700 mV (100 % putih). Matriks di kamera televisi juga menghasilkan sinyal perbedaan warna dari output Merah, Hijau, dan Biru. Disarankan untuk menggunakan sinyal perbedaan warna karena, di satu sisi, luminansi harus ditransmisikan secara terpisah untuk alasan kompatibilitas dengan televisi hitam/putih dan, di sisi lain, transmisi warna harus menghemat bandwidth seefektif mungkin. Karena berkurangnya resolusi warna mata manusia, sangat mungkin untuk mengurangi bandwidth informasi warna. Faktanya, bandwidth warna berkurang cukup signifikan dibandingkan dengan bandwidth luminance: *Bandwidth luminance* adalah yang berada pada 4,2 MHz (PAL M), 5 MHz (PAL B/G), dan 6 MHz (PAL D/K, L), sedangkan bandwidth chrominance hanya 1,3 MHz dalam banyak kasus.



Gambar 2.2 Sinyal video komposit analog (PAL)



Gambar 2.3 Diagram vektor sinyal video PAL komposit

Di studio, sinyal perbedaan warna $U=B-Y$ dan $V=R-Y$ masih digunakan secara langsung. Untuk tujuan transmisi, bagaimanapun, sinyal perbedaan warna U dan V adalah vektor termulasi (IQ termulasi) ke subcarrier warna di PAL dan NTSC. Dalam SECAM, informasi warna ditransmisikan dengan modulasi frekuensi. Fitur umum dari PAL, SECAM, dan NTSC adalah bahwa informasi warna dimodulasi ke subcarrier warna dari frekuensi yang lebih tinggi yang ditempatkan di ujung atas pita frekuensi video dan hanya ditambahkan ke sinyal luminansi. Frekuensi subcarrier warna dipilih sedemikian rupa sehingga menyebabkan seminimal mungkin gangguan pada channel luminance. Akan tetapi, seringkali tidak mungkin untuk menghindari crosstalk antara luminance dan chrominance atau sebaliknya, misalnya pada kasus ketika seorang pembaca berita mengenakan setelan bergaris-garis. Efek warna yang kemudian terlihat pada pola bergaris adalah hasil dari crosstalk ini (cross color atau cross-luminance effect).

Terminal visi dapat memiliki antarmuka video berikut:

- CVBS, CCVS 75 Ohm 1 V PP (sinyal video dengan kompositpengkodean)
- Komponen RGB (SCART, Peritel)
- Y/C (luminance dan chrominance terpisah untuk menghindari efek cross color atau crossluminance)

Untuk televisi digital, disarankan untuk menggunakan koneksi RGB (SCART) atau koneksi Y/C untuk kabel antara receiver dan monitor TV untuk mendapatkan kualitas gambar yang optimal.

Di televisi digital hanya bingkai yang ditransmisikan, tidak ada bidang. Hanya di bagian paling akhir dari link transmisi di mana bidang-bidang tersebut dibuat ulang di dalam set top box atau di dalam dekoder penerima IDTV. Sumber bahan asli juga disediakan dalam format terjaln yang harus diperhitungkan dalam kompresi (pengkodean bidang, de-interlacing).

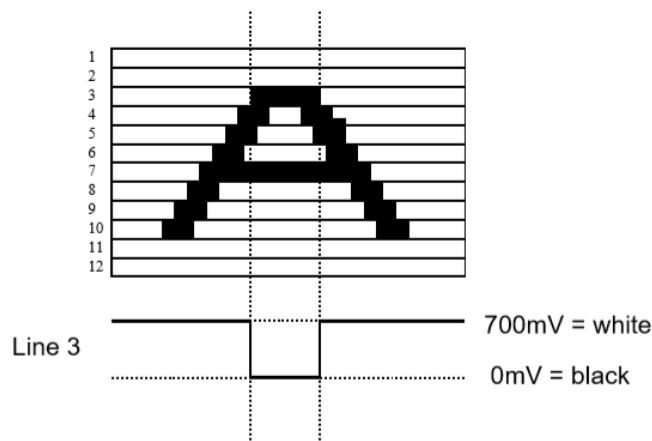
2.1. Memindai Gambar Hitam/Putih Asli

Pada awal era televisi, gambar-gambarnya hanya “hitam-putih”. Teknologi sirkuit yang tersedia pada 1950-an terdiri dari sirkuit tabung yang relatif besar dan rentan terhadap kesalahan dan mengkonsumsi banyak daya. Teknisi televisi saat itu masih seorang tukang reparasi sejati dan, jika terjadi kesalahan, mengunjungi pelanggannya dengan membawa kotak tabung hampa udaranya sendiri.

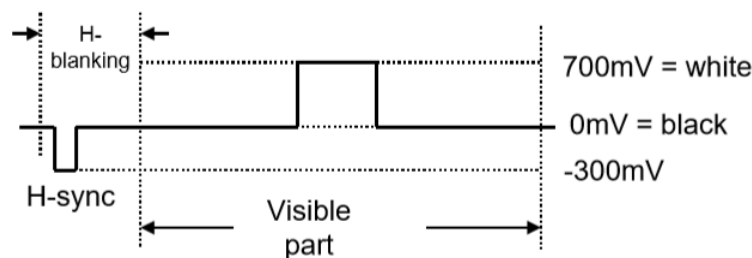
Mari lihat bagaimana sinyal hitam/putih tersebut, yaitu “sinyal luminance”, dihasilkan. Menggunakan huruf "A" sebagai contoh, gambarnya direkam oleh kamera TV yang memindai baris demi baris (lihat Gambar 2.4.). Pada hari-hari awal, hal ini dilakukan oleh kamera tabung yang memiliki lapisan peka cahaya, di mana gambar diproyeksikan oleh optik, dipindai baris demi baris oleh berkas elektron yang dibelokkan oleh medan magnet horizontal dan vertikal.

Saat ini, CCD (charge coupled device) atau chip sensor CMOS digunakan secara universal pada kamera dan prinsip dari berkas elektron yang dibelokkan sekarang hanya disimpan di penerima TV; dan bahkan di sana teknologinya berubah menjadi layar LCD dan OLED.

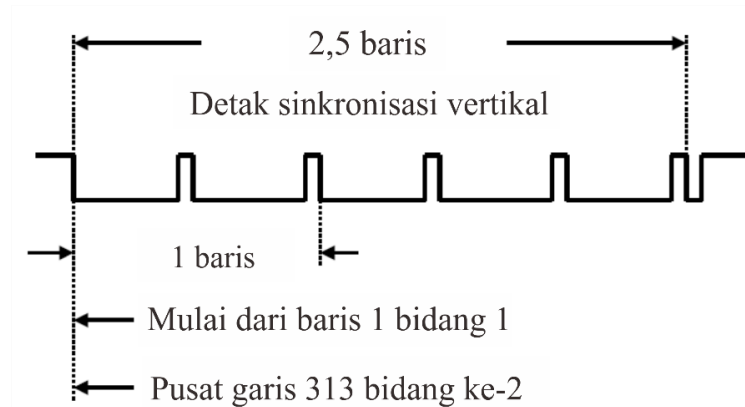
Hasil pemindaian yang asli adalah sinyal luminance dimana 0 mV sesuai dengan 100% hitam dan 700 mV adalah 100% putih. Gambar asli dipindai baris demi baris dari atas ke bawah, menghasilkan 625 atau 525 baris aktif tergantung pada standar TV yang digunakan. Namun, tidak semua garis terlihat. Karena waktu flyback berkas terbatas, interval pengosongan vertikal hingga 50 baris harus dimasukkan. Selain itu, dalam garis itu sendirihanya bagian tertentu yang mewakili konten gambar yang terlihat, alasannya adalah waktu flyback yang terbatas dari sisi kanan ke tepi kiri garis yang menghasilkan interval pengosongan horizontal. Gambar 2.4 menunjukkan dokumen asli yang akan dipindai dan gambar 2.5 menunjukkan sinyal video terkait.



Gambar 2.4 Memindai gambar hitam/putih asli



Gambar 2.5 Memasukkan denyut sinkronisasi horizontal



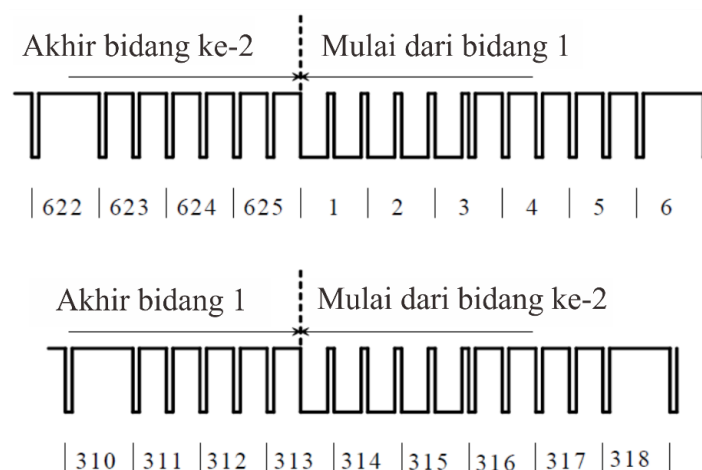
Gambar 2.6 Detak sinkronisasi vertikal

2.2. Denyut Sinkronisasi Horizontal dan Vertikal

Namun, Anda juga perlu menandai tepi atas dan tepi bawah gambar dengan cara tertentu, selain tepi kiri dan kanan. Hal ini dilakukan melalui denyut sinkronisasi horizontal dan vertikal. Kedua jenis denyut ini diciptakan pada awal era televisi agar mudah dikenali dan dibedakan oleh penerima dan terletak di daerah yang lebih hitam dari daerah hitam di bawah nol volt.

Denyut sinkronisasi horizontal menandai awal dari sebuah garis. Awal dianggap sebagai nilai 50% dari tepi depan denyut sinkronisasi (secara nominal yaitu -150 mV). Semua waktu dalam satu baris dikaitkan dengan waktu ini. Menurut definisi, garis aktif, yang memiliki panjang 52 μs , dimulai 10 μs setelah tepi depan denyut sinkronisasi. Denyut sinkronisasi itu sendiri panjangnya 4,7 μs dan tetap pada -300 mV selama waktu tsb.

Pada awal perkembangan televisi, kemampuan teknik pemrosesan terbatasharus memadai, yang bagaimanapun, cukup luar biasa. Hal ini juga tercermin dalam sifat denyut sinkronisasi. Denyut sinkronisasi horizontal (sinkronisasi H) dirancang sebagai denyut yang relatif pendek (kira-kira 5 μs) sedangkan denyut sinkronisasi vertikal (sinkronisasi V) memiliki panjang 2,5 garis (kira-kira 160 μs). Dalam sistem 625 channel, panjang channel termasuk sinkronisasi H adalah 64 μs . Oleh karena itu, denyut sinkronisasi V dapat dengan mudah dibedakan dari sinkronisasi H. Denyut sinkronisasi V juga berada di wilayah yang lebih hitam dari daerah hitam di bawah nol volt dan menandai awal dari bingkai atau bidang, secara berturut-turut.



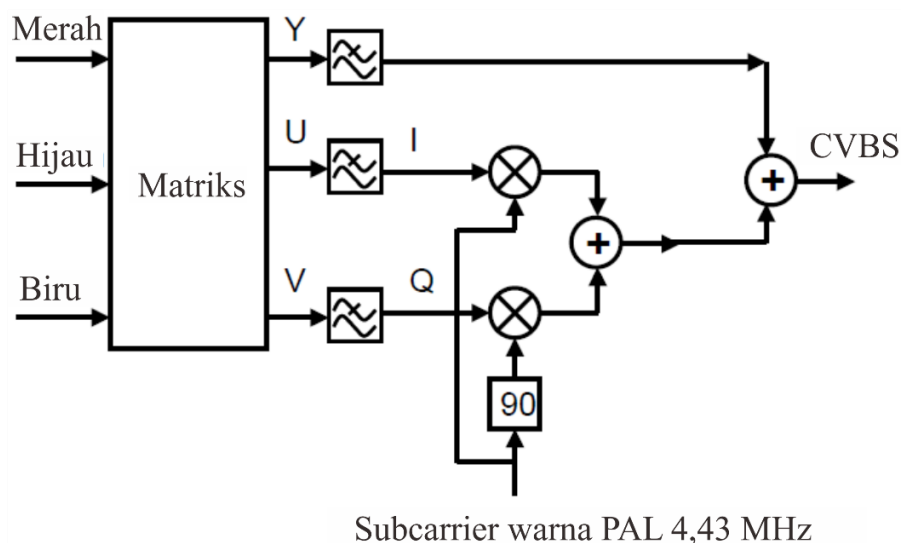
Gambar 2.7 Denyut sinkronisasi vertikal dengan denyut pra dan pasca pemerataan di sistem channel 625

Seperti yang telah disebutkan, sebuah bingkai, yang memiliki kecepatan bingkai 25 Hz = 25 bingkai per detik dalam sistem 625-baris, dibagi lagi menjadi 2 bidang. Hal ini memungkinkan untuk menipu mata, memberikan efek kedipan yang sebagian besar tidak terlihat. Satu bidang terdiri dari garis bernomor ganjil dan bidang lainnya terdiri dari garis bernomor genap. Semuanya ditransmisikan secara bergantian, menghasilkan laju medan 50 Hz dalam sistem 625-baris. Sebuah frame (awal dari bidang pertama) dimulai ketika denyut sinkronisasi V menuju ke level -300 mV untuk 2,5 baris secara tepat di awal dari sebuah baris. Bidang kedua dimulaiketikadenyut sinkronisasi V turun ke level -300 mV untuk 2,5 baris di tengah jalur 313.

Bidang pertama dan kedua ditransmisikan saling terkait satu sama lain, sehingga mengurangi efek kedipan. Karena keterbatasan teknologi denyut pada awal perkembangan televisi, denyut sinkronisasi V sepanjang 2,5 baris akan menyebabkan osilator channel kehilangan kunci. Untuk alasan ini, denyut pra dan pasca penyamaan tambahan diberi gerbang yang berkontribusi pada munculnya denyut sinkronisasi V saat ini. Proses sinyal teknologi saat ini membuat ini tidak perlu.

2.3. Menambahkan Informasi Warna

Pada awal era televisi, tampilan hitam/putih sudah memadai karena mata manusia memiliki resolusi dan sensitivitas tertinggi di bidang perbedaan kecerahan dan otak menerima informasi terpenting darinya. Ada lebih banyak reseptor hitam/putih daripada reseptor warna di retina. Namun seperti halnya di bioskop, televisi mengatur transisi dari hitam/putih menjadi berwarna karena pemirsanya menginginkannya. menyebutnya inovasi. Ketika warna ditambahkan pada tahun enam puluhan, pengetahuan tentang anatomi mata manusia dipertimbangkan. Dengan hanya sekitar 1,3 MHz, warna (chrominance) diizinkan jauh lebih sedikit resolusi, misalnya bandwidth, dari kecerahan (luminance) yang ditransmisikan dengan sekitar 5 MHz. Pada saat yang sama, chrominance disematkan secara kompatibel ke dalam sinyal luminansi sehingga penerima hitam/putih tidak terganggu tetapi penerima warna dapat mereproduksi warna dan hitam/putih dengan benar. Jika penerima tidak memenuhi ideal ini, apa yang disebut efek pencahayaan silang (*cross-luminance*) dan efek warna silang (*cross-color*) akan dihasilkan.



Gambar 2.8 Diagram blok dari modulator PAL

Di ketiga sistem, PAL, SECAM, dan NTSC, komponen warna Merah, Hijau dan Biru pertama kali diperoleh dalam tiga sistem pickup terpisah (awalnya kamera tabung, sekarang chip sensor CCD dan CMOS) dan kemudian dipasok ke matriks di mana

pencahayaannya sinyal dibentuk sebagai jumlah dari $R + G + B$, dan sinyal chrominance. Sinyal chrominance terdiri dari dua sinyal, sinyal perbedaan warna Blue minus luminance dan Red minus luminance. Namun, sinyal luminance dan sinyal chrominance yang terbentuk harus dimatrikskan, yaitu dihitung, diberikan dengan benar dengan faktor pembobotan yang sesuai dengan sensitivitas mata, dengan menggunakan rumus berikut:

$$Y = 0.3 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B;$$

$$U = 0.49 \cdot (B - Y);$$

$$V = 0.88 \cdot (R - Y);$$

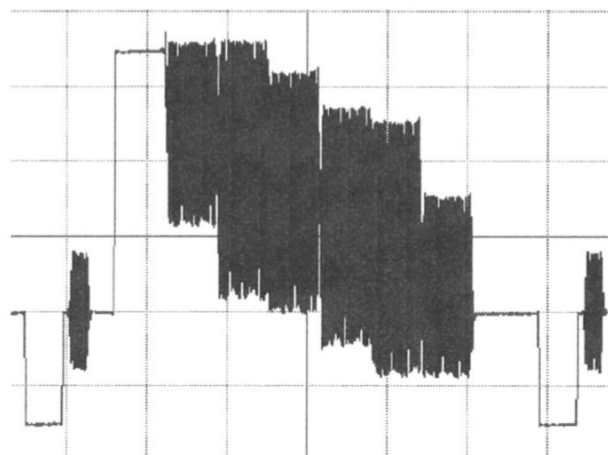
Sinyal luminansi Y dapat digunakan secara langsung untuk reproduksi oleh penerima hitam/putih. Kedua sinyal chrominance juga ditransmisikan dan digunakan oleh penerima warna. Dari Y , U dan V dimungkinkan untuk memulihkan R , G , dan B . Informasi warna kemudian tersedia dalam bandwidth yang dikurangi, dan informasi luminansi dalam bandwidth yang lebih besar (“prinsip kotak cat”).

Untuk menanamkan informasi warna ke dalam sinyal CVBS (video komposit, pengosongan, dan sinkronisasi) yang awalnya ditujukan untuk penerima hitam/putih, harus ditemukan metode yang memiliki efek merugikan yang paling kecil pada penerima hitam/putih, yaitu menyimpannya secara bebas dari informasi warna, dan pada saat yang sama berisi semua yang diperlukan untuk penerima warna.

Dua metode dasar dipilih, yaitu menanamkan informasi baik dengan modulasi amplitudo/fase analog (modulasi IQ) seperti pada PAL atau NTSC, atau dengan modulasi frekuensi seperti pada SECAM. Di PAL dan NTSC, sinyal perbedaan warna dipasok ke modulator IQ dengan bandwidth yang dikurangi dibandingkan dengan sinyal luminansi. Modulator IQ menghasilkan sinyal chrominance sebagai sub-carrier warna termodulasi amplitudo/fase, yaitu amplitudo yang membawa saturasi warna dan fase yang membawa rona. Sebuah osiloskop hanya akan menunjukkan adanya warna dan banyaknya, tetapi tidak akan mengidentifikasi rona. Hal ini akan membutuhkan sebuah vectorscope yang menyediakan informasi tentang keduanya.

Di PAL dan di NTSC, informasi warna dimodulasi ke subcarrier warna yang terletak di dalam pita frekuensi sinyal luminansi, tetapi secara spektral menyatu dengan yang terakhir sedemikian rupa sehingga tidak terlihat di channel luminance. Ini dapat dilakukan dengan pilihan frekuensi subcarrier warna yang tepat. Di PAL, frekuensi subcarrier warna dipilih dengan menggunakan rumus berikut:

$$f_{SC} = 283.75 \cdot f_H + 25 \text{ Hz} = 4.43351875 \text{ MHz};$$

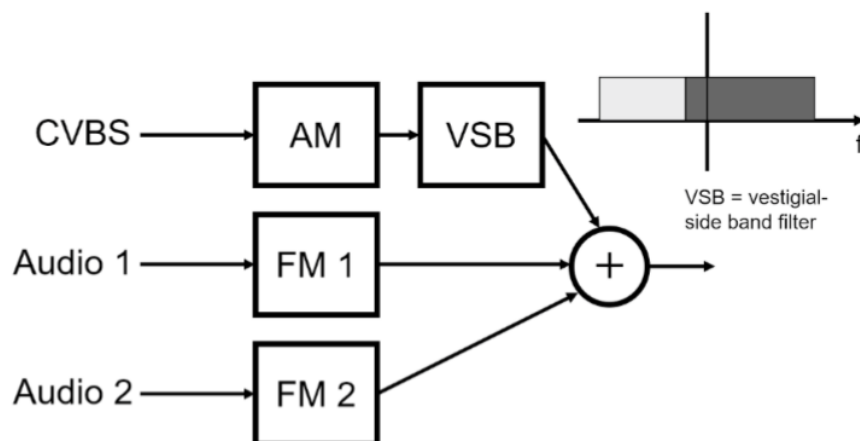


Gambar 2.9 Osilogram dari sinyal CVBS, CCVS (video warna komposit dan sinkronisasi)

Dalam SECAM, sinyal perbedaan warna termulasi frekuensi secara bergantian dimodulasi ke dua subcarrier warna yang berbeda dari baris ke baris. Proses SECAM hanya digunakan di Prancis dan di negara-negara berbahasa Prancis di Afrika Utara. Negara-negara Blok Timur sebelumnya mengubah SECAM menjadi PAL pada tahun sembilan puluhan.

Dibandingkan dengan NTSC, PAL memiliki keunggulan yang besar karena ketidakekspansiannya terhadap distorsi fasa karena fasanya berubah dari channel ke channel. Oleh karena itu, warna tidak dapat diubah oleh distorsi fase pada jalur transmisi. NTSC digunakan di televisi analog, di mana kadang-kadang diejek sebagai "Tidak Pernah Warna yang Sama Dua Kali" karena distorsi warna.

Sinyal video komposit PAL, NTSC atau SECAM dihasilkan dengan mencampur sinyal hitam/putih, informasi sinkronisasi, dan sinyal chrominance dan sekarang disebut sinyal CCVS (Composite Color, Video and Sync). Gambar 2.9, menunjukkan sinyal CCVS dari sinyal batang warna. Semburan warna dapat terlihat dengan jelas. Ini digunakan untuk menyampaikan fase referensi dari subcarrier warna ke penerima sehingga osilator warnanya dapat menguncinya.



Gambar 2.9 Prinsip modulator TV untuk TV terrestrial analog dan kabel broadband TV analog

2.4. Metode Transmisi

Televisi analog disebarluaskan melalui tiga jalur transmisi yaitu: jalur transmisi terrestrial, melalui satelit, dan melalui kabel broadband. Prioritas yang diberikan pada jalur transmisi tertentu sangat bergantung pada negara dan wilayah yang bersangkutan. Di Jerman, "antena TV" analog tradisional pada akhirnya hanya berstatus minor dengan kurang dari 10%, istilah ini digunakan terutama oleh pemirsa sendiri sedangkan istilah teknis sebenarnya adalah "TV terrestrial". Alasan untuk ini adalah jangkauan yang baik oleh satelit dan kabel, dan lebih banyak program.

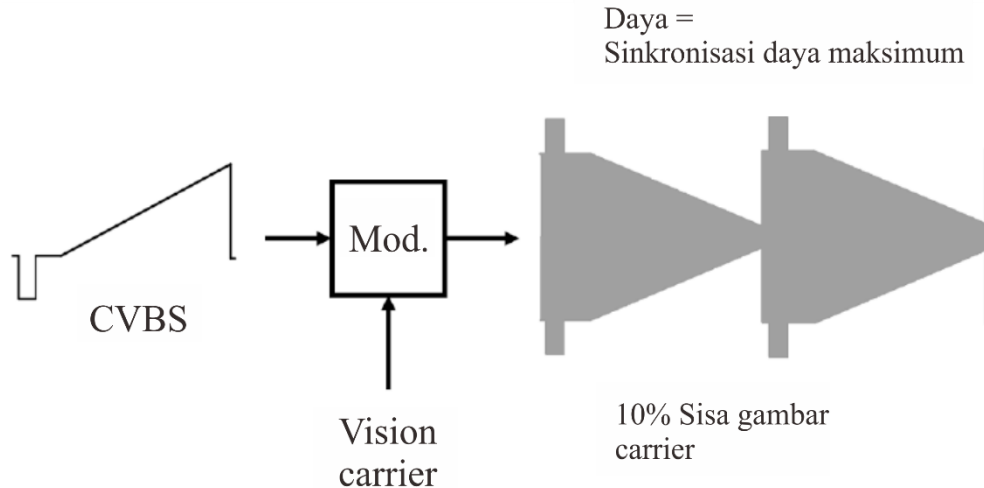
Transmisi televisi analog sekarang dimatikan di sebagian besar negara.

Dalam transmisi terrestrial sinyal TV analog, dan melalui kabel, metode modulasi yang digunakan adalah modulasi amplitudo, dalam banyak kasus dengan modulasi negatif. Modulasi positif hanya digunakan dalam French Standard L.

Subcarrier suara dimodulasi frekuensi dalam banyak kasus. Untuk menghemat bandwidth, pembawa visi dimodulasi VSB-AM (vestigial sideband amplitudo modulation), yaitu bagian dari spektrum ditekan oleh penyaringan band-pass. Prinsipnya ditunjukkan pada

Gambar 2.10 dan 2.11. Karena nonlinier dan rasio sinyal/noise yang rendah pada link transmisi, modulasi frekuensi digunakan dalam transmisi satelit.

Karena jalur transmisi analog ini semakin kehilangan signifikansinya, hal ini tidak akan dibahas secara lebih rinci dalam buku ini dan sebagai gantinya pembaca dirujuk ke literatur yang sesuai.



Gambar 2.11 Modulator penglihatan

2.5. Distorsi dan Interferensi

Di seluruh link transmisi, sinyal video analog dipengaruhi oleh sesuatu yang memiliki efek langsung pada kualitasnya dan langsung terlihat dalam banyak kasus. Distorsi dan interferensi ini secara kasar dapat dikelompokkan dalam kategori berikut:

- Distorsi linier (amplitudo dan distorsi fase)
- Distorsi non-linear
- Noise
- Gangguan Intermodulasi

Distorsi linier disebabkan oleh komponen elektronik pasif dan aktif. Amplitudo atau penundaan grup tidak lagi konstan pada rentang frekuensi tertentu yaitu 0 ... 5 MHz dalam kasus video. Bagian-bagian rentang frekuensi yang relevan terdistorsi ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil, tergantung pada karakteristik link transmisi yang terlibat. Akibatnya, komponen sinyal tertentu dari sinyal video dibulatkan. Efek terburuknya adalah pembulatan denyut sinkronisasi yang menyebabkan masalah sinkronisasi pada penerima TV seperti, misalnya "menarik" horizontal atau "menggulung" gambar dari atas ke bawah. Istilah-istilah ini telah dikenal sejak masa awal televisi.

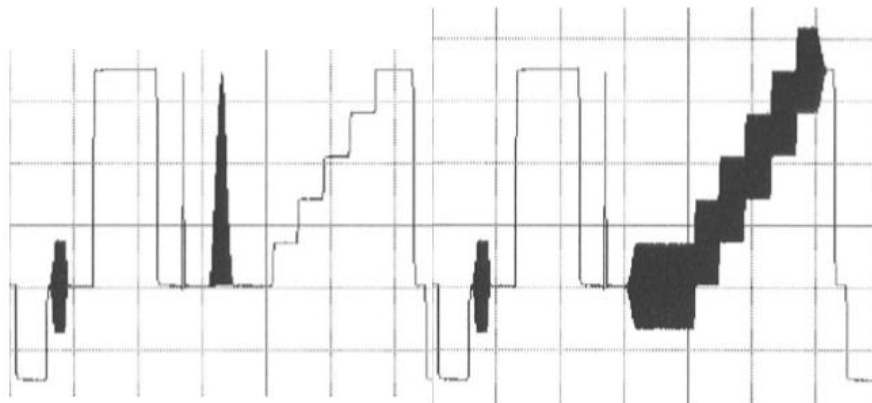
Mengubah kepala dari bidang ke bidang menghasilkan efek serupa di tepi atas gambar dengan beberapa perekam video lama, gambarnya "menarik/pulling".

Efek ini menjadi relatif jarang berkat teknologi receiver modern dan teknik transmisi yang relatif baik. Di area gambar aktif, distorsi linier memanifestasikan dirinya baik sebagai kurangnya definisi, dering, distorsi optik, atau perpindahan gambar berwarna sehubungan dengan gambar luminance.

Distorsi nonlinier dapat dikelompokkan menjadi

- Nonlinier statis
- Keuntungan diferensial
- Fase diferensial

Dengan distorsi non-linier, baik langkah abu-abu maupun subcarrier warna tidak direproduksi dengan benar dalam amplitudo dan fase. Distorsi non-linier disebabkan oleh komponen aktif (tabung pemancar, transistor) di link transmisi. Namun, itu hanya terlihat pada akhirnya ketika banyak proses ditambahkan bersama karena mata manusia sangat toleran dalam hal ini. Dengan kata lain: "Meskipun ini bukan langkah abu-abu yang tepat, siapa yang tahu?". Dan di televisi berwarna, efek ini kurang menonjol, dalam hal apa pun, karena cara warna ditransmisikan, terutama dengan PAL.



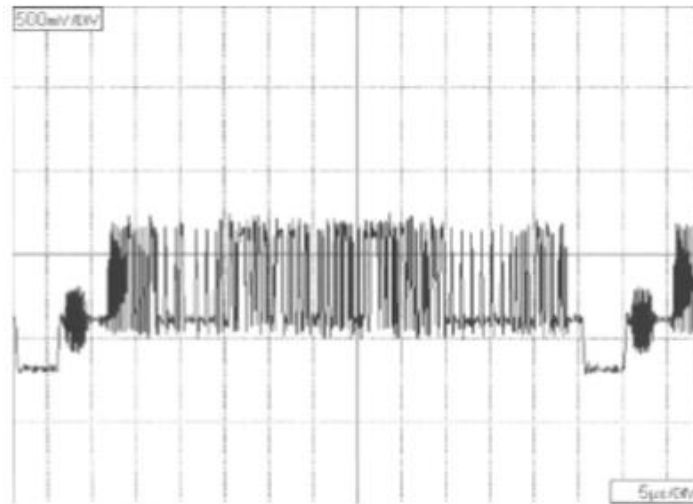
Gambar 2.12 Jalur uji CCIR 17 dan 330

Salah satu efek yang paling terlihat adalah pengaruh gangguan seperti noise. Ini hanya dihasilkan oleh superimposisi noise gaussian yang selalu ada, yang tingkatnya hanya merupakan pertanyaan tentang pemisahannya dari tingkat sinyal yang berguna. Yaitu, jika level sinyal terlalu rendah, noise menjadi terlihat. Tingkat noise termal dapat ditentukan dengan cara sederhana melalui konstanta Boltzmann, bandwidth channel yang berguna, dan suhu lingkungan normal dan dengan demikian hampir merupakan konstanta tetap. Noise langsung terlihat dalam sinyal video analog yang merupakan perbedaan besar dibandingkan dengan televisi digital.

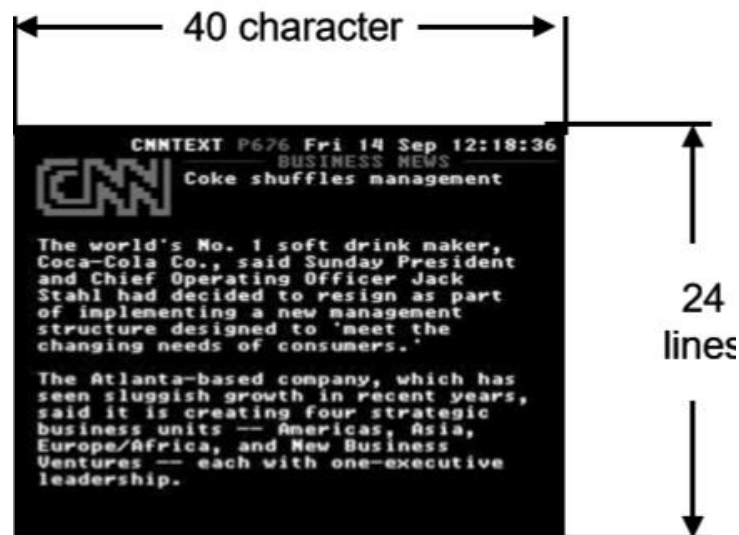
Produk intermodulasi dan interferensi juga sangat jelas terlihat pada sinyal video dan memiliki efek yang sangat mengganggu, yaitu membentuk pola moiré pada gambar. Efek ini adalah hasil dari heterodyning dari sinyal video dengan produk pengganggu baik dari channel yang berdekatan atau pengganggu yang memasuki spektrum yang berguna langsung dari lingkungan. Jenis gangguan ini adalah yang paling terlihat dan dengan demikian juga menyebabkan gangguan terbesar dalam keseluruhan kesan gambar. Ini juga paling terlihat di televisi kabel karena sifatnya yang multichannel.

2.6. Sinyal dalam Interval Pengosongan Vertikal

Sejak pertengahan tahun tujuh puluhan, interval pengosongan vertikal, yang semula digunakan untuk flyback vertikal, tidak lagi hanya "kosong" atau "hitam". Pada awalnya, apa yang disebut VITS (sinyal uji penyisipan vertikal/*vertical insertion test signals*), atau jalur uji, dimasukkan di sana yang dapat digunakan untuk menilai kualitas sinyal video analog. Selain itu, teleteks dan jalur data dapat ditemukan di sana. Jalur uji digunakan untuk memantau kualitas transmisi tautan atau bagian transmisi TV secara virtual tanpa harus mengisolasi tautan. Jalur uji ini berisi sinyal uji yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi penyebab gangguan.

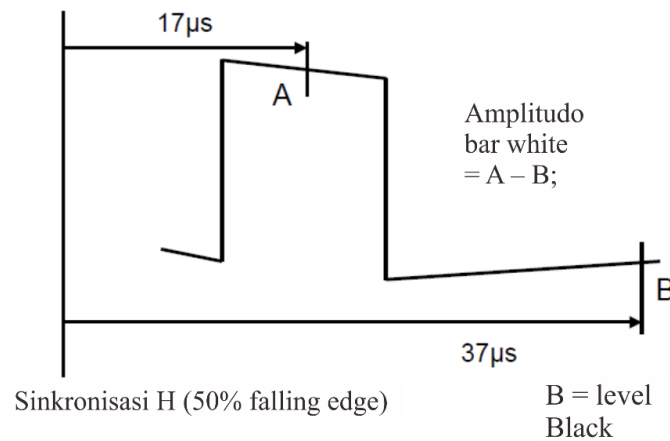


Gambar 2.13 Garis teleteks



Gambar 2.14 Halaman Teleteks

Jalur uji "CCIR 17" (sekarang: ITU 17) dimulai dengan apa yang disebut denyut putih (batang) dan digunakan sebagai referensi tegangan teknis untuk 100% putih. Amplitudo nominalnya adalah 700 mV. Komponen utama spektrumnya meluas ke ujung channel luminansi 5 MHz. Ini bereaksi sangat sensitif terhadap respons amplitudo dan distorsi penundaan grup dari 0...5 MHz dan dengan demikian dapat digunakan untuk menilai distorsi linier baik secara visual maupun dengan pengukuran. Denyut berikutnya adalah denyut 20T, denyut $\cos^2$ dengan subcarrier warna yang ditumpangkan dan dengan periode setengah amplitudo $20T = 20 \cdot 100 \text{ ns} = 2 \mu\text{s}$. Ini dengan jelas menunjukkan distorsi linier channel warna sehubungan dengan channel pencahayaan.

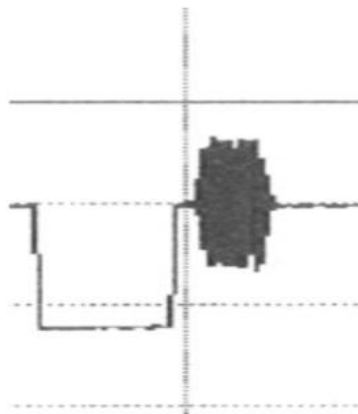


Gambar 2.16 Mengukur amplitudo bilah putih

Distorsi linier channel warna sehubungan dengan channel pencahayaan adalah

- Penguatan diferensial channel warna sehubungan dengan channel luminance
- Penundaan luminance-chrominance yang disebabkan oleh penundaan grup

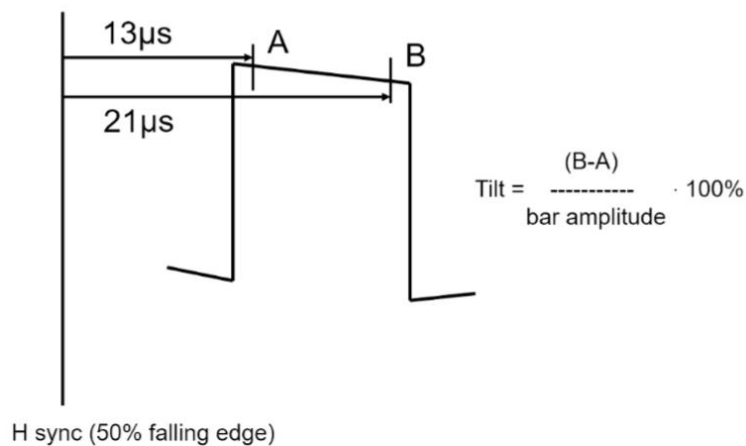
Distorsi non-linier dapat dengan mudah diidentifikasi melalui skala abu-abu 5 langkah. Semua lima langkah harus memiliki ketinggian yang sama. Jika semuanya tidak memiliki ketinggian yang sama karena nonlinier, ini disebut nonlinier statis (nonlinier luminance). Pada jalur uji 330, skala abu-abu diganti dengan tangga di mana subcarrier warna ditumpangkan. Ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi efek non-linier pada pembawa warna seperti amplitudo dan fase diferensial. Semburan warna yang ditumpangkan pada tangga harus idealnya memiliki amplitudo yang sama dan tidak boleh memiliki diskontinuitas fase pada titik transisi anak tangga.



Gambar 2.17 Denyut sinkronisasi dan burst (ledakan)

Teletext sudah dikenal sekarang. Ini adalah layanan data yang ditawarkan di televisi analog. Kecepatan data sekitar 6,9 Mbit/s, tetapi hanya di area garis yang benar-benar digunakan dalam interval pengosongan vertikal. Pada kenyataannya, kecepatan data jauh lebih rendah misalnya 260 kbit/s. Dalam setiap baris teletext, 40 karakter yang berguna ditransmisikan. Sebuah halaman teletext terdiri dari 40 karakter kali 24 baris. Jika seluruh interval pengosongan vertikal akan digunakan, hanya satu halaman teletext yang dapat ditransmisikan per bidang. Teletext ditransmisikan dalam kode NRZ (non-return-to-zero). Garis teletext dimulai dengan run-in sepanjang 16-bit, urutan dari 10101010... untuk menyinkronkan fase dekoder teletext di penerima. Langkah ini diikuti oleh kode pembingkai. Angka heksadesimal 0xE4 ini menandai awal dari teletext yang

aktif. Setelah majalah dan nomor baris, lalu 40 karakter baris teleteks ditransmisikan. Satu halaman teleteks terdiri dari 24 baris teks.



Gambar 2.18 Kemiringan pada bilah putih

Menurut DVB, sinyal-sinyal dari interval pengosongan vertikal ini "disalurkan" melalui Transport stream MPEG-2 dan sebagian diregenerasi di penerima untuk mempertahankan kompatibilitas dengan televisi analog. Namun, sinyal jalur uji tidak lagi tersedia.

2.7. Pengukuran Sinyal Video Analog

Sinyal video analog telah diukur sejak awal era TV, awalnya dengan osiloskop sederhana dan vectorscopes dan kemudian dengan penganalisa video yang lebih rumit, model terbarunya adalah digital. Pengukuran video ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi distorsi sinyal video analog. Parameter uji berikut ditentukan dengan bantuan garis uji:

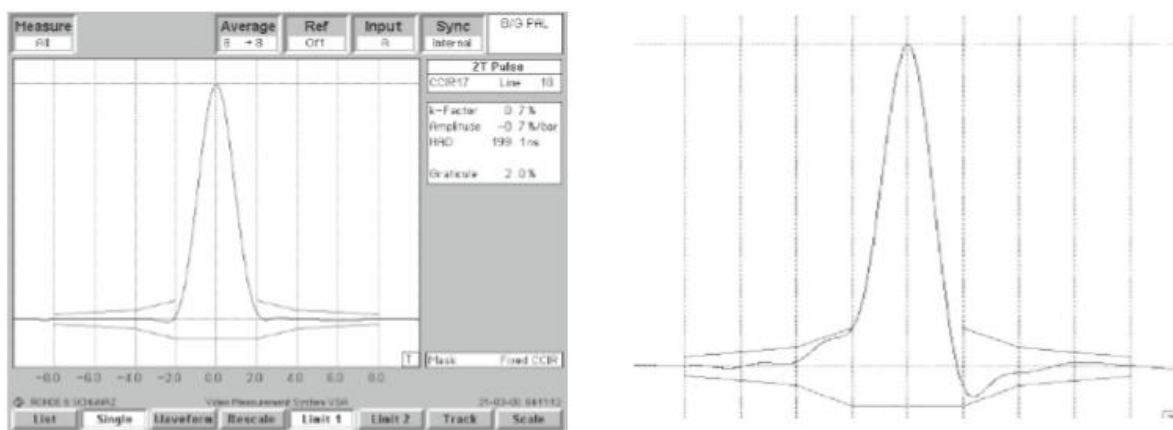
- Amplitudo bilah putih
- Amplitudo sinkronisasi
- Amplitudo ledakan
- Kemiringan pada bilah putih
- Amplitudo denyut 2T
- Faktor 2T K
- Amplitudo luminance-chrominance pada denyut 20T
- Penundaan luminance-chrominance pada denyut 20T
- Nonlinier statis pada skala abu-abu
- Penguatan diferensial pada skala abu-abu dengan subcarrier warna
- Fase diferensial pada skala abu-abu dengan subcarrier warna
- Rasio sinyal/noise tertimbang dan tidak berbobot
- Senandung

Selain itu, penerima uji TV analog juga memberikan informasi tentang:

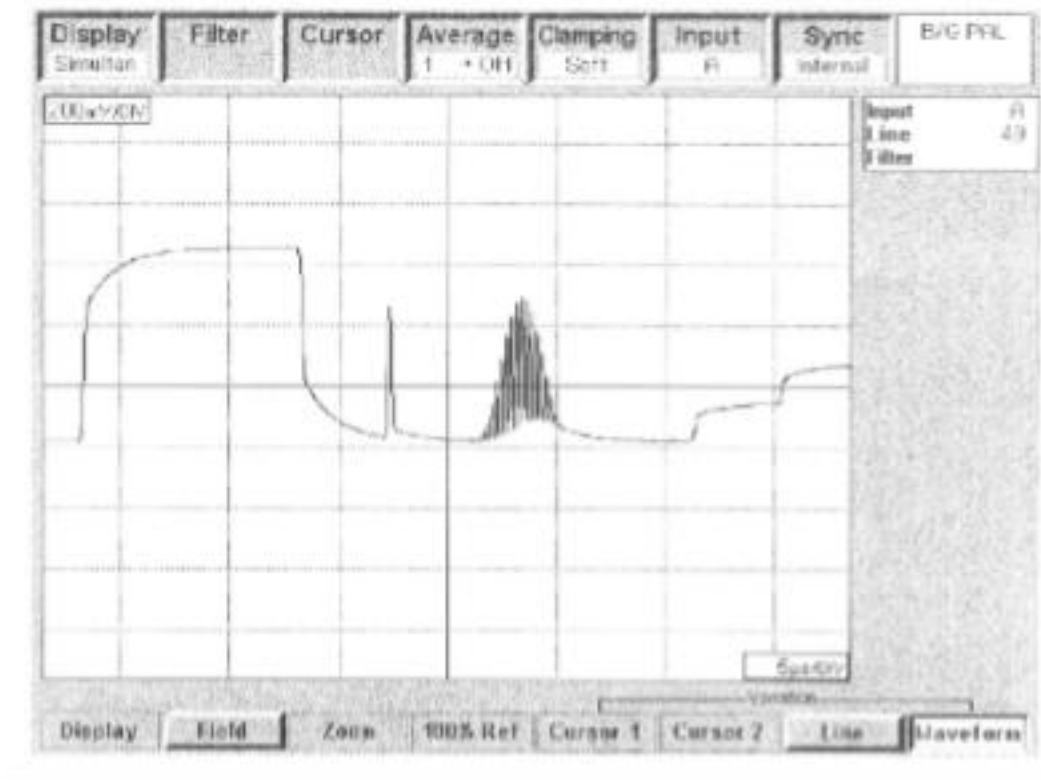
- Tingkat pembawa visi
- Tingkat pembawa suara
- Penyimpangan pembawa suara
- Frekuensi penglihatan dan pembawa suara
- Pembawa gambar sisa
- ICPM (Incidental phase modulation/modulasi fase insidental)

Parameter terpenting yang diukur pada sinyal TV analog adalah amplitudo bilah putih yang diukur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Dalam kasus terburuk, bilah putih juga bisa sangat membulat karena distorsi linier, seperti yang ditunjukkan pada gambar. Amplitudo sinkronisasi digunakan sebagai referensi tegangan di terminal dan sangat penting untuk alasan ini. Amplitudo sinkronisasi secara nominal adalah 300 mV di bawah hitam. Nilai 50% tepi jatuh dari denyut sinkronisasi dianggap sebagai referensi waktu dalam sinyal video analog. Ledakan (burst) digunakan sebagai tegangan dan referensi fasa untuk subcarrier warna. Amplitudonya 300mV_{pp}. Dalam praktiknya, distorsi amplitudo burst memiliki sedikit pengaruh pada kualitas gambar.

Distorsi linier menyebabkan kemiringan pada bilah putih. Ini juga merupakan parameter pengujian yang penting. Untuk mengukurnya, batang putih diambil sampelnya di awal dan di akhir dan dihitung selisihnya yang kemudian dikaitkan dengan amplitudo denyut putih.



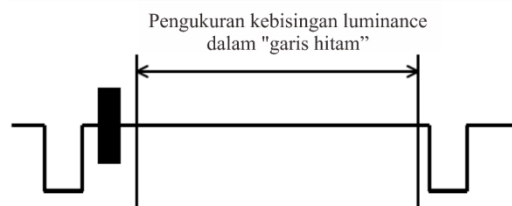
Gambar 2.19 Denyut 2T tidak terdistorsi (kiri) dan terdistorsi (kanan)



Gambar 2.20 Denyut putih terdistorsi linier, denyut 2T, dan denyut 20T

Denyut 2T bereaksi secara sensitif terhadap distorsi linier di seluruh channel transmisi yang relevan. Gambar 2.19 menunjukkan denyut 2T yang tidak terdistorsi di sebelah kiri. Ini telah digunakan sebagai sinyal uji untuk mengidentifikasi distorsi linier sejak tahun tujuh puluhan. Denyut 2T diubah oleh distorsi linier juga ditunjukkan di sebelah kanan pada Gambar. 2.19. Jika distorsi denyut 2T simetris, itu disebabkan oleh kesalahan respons amplitudo. Jika denyut 2T tampak tidak simetris, maka disebabkan oleh kesalahan grup delay (respons fase non-linear).

Denyut 20T dibuat khusus untuk pengukuran dalam channel warna. Ini segera bereaksi terhadap perbedaan antara luminance dan chrominance. Perhatian khusus harus diberikan pada bagian bawah denyut 20T. Bagian itu harus lurus, tanpa jenis lekukan apa pun. Dalam kasus yang ideal, denyut 20T, sebagaimana denyut 2T, harus memiliki besar yang sama dengan denyut putih (nominal 700 mV).



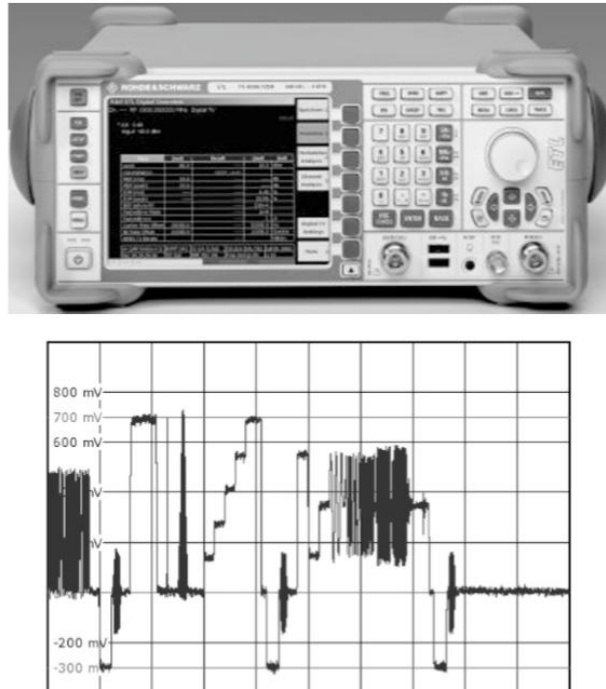
Gambar 2.21 Pengukuran noise luminance dalam "garis hitam"



Gambar 2.22 Peralatan uji dan pengukuran video analog: generator sinyal uji video dan penganalisis video (Rohde&Schwarz SAF dan VSA)

Nonlinier dapat mendistorsi sinyal video dalam ketergantungan terhadap modulasi. Ini dapat dilihat dengan baik pada sinyal tangga. Untuk tujuan ini, skala abu-abu dan tangga dengan subcarrier warna diperkenalkan sebagai sinyal uji, langkah-langkahnya hanya ukuran yang berbeda dengan adanya nonlinier. Noise dan intermodulasi dapat diverifikasi paling baik dalam garis hitam. Dalam kebanyakan kasus, baris 22 atau baris 6 tetap bebas dari informasi dalam hal tujuan ini, tetapi ini tidak diperlukan lagi, karena baris ini membawa teletext dalam banyak kasus. Untuk mengukur efek ini, hanya perlu mencari baris kosong yang cocok untuk tujuan ini di antara 625 atau 525 baris dan hal ini berbeda pada masing-masing program.

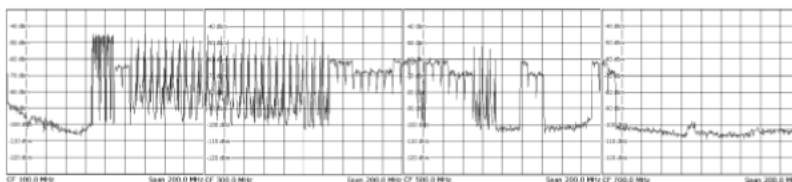
Di televisi digital, pengujian jalur tes sekarang hanya masuk akal untuk menilai awal (peralatan studio) dan akhir (penerima) dari link transmisi. Di antara - pada tautan transmisi yang sebenarnya - tidak ada yang terjadi yang dapat diverifikasi dengan cara ini. Pengukuran yang sesuai pada link transmisi digital akan dijelaskan secara rinci pada bab-bab berikutnya.



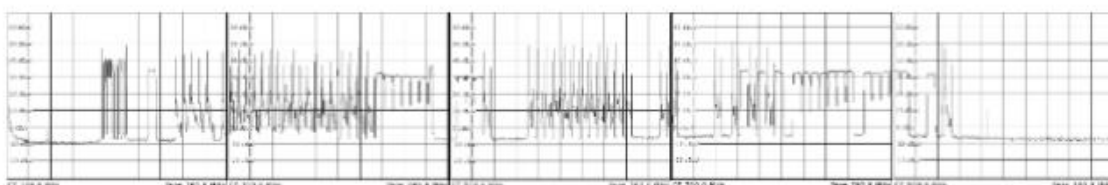
Gambar 2.23 Analyzer Rohde&Schwarz ETL untuk pengukuran TV analog dan digital; ETL menawarkan fungsionalitas penganalisis spektrum dan pengukuran TV analog dan digital

2.8. TV Analog dan Digital dalam Jaringan Kabel Broadband

Di beberapa daerah masih terdapat TV analog dan digital serta radio FM dalam jaringan kabel broadband. Artinya TV analog masih menjadi topik pembicaraan hingga saat ini. Gambar 2.23. dan 2.24. menunjukkan contoh lama campuran audio FM analog dan channel TV analog dan digital dalam jaringan kabel broadband (tahun 2008, Jerman dan Austria).



Gambar 2.24 Channel kabel pita lebar analog dan digital (contoh Munich, Jerman, 0 ... 800 MHz, tahun 2008)



Gambar 2.25 Channel kabel pita lebar analog dan digital (contoh Klagenfurt, Austria, 0 ... 1000 MHz, tahun 2008)

BAB 3

DATA STREAM MPEG

MPEG merupakan singkatan dari *Moving Pictures Experts Group*, artinya MPEG umunya berhubungan dengan transmisi digital dari gambar bergerak. Namun, sinyal data yang ditentukan dalam Standar MPEG-2 juga dapat secara umum membawa data yang tidak ada hubungannya sama sekali dengan video dan audio dan dapat berupa data internet.

MPEG = Moving Pictures Expert Group				
MPEG-1 Part1: systems ISO/IEC11172-1 "PES layer"	MPEG-2 Part1: systems ISO/IEC13818-1 "Transportation"	MPEG-4 Part1: systems ISO/IEC14496	MPEG-7 Metadata, XML based ISO/IEC15938 "Multimedia Content Description Interface"	MPEG-21 additional "tools" ISO/IEC21000
Part2: video ISO/IEC11172-2	Part2: video ISO/IEC13818-2	Part2: video ISO/IEC14496-2		
Part3: audio ISO/IEC11172-3	Part3: audio ISO/IEC13818-3	Part3: audio (AAC) ISO/IEC14496-3		further ... MPEG-A MPEG-B MPEG-C MPEG-D
	Part6: DSM-CC ISO/IEC13818-6 Part7: AAC ISO/IEC13818-7	Part10: video (AVC, H.264) ISO/14496-10		... MPEG-H MPEG-DASH

Gambar 3.1 Standar MPEG

Seperti dalam Standar MPEG itu sendiri, pertama-tama struktur umum sinyal data MPEG akan dijelaskan secara terpisah dari video dan audio. Pemahaman tentang struktur sinyal data juga lebih penting dalam praktik dibandingkan dengan pemahaman rinci tentang pengkodean video dan audio yang akan dibahas nanti. Sinyal data ini biasanya membawa beberapa atau banyak program yang masing-masing terdiri dari video, audio, dan data stream sinkronisasi gerak bibir. Ini disebut Transport stream MPEG-2. Semua codec MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, dll yang berbeda itu dapat dicampur dan diangkut dalam aliran transpor MPEG-2 tersebut. Hanya ada Transport stream MPEG-2 dan tidak ada Transport stream MPEG-4.

3.1. MPEG-Standar dan Aplikasinya

Pada tahun 1992, MPEG-1 diciptakan sebagai standar pertama untuk pengkodean gambar bergerak disertai dengan suara. Tujuannya adalah untuk mencapai kualitas gambar yang mendekati VHS pada kecepatan data CD ($<1,5$ Mbit/dtk). MPEG-1 disediakan hanya untuk aplikasi pada media penyimpanan (CD, hard disk) dan bukan untuk transmisi (broadcasting) dan struktur datanya sesuai dengan tujuan ini. Pengkodean audio dan video MPEG-1 cukup mirip dengan MPEG-2 dan semua algoritma dan metode dasar sudah tersedia. Terdapat dua frame untuk I, P dan B, yaitu prediksi maju dan mundur, dan tentu saja ada metode pengurangan ketidakrelevanan berbasis DCT yang sudah ditemukan di JPEG. Resolusi gambar terbatas pada sekitar setengah dari resolusi VGA (352 x 288). Selain itu, tidak ada kebutuhan untuk pengkodean lapangan (metode pemindaian interlaced). Dalam MPEG-1, hanya ada Program Stream (PS) yang terdiri dari paket-paket audio dan video (*packetized elementary stream/PES*). Paket PES audio dan video dengan panjang variabel (maks 64 kbytes) dirakit secara sederhana dan disisipkan sesuai dengan kecepatan data saat ini untuk membentuk data stream.

Data stream ini tidak diproses lebih lanjut karena hanya dimaksudkan untuk disimpan

pada media penyimpanan dan tidak digunakan untuk transmisi. Sejumlah paket PES audio dan video digabungkan untuk membentuk apa yang disebut paket yang terdiri dari header dan payload seperti paket PES itu sendiri. Paket sering didasarkan pada ukuran sektor data fisik dari media penyimpanan.

Dalam MPEG-2, metode pengkodean dikembangkan lebih lanjut ke arah resolusi yang lebih tinggi dan kualitas yang lebih baik. Selain itu, transmisi juga dipertimbangkan, selain penyimpanan data tersebut. MPEG-2 transport stream adalah lapisan transportasi, yaitu menyediakan struktur paket yang jauh lebih kecil dan mekanisme multiplexing yang lebih luas. Di MPEG-1, hanya ada satu program (hanya satu film), sedangkan MPEG-2 dapat menampung datastream multipleks hingga 20 program dan lebih.

Selain *Standard Definition TV* (SDTV), MPEG-2 juga mendukung *High Definition TV* (HDTV). MPEG-2 digunakan di seluruh dunia sebagai sinyal baseband digital dalam penyiaran.

Video CD (VCD) berisi sinyal data berkode MPEG-1 sebagai aliran program, yaitu ada satu program yang terdiri dari paket-paket PES yang dimultipleks. Total kecepatan data sekitar 1,5 Mbit/s. Banyak salinan film bajakan tersedia sebagai Video CD dan melalui unduhan dari internet atau dibeli di pasar Asia.

Super Video CD (SVCD) membawa sinyal data MPEG-2 yang dikodekan dengan 2,4 Mbit/s, juga sebagai aliran program dengan paket PES multipleks. Sebuah Super Video CD kira-kira sesuai dengan kualitas tipe VHS, terkadang bahkan lebih baik.

Pada DVD (*Digital Versatile Disk* - BUKAN 'Digital Video Disk'), materi data berkode MPEG-2 dengan kecepatan data hingga 10,5 Mbit/s dan menunjukkan kualitas gambar yang jauh lebih baik daripada yang direkam pada pita VHS. DVD juga membawa datastream PES yang dimultipleks. Subtitle dan banyak tambahan lain lagi juga dimungkinkan. DVD ditujukan untuk berbagai aplikasi termasuk video, audio, dan data. Berbeda dengan CD (sekitar 700 Mbytes), volume data pada DVD hingga 17 Gbytes dan dimungkinkan untuk memiliki 1, 2 atau 4 lapisan dengan 4,7 Gbytes per lapisan (lihat tabel di bawah).

Tabel 3.1. Jenis-jenis DVD

Jenis	Sisi	Lapisan/ sisi	Data [Gbyte]	x CD-ROM
DVD 5	1	1	4.7	7
DVD 9	1	2	8.5	13
DVD 10	2	1	9.4	14
DVD 18	2	2	17.1	25

Data teknis DVD Video:

- Kapasitas penyimpanan: 4,7 hingga 17,1 Gbyte
- Video MPEG-2 dengan kecepatan data variabel, maks video 9,8 Mbit/s.

Suara:

- Linear PCM (LPCM) dengan frekuensi sampling 48 kHz atau 96 kHz pada resolusi 16, 20, atau 24 bit
- Audio MPEG (MUSICAM) mono, stereo, suara 6 channel (5.1), suara 8 channel (7.1)
- Dolby Digital (AC3) mono, stereo, suara 6 channel (5.1)

Tabel 3.2. Standar video digital

Standar	Pengkodean Video	Resolusi	Kecepatan data video[Mbit/dtk]	Jumlah kecepatan data [Mbit/dtk]
MPEG-1	MPEG-1	352x288 192x144 384x288	0,150 - (1.150) - 3.0	maks. kira-kira 3.5 (1.4112)
MPEG-2	MPEG-2	720x576 (SDTV, 25 frame per second)Resolusi berbeda hingga HDTV	hingga 15	pada dasarnya terbuka, dari antarmuka hingga 270
MPEG-4	MPEG-4 Bagian 2 dan Bagian 10 (H.264) MPEG-1			
Video CD		352x288	1.150	1.4112
SuperVCD	MPEG-2	480x576	2.4	2.624
VideoDVD	MPEG-2	720x576	hingga 9,8,variabel	10.5
MiniDV	VarianMJPEG	720x576	25	kira-kira 30
DVPro	VarianMJPEG	720x576	25/50	kira-kira 30/55
Cakram Blu-ray	MPEG-2,MPEG-4 AVC,VC-1	1920x1080 (3840 x 2160)		36

Selain MPEG, ada juga metode kepemilikan berdasarkan JPEG yang semuanya memiliki kesamaan bahwa materi video hanya berkode DCT dan tidak berkode interframe. Baik DV dan MiniDV adalah metode tersebut. MiniDV telah banyak digunakan di bidang kamera video rumahan dan telah merevolusi bidang ini sehubungan dengan kualitas gambar. Kecepatan datanya adalah total 3,6 Mbyte/s atau memiliki kecepatan data video 25 Mbit/s. Ukuran gambarnya adalah 720 x 576 piksel, sama seperti pada MPEG-2, dengan 25 frame per detik. MiniDV dapat diedit kapan saja karena hampir hanya terdiri dari bingkai yang sebanding dengan bingkai I. DVCPro adalah kakak dari MiniDV. DVCPro adalah standar studio dan mendukung kecepatan data video 25 dan 50 Mbit/s. Kecepatan data 25 Mbit/s sesuai dengan format MiniDV. DVCPro dan MiniDV adalah varian khusus dari Motion JPEG. Berbeda dengan MPEG, tidak ada tabel quantizer yang ditransmisikan, begitu pula faktor skala quantizer yang bervariasi dari makroblok ke blok makro. Sebagai gantinya, satu set tabel kuantisasi disediakan secara lokal, dari di mana pembuat kode memilih salah satu yang paling cocok dari macroblock ke macroblock lain. MiniDV dan DVPro menunjukkan kualitas gambar yang sangat baik pada kecepatan data yang relatif tinggi dan mudah untuk post proses. Perangkat lunak pengeditan rumah untuk PC tersedia dengan biaya sekitar 100 Euro dan menyediakan fungsi yang hanya tersedia untuk para profesional beberapa tahun yang lalu. Terlepas dari pengeditan aktual, yang sekarang bebas dari kerugian dan mudah ditangani, perangkat lunak ini juga memungkinkan materi video dikodekan dalam MPEG-1, MPEG-2, VCD, SVCD, video DVD, Blu-ray atau hanya MPEG- 4/AVC atau format file HEVC.

MPEG-4 dibuat menjadi standar pada tahun 1999. Pada awal milenium baru, standar kompresi video baru H.264 dikembangkan dan distandarisasi. Dibandingkan dengan MPEG-2, metode ini lebih efektif dengan faktor 2 hingga 3 dan dengan demikian memungkinkan kecepatan data yang lebih rendah dengan faktor 2 hingga 3, seringkali bahkan dengan kualitas gambar yang ditingkatkan. Standar yang relevan adalah ITU-T H.264. H.264 juga telah dimasukkan dalam kelompok standar MPEG-4 sebagai MPEG-4 Bagian 10.

Dokumen standar terpenting yang tercakup dalam heading MPEG-4 adalah:

- MPEG-4 Bagian 1 – Sistem, ISO/IEC 14496-1
- MPEG-4 Bagian 2 – Pengodean Video, ISO/IEC 14496-2
- MPEG-4 Bagian 3 – Pengodean Audio, ISO/IEC 14996-3
- MPEG-4 Bagian 10 – Pengodean Video Tingkat Lanjut H.264. ISO/IEC 14496-10

MPEG-4 Bagian 10 – Advanced Video Coding (AVC) digunakan untuk aplikasi HDTV di Eropa sebagai bagian dari proyek DVB. Sedangkan HDTV membutuhkan kecepatan data sekitar 15 Mbit/dtk untuk sinyal video dengan MPEG-2, ini adalah sekitar 9 Mbit/dtk atau bahkan lebih rendah bila dikodekan sebagai sinyal AVC MPEG-4.

MPEG-7, sebaliknya dan sebagai suplemen untuk MPEG-2 dan -4, secara eksklusif menangani data terkait program, yang disebut meta-data, sebagai pelengkap MPEG-2 dan MPEG-4. Tujuannya adalah untuk menyimpan informasi latar belakang untuk sebuah program dengan bantuan struktur data berbasis XML dan HTML bersama dengan program tersebut. MPEG-7 telah menjadi standar sejak 2001 tetapi belum memulai debutnya dalam praktik, setidaknya untuk pengguna downstream (end user).

MPEG-21 akan diubah menjadi standar penuh pada tahun 2003 dan dimaksudkan untuk memuat alat dan metode untuk melengkapi semua standar MPEG lainnya (termasuk aplikasi end-user-to-end-user, misalnya melalui internet). Tetapi tidak jelas apa yang terjadi setelahnya.

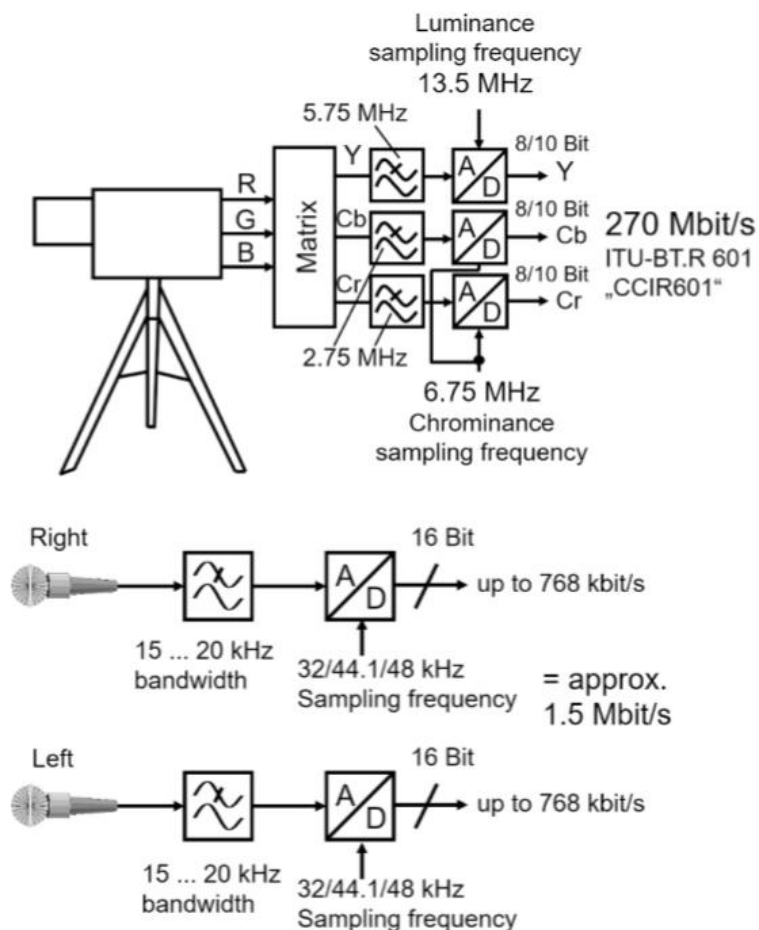
Setelah 2010 ada standar MPEG lebih lanjut yang diterbitkan yang tidak lagi diberi nama dengan angka tetapi dengan karakter sebagai berikut

- MPEG-A ISO/IEC 23000
- MPEG-B ISO/IEC 23001
- MPEG-C ISO/IEC 23002
- MPEG-D ISO/IEC 23003
- MPEG-E ISO/IEC 23204
- MPEG-V ISO/IEC 23005
- MPEG-M ISO/IEC 23006
- MPEG-U ISO/IEC 23007
- MPEG-H ISO/IEC 23008 (HEVC, H.265)
- MPEG-DASH ISO/IEC 23009

Table 3.3. Standar MPEG

Standar	Keterangan	Status
MPEG-1	Gambar bergerak dan suara, kira-kira dalam kualitas VHS dengan kecepatan data CD (<1,5 Mbit/s)	Standar sejak 1992
MPEG-2	Televisi digital (SDTV+HDTV)	Standar sejak 1993
MPEG-3	Hanya ada sementara (tidak ada hubungannya dengan MP3)	tidak dapat diterapkan
MPEG-4	Multimedia, interaktif	Standar sejak 1999
MPEG-7	Program terkait data pelengkap (Meta-data)	Standar sejak 2001
MPEG-21	Alat pelengkap dan metode	
MPEG-A MPEG-B MPEG-C MPEG-D MPEG-E MPEG-V MPEG-U	Standar MPEG lebih lanjut	sejak kira-kira 2010
MPEG-H	MPEG-H, bagian 2 HEVC lihat juga H.265	Standar sejak 2013
MPEG-DASH	“Streaming Adaptif Dinamis melalui HTTP/Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH)”	Standar sejak 2012

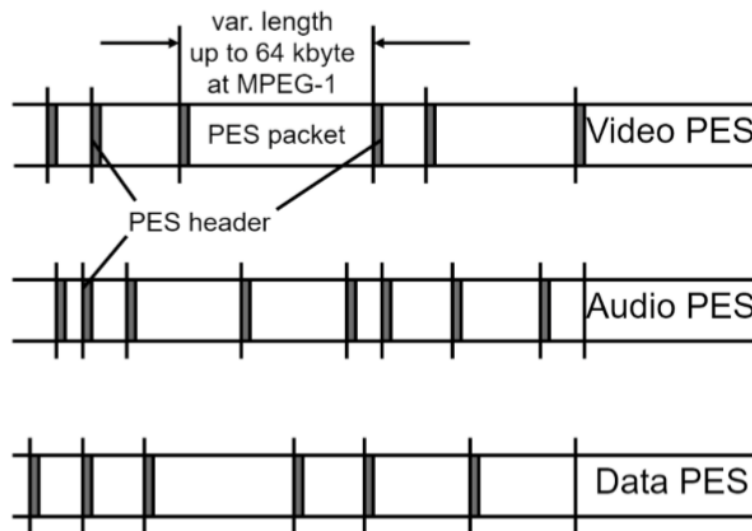
3.2. Transport Stream MPEG-2



Gambar 3.2 Sinyal data video dan audio

Meskipun demikian, deskripsi struktur sinyal data akan dimulai dengan sinyal video dan audio yang tidak terkompresi. Sinyal SDTV (*Standard Definition Television*) tanpa reduksi data memiliki kecepatan data 270 Mbit/s dan sinyal audio stereo digital dalam kualitas CD memiliki kecepatan data sekitar 1,5 Mbit/s.

Sinyal video dikompresi menjadi sekitar 1 Mbit/dtk dalam MPEG-1 dan menjadi sekitar 2 - 7 Mbit/dtk dalam MPEG-2. Kecepatan data video bisa konstan atau variabel (*multipleks statistik*). Sinyal audio memiliki kecepatan data sekitar 100- 400 kbit/dtk (kebanyakan 192 kbit/dtk) setelah kompresi (akan dibahas dalam bab terpisah) tetapi kecepatan data audio selalu konstan dan dalam kelipatan 8 kbit/dtk. Kompresi itu sendiri akan dibahas dalam bab terpisah. Sinyal video dan audio terkompresi dalam MPEG disebut "aliran dasar/*elementary streams*", singkatnya ES. Jadi ada aliran video, aliran audio dan, secara umum, *datastream*. *Datastream* berisi semua jenis data terkompresi atau tidak terkompresi. Segera setelah dikompresi (yaitu dikodekan), semua aliran dasar dibagi menjadi paket-paket panjang dalam variabel, baik dalam MPEG-1 dan MPEG-2.



Gambar 3.3 Aliran Dasar MPEG

Karena adanya kemungkinan untuk memiliki kompresi terkadang lebih banyak dan terkadang lebih sedikit tergantung pada konten video dan audio, wadah dengan panjang variabel diperlukan dalam sinyal data. Wadah ini membawa satu atau lebih frame terkompresi dalam kasus sinyal video dan satu atau lebih segmen sinyal audio terkompresi dalam kasus sinyal audio. Aliran dasar ini dibagi menjadi paket-paket yang disebut "aliran dasar yang dikemas/*packetized elementary streams*", atau disingkat PES.

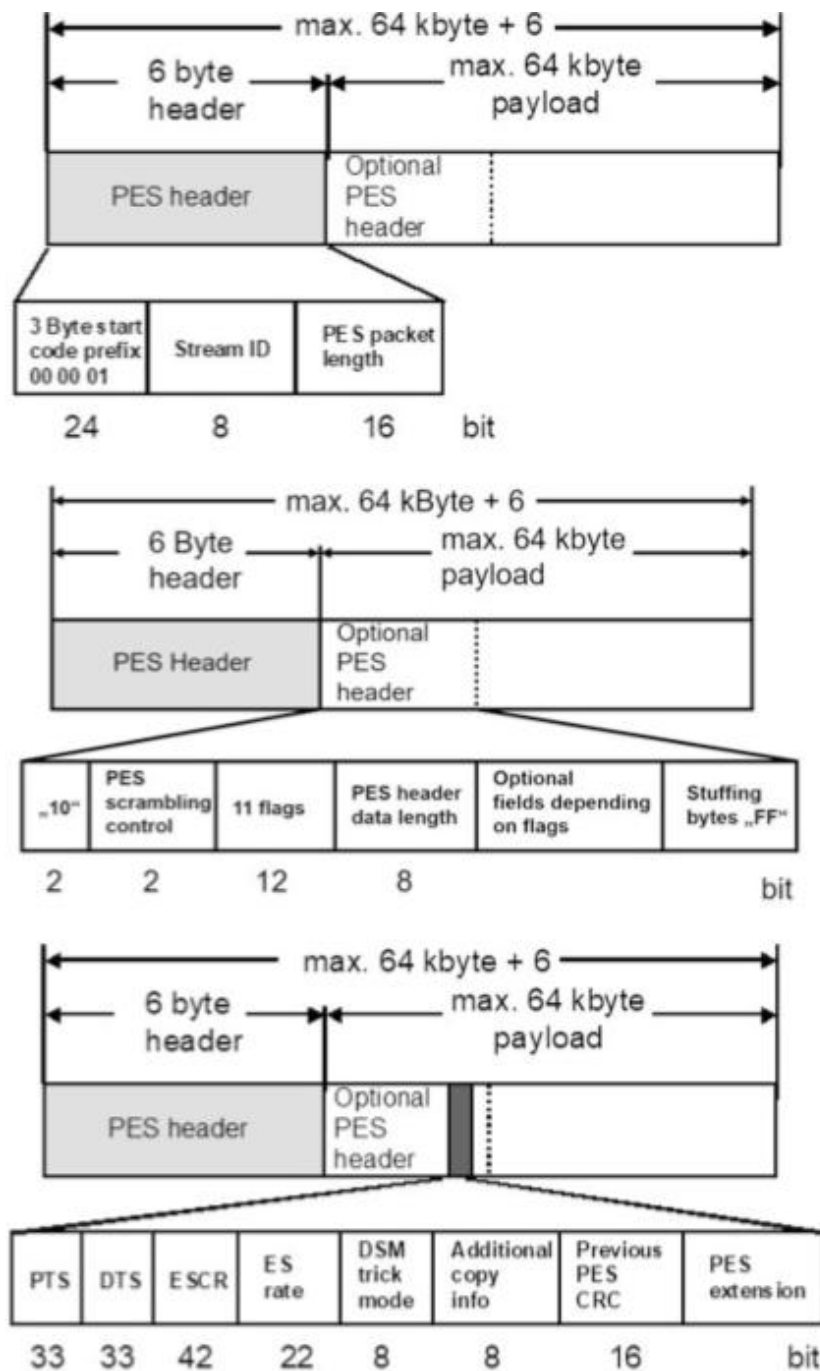
Setiap paket PES biasanya memiliki ukuran hingga 64 kbytes. Ini terdiri dari header yang relatif pendek dan *payload*. Header berisi antara lain indikator panjang 16-bit untuk panjang paket maksimum 64 kbytes. Bagian *payload* berisi aliran video dan audio terkompresi atau *datastream* murni. Namun, menurut Standar MPEG, paket video juga bisa lebih panjang dari 64 kbyte dalam beberapa kasus. Indikator panjangnya kemudian disetel ke nol dan dekoder MPEG harus menggunakan mekanisme lain untuk menemukan akhir paket.

3.3. Aliran Dasar yang Dikemas (*Packetized Elementary Stream/PES*)

Semua aliran dasar dalam MPEG pertama-tama dikemas dalam paket panjang variabel yang disebut paket PES. Paket, yang terutama memiliki panjang 64 kbyte, dimulai

dengan header PES dengan panjang minimum 6 byte. Tiga byte pertama dari header ini mewakili "awalan kode awal/start code prefix", yang isinya selalu 00 00 01 dan yang digunakan untuk mengidentifikasi awal paket PES. Byte yang mengikuti kode awal adalah "stream ID" yang menjelaskan jenis aliran dasar yang mengikuti payload. Ini menunjukkan apa yang mengikuti, apakah itu, misalnya aliran video, aliran audio atau datastream. Setelah itu ada dua byte "panjang paket" yang digunakan untuk mengatasi muatan hingga 64 kbyte. Jika kedua byte ini diset ke nol, paket PES yang memiliki panjang yang mungkin melebihi 64 kbytes dapat diperoleh. Dekoder MPEG kemudian harus menggunakan pengaturan lain untuk menemukan batas paket PES, mis. kode awal.

Setelah 6 byte header PES ini, sebuah "header PES opsional" ditransmisikan yang merupakan perpanjangan opsional dari header PES dan disesuaikan dengan persyaratan aliran dasar yang saat ini sedang ditransmisikan. Ini dikendalikan oleh 11 bendera dengan total 12 bit di header PES opsional ini. Bendera ini menunjukkan komponen mana yang benar-benar ada di "bidang opsional" di header opsional PES dan mana yang tidak. Panjang total header PES ditampilkan di kolom "PES header data length". Kolom opsional di header opsional berisi, antara lain, "Stempel Waktu Presentasi/Presentation Time Stamps" (PTS) dan "Stempel Waktu Dekode/Decode Time Stamps" (DTS) yang penting untuk menyinkronkan video dan audio. Di akhir header PES opsional mungkin juga ada byte isian. Mengikuti header PES lengkap, muatan sebenarnya dari aliran dasar adalah ditransmisikan yang biasanya dapat mencapai panjang hingga 64 kbytes atau bahkan lebih lama dalam kasus khusus, ditambah header opsional.



Kolom opsional di dalam header PES opsional

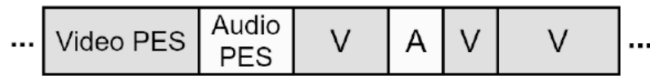
Gambar 3.4 Paket PES

Dalam MPEG-1, paket video PES secara sederhana dimultipleks dengan paket PES dan disimpan pada media data. Kecepatan data maksimum adalah sekitar 1,5 Mbit/s untuk video dan audio dan datastream hanya mencakup aliran video dan aliran audio.

Akan tetapi, "Packetized Elementary Stream" (PES) dengan struktur paket yang relatif panjang ini tidak cocok untuk transmisi dan terutama tidak untuk menyiarkan sejumlah program dalam satu sinyal data multipleks.

Di MPEG-2, di sisi lain, tujuannya adalah untuk mengumpulkan hingga 6, 10 atau bahkan 20 program TV atau radio independen untuk membentuk satu sinyal data MPEG-2 multipleks yang umum. Sinyal data ini kemudian ditransmisikan melalui satelit, kabel, atau tautan transmisi terestrial. Untuk tujuan ini, paket PES yang panjang juga dibagi

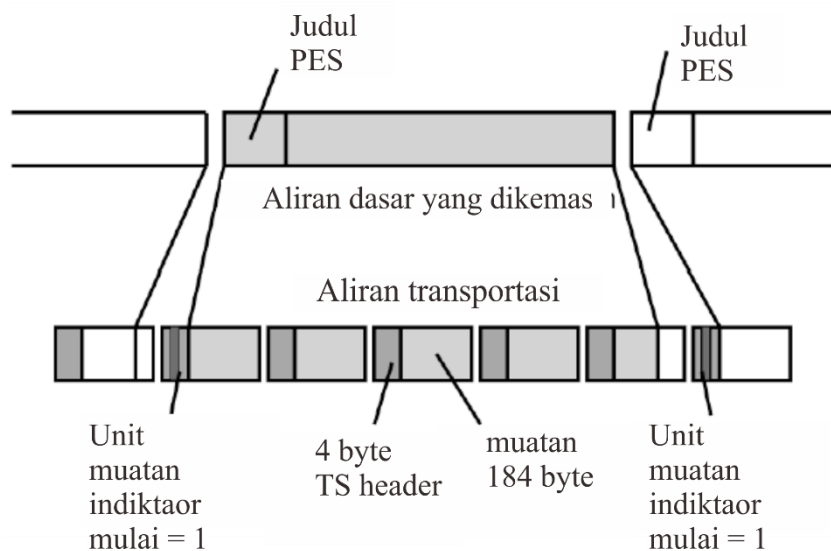
menjadi paket yang lebih kecil dengan panjang konstan. Dari paket PES, potongan sepanjang 184-byte diambil dan ke header sepanjang 4-byte ini ditambahkan, membentuk paket sepanjang 188-byte yang disebut “transport stream packets” yang kemudian dimultipleks.



Multiplex video dan audio paket PES

Pengaplikasian:
MPEG-1 Video CD
MPEG-2 SVCD
MPEG-2 Video DVD

Gambar 3.5 Paket PES yang digandakan

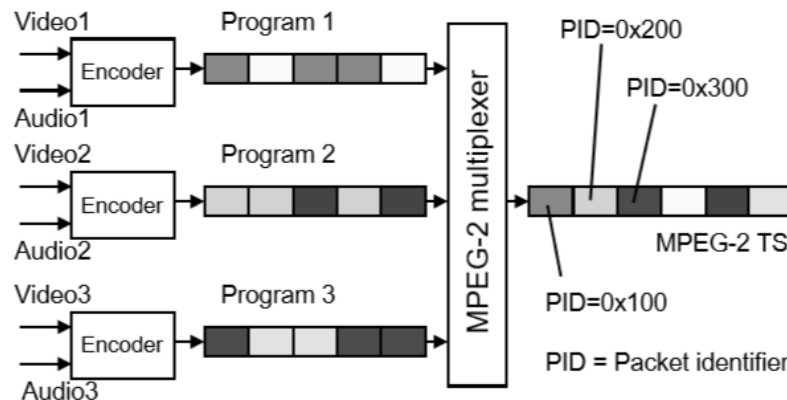


Gambar 3.6 Membentuk paket Transport stream MPEG-2

Untuk melakukan ini, pertama-tama paket aliran transportasi dari satu program dimultipleks bersama-sama. Sebuah program dapat terdiri dari satu atau lebih sinyal video dan audio dan contoh ekstrimnya adalah transmisi Formula 1 dengan sejumlah sudut kamera (trek, penonton, mobil, helikopter) dan disajikan dalam berbagai bahasa. Semua datastream multipleks dari semua program kemudian digandakan lagi dan digabungkan untuk membentuk aliran data lengkap yang disebut "MPEG-2 transport stream" (disingkat TS/transport stream).

MPEG-2 transport stream berisi paket aliran transport sepanjang 188 byte dari semua program dengan semua sinyal video, audio, dan datanya. Paket dari satu atau aliran dasar lainnya akan muncul lebih sering atau lebih jarang dalam Transport stream MPEG-2b tergantung pada kecepatan data. Untuk setiap program ada satu encoder MPEG yang mengkodekan semua aliran dasar, menghasilkan struktur PES dan kemudian mengemas paket PES ini ke dalam paket Transport stream. Kecepatan data untuk setiap program biasanya sekitar 2 - 7 Mbit/s tetapi kecepatan data agregat untuk video, audio, dan data dapat konstan atau bervariasi sesuai dengan konten program pada saat itu. Ini kemudian disebut "multipleks statistik". Transport stream dari semua program kemudian digabungkan dalam datastream MPEG-2 yang dimultipleks untuk membentuk satu

Transport stream keseluruhan yang kemudian dapat memiliki kecepatan data hingga sekitar 40...55 Mbit/s. Seringkali ada hingga 6, 8 atau 10 atau bahkan 20 program dalam satu Transport stream. Kecepatan data dapat bervariasi selama transmisi tetapi kecepatan data keseluruhan harus tetap konstan. Suatu program dapat berisi video dan audio, hanya audio (siaran audio) atau bahkan hanya data, dan strukturnya fleksibel dan juga dapat berubah selama transmisi. Untuk dapat menentukan struktur arus transportasi selama decoding, Transport stream juga membawa daftar yang menggambarkan struktur, yang disebut "tabel".

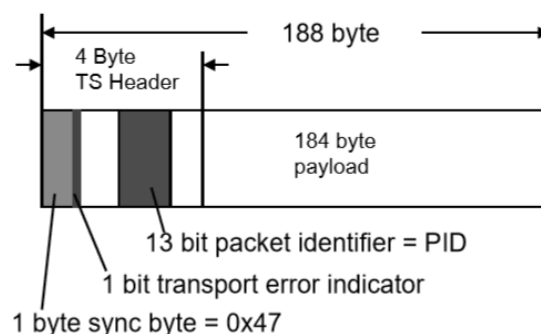


Gambar 3.7 Paket Transport stream MPEG-2 yang digandakan

3.4. Paket Transport stream MPEG-2

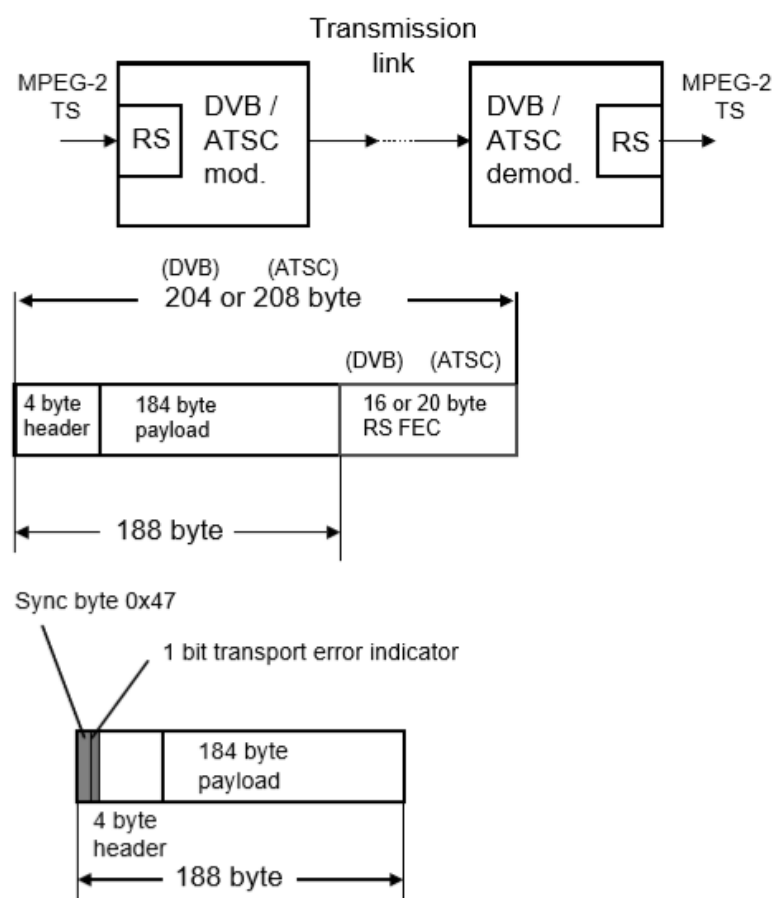
MPEG-2 transport stream terdiri dari paket-paket yang memiliki panjang konstan. Panjang ini selalu 188 byte, dengan 4 byte header dan 184 byte payload. Payload berisi video, audio atau data umum. Header berisi banyak item penting untuk transmisi paket. Byte header pertama adalah "byte sinkronisasi". Itu selalu memiliki nilai dari 47_{hex} ($0x47$ dalam sintaks C/C++) dan diberi jarak 188 byte konstan dalam Transport stream. Sangat mungkin, dan tentu saja tidak ilegal, ada byte yang memiliki nilai $0x47$ di tempat lain dalam paket; bahkan ini tidak bisa dihindari.

Sinkronisasi byte digunakan untuk menyinkronkan paket ke Transport stream dan nilainya ditambah dengan jarak konstan yang digunakan untuk sinkronisasi. Menurut MPEG, sinkronisasi pada dekoder terjadi setelah lima paket Transport stream diterima. Komponen penting lainnya dari Transport stream adalah "pengidentifikasi paket" 13 bit atau disingkat PID (packet identifier). PID menjelaskan konten yang ada saat itu dari bagian payload dari paket itu. Angka 13 bit heksadesimal dalam kombinasi dengan tabel yang juga termasuk dalam Transport stream menunjukkan aliran mana atau konten dasar mana.



Gambar 3.8 Paket Transport stream MPEG-2

Bit yang segera mengikuti bit sinkronisasi adalah bit “indikator kesalahan transportasi”. Dengan bit ini, paket Transport stream ditandai sebagai error setelah transmisinya. Ini diatur oleh demodulator pada akhir link transmisi jika misalnya terlalu banyak kesalahan yang terjadi dan tidak ada kemungkinan lebih lanjut untuk memperbaikinya melalui mekanisme koreksi kesalahan yang digunakan selama transmisi. Dalam DVB-x1 (Siaran Video Digital, generasi pertama), misalnya, perlindungan kesalahan utama yang digunakan selalu kode koreksi kesalahan Reed Solomon. Di salah satu tahap pertama modulator (DVB-S, DVB-C atau DVB-T), 16 byte perlindungan kesalahan ditambahkan ke paket awal 188 byte. Perlindungan kesalahan 16 byte ini adalah checksum khusus yang dapat digunakan untuk memperbaiki hingga 8 kesalahan per paket di sisi penerima. Namun, jika ada lebih dari 8 kesalahan dalam sebuah paket, tidak ada kemungkinan lebih lanjut untuk memperbaiki kesalahan, perlindungan kesalahan telah gagal dan paket ditandai sebagai kesalahan oleh indikator kesalahan transportasi. Paket ini tidak boleh lagi didekodekan oleh dekoder MPEG yang justru harus menutupi kesalahan yang dapat dilihat sebagai jenis "pemblokiran" dalam gambardalam banyak kasus.

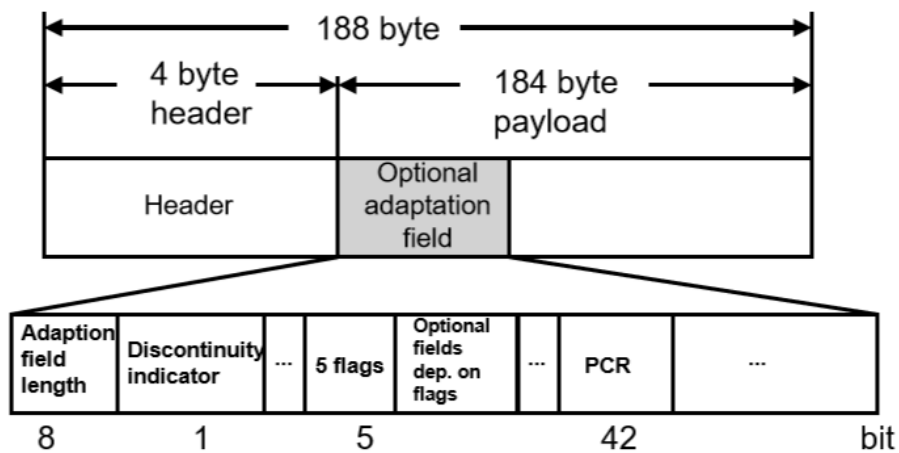


Gambar 3.9 Reed-Salomo FEC

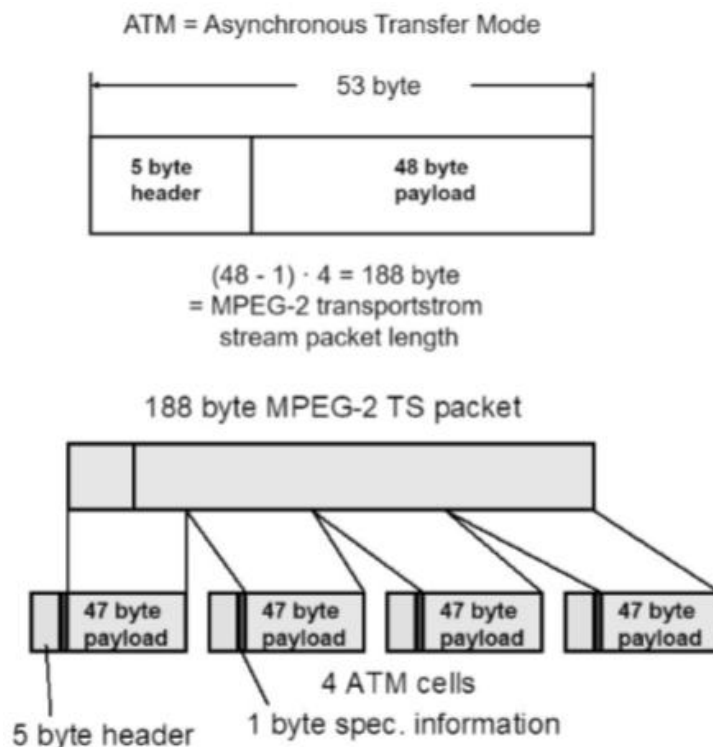
Terkadang diperlukan untuk mengirimkan lebih dari 4 byte header per paket Transport stream. Header diperluas ke bidang muatan dalam kasus ini. Bagian payload menjadi lebih pendek tetapi total panjang paket tetap konstan 188 byte. Header yang diperluas ini disebut "bidang adaptasi". Isi lain dari header dan bidang adaptasi akan dibahas kemudian. “Kontrol adaptasi bit” di header sepanjang 4 byte menunjukkan apakah ada bidang adaptasi atau tidak.

Struktur dan khususnya panjang dari sebuah transport stream packet sangat mirip dengan jenis transmisi data yang dikenal dari teknologi telepon dan LAN, yaitu “asynchronous transfer mode” atau disingkat ATM. Saat ini, ATM digunakan baik dalam jaringan jarak

jauh untuk telepon dan panggilan internet dan untuk interkoneksi komputer dalam jaringan LAN di gedung- gedung. ATM juga memiliki struktur paket. Panjang satu sel ATM adalah 53 byte yang berisi 5 byte header dan 48 byte payload. Tepat di awal perkembangannya, MPEG-2 dianggap mengirimkan sinyal data MPEG-2 melalui tautan ATM. Oleh karena itu panjang transport MPEG-2 mengalirkan paket. Mempertimbangkan satu byte khusus di bagian muatan sel ATM, hal ini menyisakan 47 byte data muatan. Kemudian dimungkinkan untuk mengirimkan 188 byte informasi yang berguna melalui 4 sel ATM, berhubungan secara tepat dengan panjang satu paket Transport stream MPEG-2. Dan memang, transmisi MPEG-2 melalui tautan ATM sedang digunakan. Contoh ini ditemukan, misalnya di Austria di mana semua studio nasional dari lembaga penyiaran Austria ORF (Österreichischer Rundfunk) terhubung melalui jaringan ATM (disebut LNET). Di Jerman juga, aliran MPEG dipertukarkan melalui tautan ATM. Namun saat ini link ATM digantikan oleh teknologi IP.



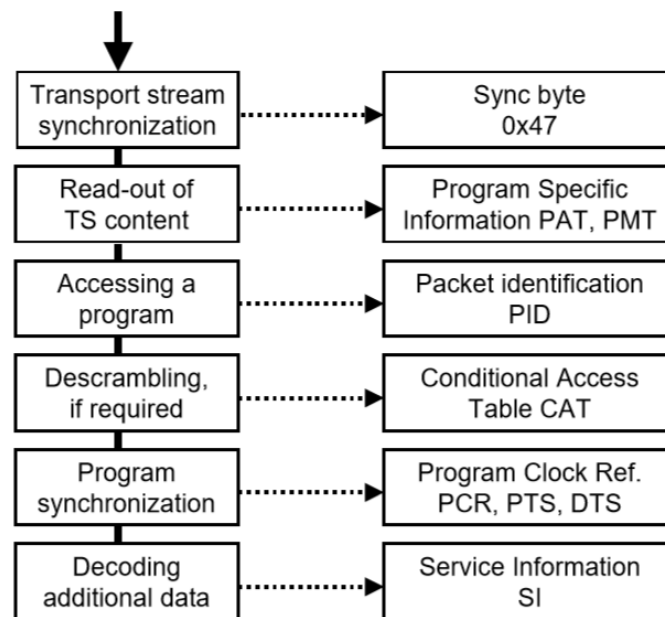
Gambar 3.10 Bidang adaptasi



Gambar 3.11 Sel ATM

Ketika sinyal MPEG ditransmisikan melalui link ATM, berbagai mode transmisi yang disebut ATM Adaptation Layers dapat diterapkan pada tingkat ATM. Modus ditunjukkan pada Gambar. 3.11. sesuai dengan ATM Adaptation Layer 1 tanpa FEC (yaitu AAL1 tanpa FEC (forward error correction)). ATM Adaptation Layer 1 dengan FEC (AAL1 dengan FEC) atau ATM Adaptation Layer 5 (AAL5) juga dimungkinkan. Lapisan yang paling cocok tampaknya adalah AAL1 dengan FEC karena isinya dilindungi dari kesalahan selama transmisi ATM dalam kasus ini.

Fakta bahwa MPEG-2 transport stream adalah sinyal data yang benar-benar asinkron sangat penting. Tidak ada cara untuk mengetahui informasi apa yang akan mengikuti slot waktu berikutnya (= paket Transport stream). Ini hanya dapat ditentukan melalui PID dari paket Transport stream. Tarif data muatan aktual dalam muatan dapat berfluktuasi; mungkin ada isian untuk melengkapi 184 byte yang hilang. Asinkronisme ini memiliki keuntungan besar sehubungan dengan fleksibilitas masa depan, memungkinkan untuk menerapkan metode baru apa pun tanpa banyak adaptasi. Tetapi ada juga kelemahannya: penerima harus selalu memantau dan dengan demikian menggunakan lebih banyak daya; perlindungan kesalahan yang tidak sama seperti, misalnya, dalam DAB (*digital audio broadcasting*/siaran audio digital) tidak dapat diterapkan dan konten yang berbeda tidak dapat dilindungi ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil seperti yang diperlukan.



Gambar 3.12 Informasi untuk penerima

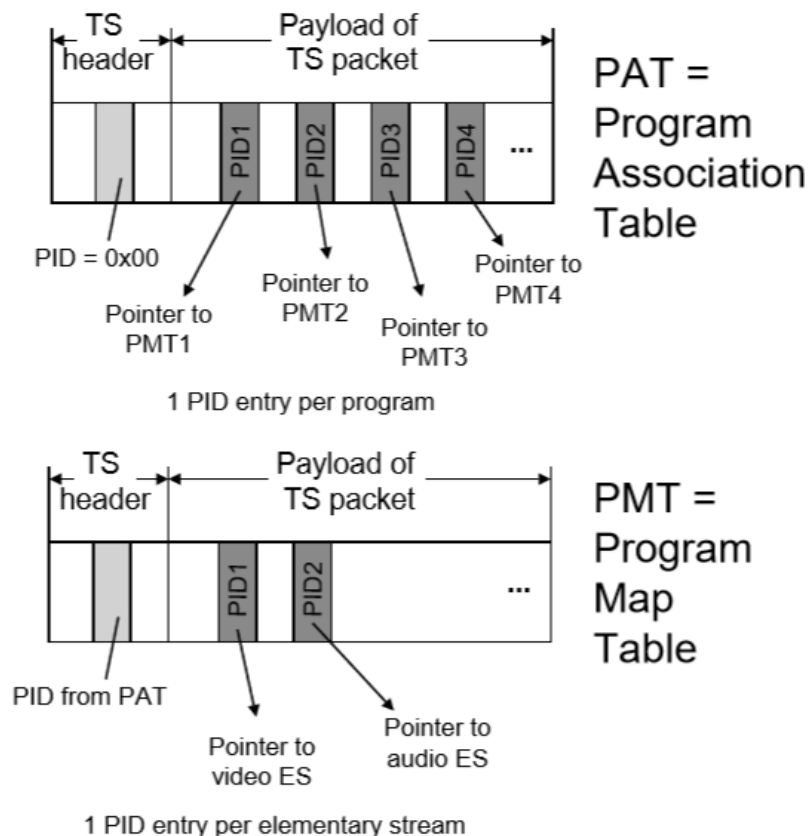
3.5. Informasi untuk Penerima

Dalam paragraf berikut, komponen Transport stream yang diperlukan untuk penerima akan dipertimbangkan. Komponen-komponen yang diperlukan dalam hal ini berarti: Apa yang dibutuhkan penerima, misalnya dekoder MPEG, yang digunakan untuk mengekstrak dari beberapa paket Transport stream dengan isi yang paling bervariasi secara persis seperti yang dibutuhkan untuk mendekode program yang diinginkan. Selain itu, dekoder harus dapat menyinkronkan dengan benar ke program ini. MPEG-2 transport stream adalah sinyal yang benar-benar asinkron dan isinya terjadi secara acak murni atau sesuai permintaan dalam slot waktu individu. Tidak ada aturan mutlak yang dapat digunakan untuk menentukan informasi apa yang akan dimuat selanjutnya dalam paket Transport stream. Dekoder dan setiap elemen pada link transmisi harus mengunci ke struktur paket. PID (*packet identifier*/pengidentifikasi paket) dapat digunakan untuk mencari tahu apa yang sebenarnya sedang ditransmisikan di elemen masing-masing. Di satu sisi,

asinkronisme ini memiliki kelebihan karena fleksibilitas total yang diberikan, tetapi ada juga kelemahan terkait penghematan daya. Setiap paket Transport stream tunggal harus dianalisis terlebih dahulu oleh penerima

3.6. Menyinkronkan ke Transport stream

Ketika input dekoder MPEG-2 terhubung ke MPEG-2 transport stream, input tersebut harus terlebih dahulu mengunci aliran transport, yaitu ke struktur paket. Oleh karena itu, dekoder mencari byte sinkronisasi dalam Transport stream. Nilai yang dimiliki selalu 0x47 dan selalu muncul di awal paket Transport stream. Dengan demikian itu muncul pada interval konstan 188 byte. Kedua faktor ini, yaitu nilai konstan 0x47 dan jarak konstan 188 byte, secara bersama-sama digunakan untuk sinkronisasi. Jika byte yang memiliki nilai 0x47 muncul, dekoder akan memeriksa posisi n kali 188 byte sebelum dan sesudah byte ini dalam aliran transport untuk mengetahui keberadaan byte sinkronisasi lainnya. Jika ada, maka ini adalah byte sinkronisasi. Jika tidak, maka ini hanyalah beberapa kata kode yang secara tidak sengaja mengambil nilai tsb. Tidak dapat dihindari bahwa kata kode 0x47 juga akan muncul dalam Transport stream berkelanjutan. Sinkronisasi akan terjadi setelah 5 paket Transport stream dan dekoder kehilangan kunci setelah kehilangan 3 paket (seperti dikutip dalam Standar MPEG-2).



Gambar 3.13 PAT dan PMT

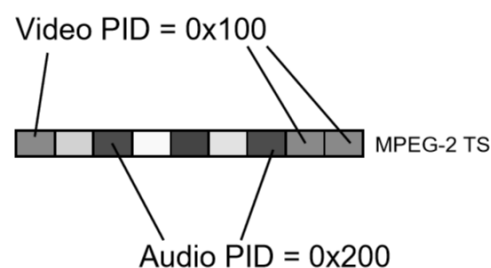
3.7. Membaca Struktur Program Saat Ini

Jumlah dan struktur program yang ditransmisikan dalam Transport stream bersifat fleksibel dan terbuka. Aliran transport dapat berisi satu program dengan satu aliran dasar video dan audio, atau bisa juga 20 program atau lebih, beberapa hanya dengan audio, beberapa dengan video dan audio dan beberapa dengan video dan sejumlah sinyal audio yang sedang disiarkan. Oleh karena itu, perlu untuk memasukkan daftar tertentu dalam Transport stream yang menggambarkan struktur sesaat dari Transport stream.

Daftar ini memberikan apa yang disebut “informasi spesifik program/*program specific information*”, atau disingkat PSI. Itu adalah tabel yang kadang-kadang ditransmisikan di bagian muatan. Tabel pertama adalah “*Program Association Table*” (PAT). Tabel ini muncul tepat satu kali per Transport stream tetapi diulang setiap 0,5 detik. Tabel ini menunjukkan berapa banyak program yang ada dalam Transport stream ini. Paket Transport stream yang berisi tabel ini memiliki nilai nol sebagai pengenalan paket (*packet identifier*/PID) dan dengan demikian dapat dengan mudah diidentifikasi. Di bagian payload dari tabel asosiasi program, daftar PID khusus ditransmisikan. Ada tepat satu PID per program dalam tabel asosiasi program.

PID ini adalah penunjuk ke informasi lain yang menjelaskan setiap program secara lebih rinci. Itu menunjuk ke tabel lain, yang disebut “Tabel Peta Program/*Program Map Tables*” (PMT). Tabel peta program adalah paket Transport stream khusus dengan bagian muatan khusus dan PID khusus. PID dari PMT ditransmisikan dalam PAT. Jika dimaksudkan untuk menerima, misal program No.3, maka PID no. 3 dipilih dalam daftar semua PID di bagian payload di tabel asosiasi program (*program association table*/PAT). Jika iya, misalnya 0x1FF3, dekoder mencari paket Transport stream yang memiliki PID = 0x1FF3 di headernya. Paket-paket ini kemudian menjadi tabel peta program untuk program no. 3 di jalur transportasi. Tabel peta program berisi PID yang merupakan PID untuk semua aliran dasar yang terdapat dalam program ini (video, audio, data).

Karena mungkin ada sejumlah aliran video dan audio - seperti misalnya dalam siaran film dalam berbagai bahasa - pemirsa harus memilih aliran dasar yang akan didekodekan. Pada akhirnya dia akan memilih tepat 2 PID - satu untuk aliran video dan satu untuk aliran audio, misalnya menghasilkan dua angka heksadesimal PID1 = 0x100 dan PID2 = 0x110. PID1 adalah misalnya PID untuk aliran video yang akan didekodekan dan PID2 adalah PID untuk aliran audio yang akan didekodekan. Mulai sekarang, dekoder MPEG-2 hanya akan tertarik pada paket Transport stream ini, yaitu mendemultiplekskannya dan merakitnya lagi untuk membentuk paket PES. Paket PES inilah yang dipasok ke dekoder video dan audio untuk menghasilkan sinyal video dan audio lainnya.



Gambar 3.14 Mengakses program melalui PID video dan audio

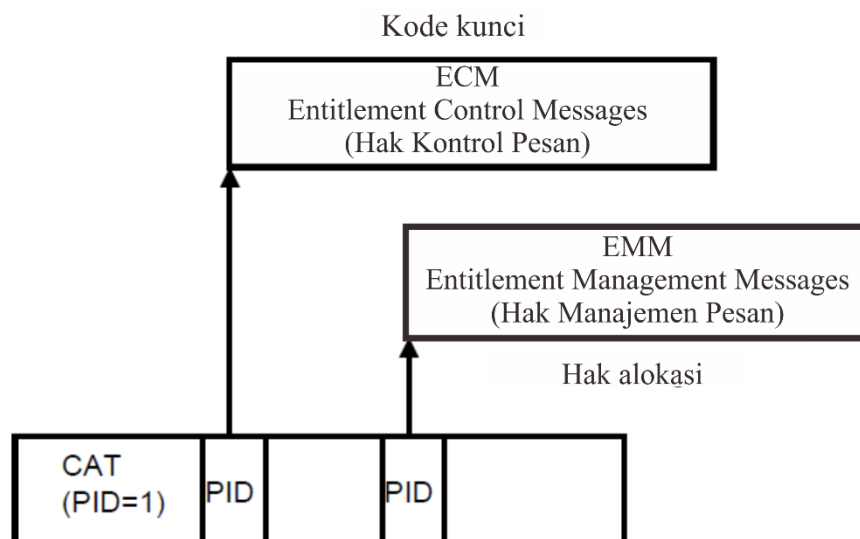
Komposisi Transport stream dapat berubah selama transmisi, misalnya program lokal hanya dapat ditransmisikan dalam window tertentu. Oleh karena itu, receiver TV harus terus memantau di latar belakang struktur sesaat dari Transport stream, membaca PAT dan PMT, dan beradaptasi dengan situasi baru. Header tabel berisi apa yang disebut manajemen versi untuk tujuan ini yang memberi sinyal kepada receiver apakah ada sesuatu yang berubah dalam strukturnya. Sangat disesalkan bahwa hal ini masih tidak berlaku untuk semua receiver DVB. Receiver sering kali mengenali perubahan dalam struktur program hanya setelah pencarian program baru dimulai. Di banyak daerah di Jerman, apa yang disebut “program window regional” dimasukkan ke dalam program siaran layanan publik pada waktu-waktu tertentu dalam sehari.

3.8. Mengakses Program

Setelah PID dari semua aliran dasar yang terkandung dalam Transport stream diketahui dari informasi yang terkandung dalam PAT dan PMT dan pengguna telah berkomitmen pada sebuah program, aliran video dan audio, dua PID sekarang ditentukan: PID untuk sinyal video yang akan didekodekan dan PID untuk sinyal audio yang akan didekodekan. Dekoder MPEG-2, atas instruksi pengguna receiver TV, sekarang hanya akan tertarik pada paket-paket ini. Dengan asumsi bahwa PID video adalah 0x100 dan PID audio adalah 0x110: dalam proses demultiplexing berikut semua paket TS dengan 0x100 akan dirakit menjadi paket video PES dan dipasang ke dekoder video. Hal yang sama berlaku untuk paket audio 0x110 yang dikumpulkan bersama dan dipasang kembali untuk membentuk paket PES yang dipasang ke dekoder audio.

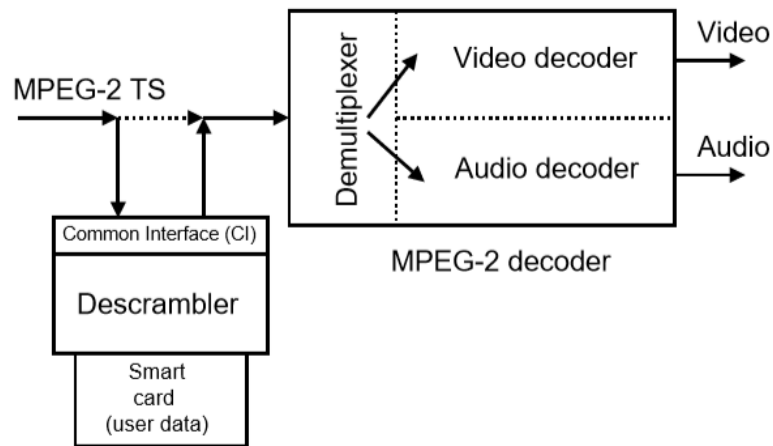
3.9. Mengakses Program yang Berantakan

Meskipun begitu, aliran dasar ditransmisikan secara acak. Semua atau beberapa aliran dasar ditransmisikan dengan dilindungi oleh kode elektronik dalam hal TV berbayar atau untuk alasan lisensi yang melibatkan pembatasan lokal pada penerimaan. Aliran dasar diacak dengan berbagai metode (Viaccess, Betacrypt, Irdeto, Conax, Nagravision, dll.) dan tidak dapat diterima tanpa perangkat keras dan otorisasi tambahan. Perangkat keras tambahan ini harus dilengkapi dengan data penguraian dan otorisasi yang sesuai dari Transport stream. Untuk tujuan ini, tabel khusus ditransmisikan dalam Transport stream, "Tabel Akses Bersyarat/Conditional Access Table" (CAT).



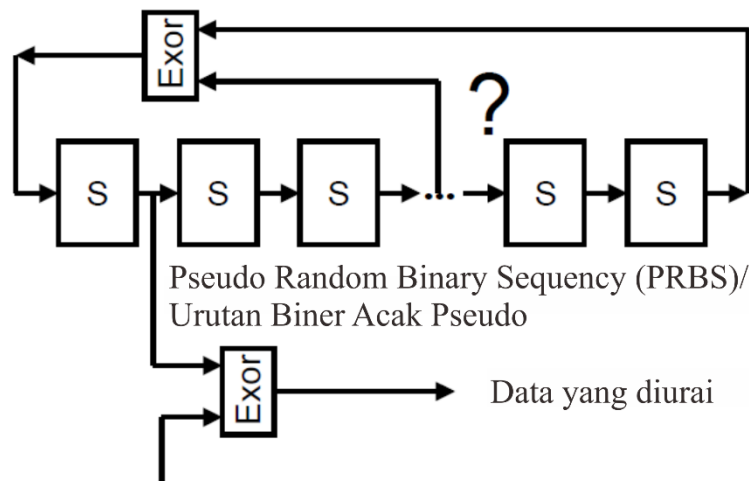
Gambar 3.15 Tabel Akses Bersyarat/Conditional Access Table

CAT memasok PID untuk paket data lain dalam Transport stream di mana informasi penguraian ini ditransmisikan. Informasi penguraian tambahan ini disebut ECM (*entitlement control message*/pesan kontrol hak) dan EMM (*entitlement management message*/pesan manajemen hak). ECM digunakan untuk mentransmisikan kode pengacakan dan EMM digunakan untuk administrasi pengguna. Faktor pentingnya adalah bahwa hanya aliran dasar itu sendiri yang dapat diacak, dan tidak ada header Transport stream (atau tabel). Selain itu, tidak diizinkan untuk mengacak header Transport stream atau bidang adaptasi.



Gambar 3.16 Penguraian di penerima DVB

Penguraian itu sendiri dilakukan di luar dekoder MPEG dalam perangkat keras tambahan yang terkait dengan metode penguraian, yang dapat dihubungkan ke apa yang disebut "antarmuka umum/commoninterface" (CI) di dekoder. Aliran transport dilingkarkan melalui perangkat keras ini sebelum diproses lebih lanjut dalam dekoder MPEG. Informasi dari ECM dan EMM serta kode pribadi pengguna dari kartu pintar kemudian memungkinkan aliran untuk diacak.



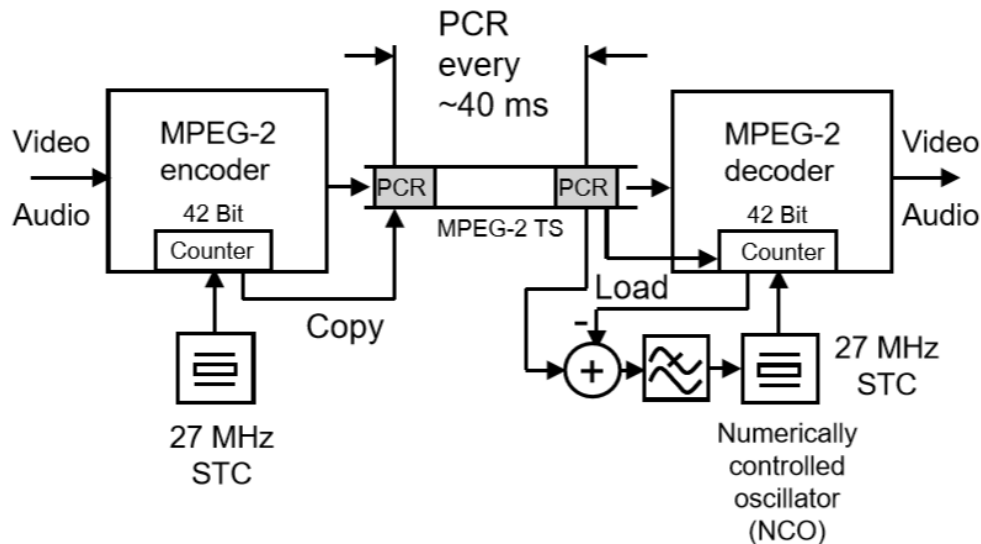
Data yang diacak

Gambar 3.17 Pengacakan dan penguraian oleh generator PRBS di sistem CA dan receiver

3.10. Sinkronisasi Program (PCR, DTS, PTS)

Setelah PID untuk video dan audio telah ditentukan dan setiap program yang diacak telah diurai dan aliran telah didemultipleks, paket PES video dan audio dihasilkan lagi. Ini kemudian dipasok ke dekoder video dan audio. Penguraian kode yang sebenarnya membutuhkan beberapa langkah sinkronisasi lagi. Langkah pertama terdiri dari menghubungkan jam receiver ke jam pemancar. Seperti yang ditunjukkan pada awalnya, sinyal luminansi diambil sampelnya pada 13,5 MHz dan dua sinyal krominans diambil sampelnya pada 6,75 MHz. 27 MHz adalah kelipatan dari frekuensi pengambilan sampel ini, oleh karena itu frekuensi ini digunakan sebagai frekuensi referensi, atau frekuensi dasar, untuk semua langkah pemrosesan dalam pengkodean MPEG di ujung pemancar. Sebuah osilator 27 MHz dalam encoder MPEG mengumpankan "System Time Clock" (STC). STC pada dasarnya adalah penghitung 42 bit yang di-clock oleh clock 27 MHz yang sama dan dimulai lagi dari nol setelah overflow. Posisi LSB tidak naik ke FFF

tapi hanya sampai 300. Kira-kira setiap 26,5 jam penghitung dimulai ulang dari nol. Di sisi penerima, *system time clock* (STC) lain harus disediakan, yaitu diperlukan osilator 27 MHz lain yang terhubung ke penghitung 42 bit. Namun, frekuensi osilator 27 MHz ini harus dalam sinkronisasi lengkap dengan ujung transmisi, dan penghitung 42 bit juga harus dihitung dalam sinkronisasi lengkap.



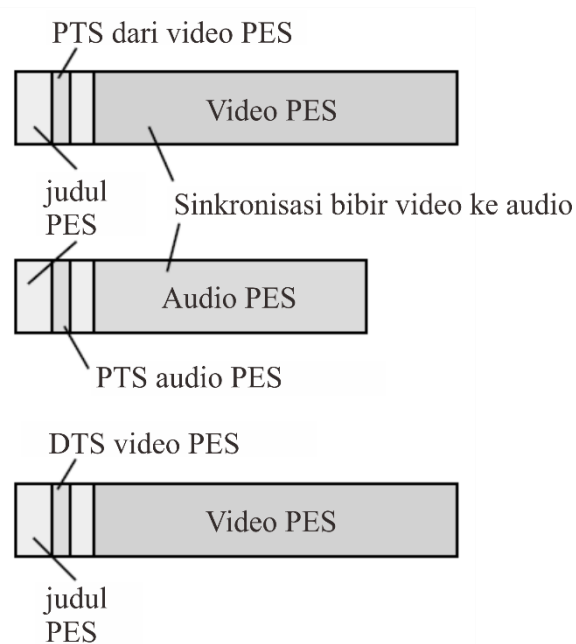
Gambar 3.18 Referensi Jam Program/Program Clock Reference

Untuk mencapai ini, referensi informasi ditransmisikan dalam data stream MPEG. Dalam MPEG-2, ini adalah nilai "Referensi Jam Program/Program Clock Reference" (PCR) yang tidak lain adalah salinan penghitung STC terbaru yang dimasukkan ke dalam Transport stream pada waktu tertentu. Datastream dengan demikian membawa "waktu jam" internal yang akurat. Semua proses pengkodean dan penguraian kode dikendalikan oleh waktu jam ini. Untuk melakukan ini, receiver, yaitu dekoder MPEG, harus membaca "waktu jam", yaitu nilai PCR, dan membandingkannya dengan jam sistem internalnya sendiri, yaitu penghitung 42 bitnya sendiri.

Jika nilai PCR yang diterima dikunci ke jam sistem di dekoder, jam 27 MHz di ujung penerima cocok dengan ujung transmisi. Jika ada penyimpangan, variabel terkontrol untuk PLL dapat dihasilkan dari besarnya penyimpangan, yaitu osilator di ujung penerima dapat dikoreksi. Secara paralel, jumlah 42 bit selalu diatur ulang ke nilai PCR yang diterima, yaitu persyaratan dasar untuk inisialisasi sistem dan jika terjadi perubahan program.

Nilai PCR harus ada dalam jumlah yang cukup, yaitu dengan jarak maksimum, dan relatif akurat, yaitu bebas dari jitter. Berdasarkan MPEG, jarak maksimum per program adalah 40 ms antara nilai PCR individu. Jitter PCR harus kurang dari 500ns. Pada awalnya masalah PCR muncul dengan sendirinya dalam contoh pertama di mana alih-alih gambar berwarna, gambar hitam/putih yang ditampilkan. Masalah jitter PCR dapat terjadi selama re-multiplexing Transport stream, di antara kondisi yang lain. Alasannya adalah bahwa misalnya, urutan transportasi paket aliran diubah tanpa mengubah informasi PCR yang sedang berjalan. Sering ada jitter PCR hingga 30 μ s meskipun hanya 500ns yang diperbolehkan. Ini dapat ditangani oleh banyak dekoder tetapi tidak semua dekoder bisa. Informasi PCR ditransmisikan di bidang adaptasi dari paket Transport stream milik program yang sesuai. Informasi yang tepat tentang jenis paket TS di mana hal ini dilakukan dapat ditemukan di tabel peta program (*program map table/PMT*) yang sesuai. PMT berisi apa yang disebut PCR_PID yang sesuai dengan PID video dari masing-masing program dalam banyak kasus. Setelah sinkronisasi jam program tercapai,

langkah-langkah pengkodean video dan audio kemudian dijalankan dalam kunci dengan jam waktu sistem/*system time clock*(STC).

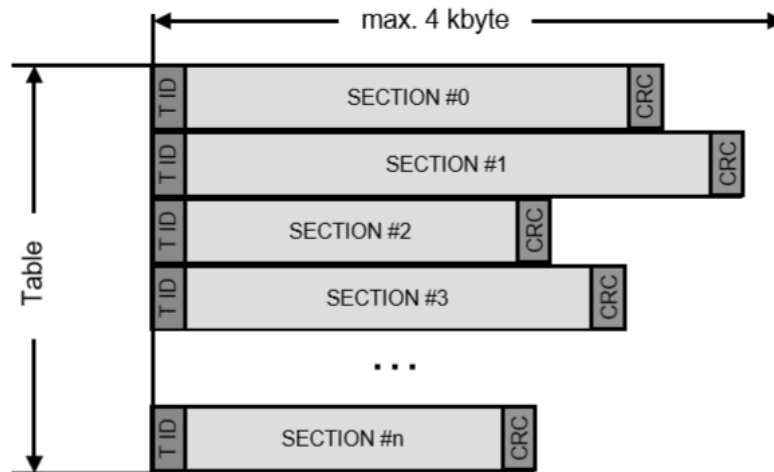


Gambar 3.19 PTS dan DTS

Namun, masalah lain sekarang muncul dengan sendirinya. Video dan audio harus diterjemahkan dan direproduksi dengan sinkronisasi gerak bibir. Agar dapat mencapai “lip sync”, yaitu sinkronisasi antara video dan audio, informasi waktu tambahan dimasukkan ke dalam header PES video dan audio. Informasi waktu ini berasal dari jam waktu sistem (STC, 42 bit). Menggunakan 33 bit paling signifikan (MSB) dari STC, nilai ini dimasukkan ke dalam header PES video dan audio pada interval maksimum 700 ms dan disebut “Stempel Waktu Presentasi/*Presentation Time Stamps*” (PTS).

Seperti yang akan lihat nanti di bagian pengkodean video, urutan di mana informasi gambar terkompresi ditransmisikan akan berbeda dari urutan perekamannya. Urutan frame sekarang diacak sesuai dengan aturan pengkodean tertentu, yaitu ukuran yang diperlukan untuk menghemat ruang memori di dekoder. Untuk memulihkan urutan asli, stempel waktu tambahan harus dimasukkan ke dalam aliran video. Ini disebut “Decoding TimeStamps” (DTS) dan juga ditransmisikan dalam header PES.

Dekoder MPEG-2 di receiver TV kemudian dapat memecahkan kode aliran video dan audio dari suatu program, menghasilkan lagi sinyal video dan audio, baik dalam bentuk analog maupun dalam bentuk digital.



Gambar 3.20 Bagian dan tabel

3.11. Informasi Tambahan dalam Transport stream (SI)

Berdasarkan MPEG, informasi yang ditransmisikan dalam Transport stream cukup berorientasi pada perangkat keras, hanya berkaitan dengan persyaratan minimum absolut. Namun, ini tidak membuat pengoperasian receiver TV menjadi sangat mudah digunakan. Misalnya, ini masuk akal, dan perlu, untuk mengirimkan nama program dengan tujuan identifikasi. Hal ini juga diinginkan untuk menyederhanakan pencarian channel transmisi fisik yang berdekatan. Hal ini juga perlu untuk mengirimkan panduan program elektronik/*electronic program guides* (EPG) dan informasi waktu dan tanggal

3.12. Bagian dan Tabel Non-Pribadi dan Pribadi

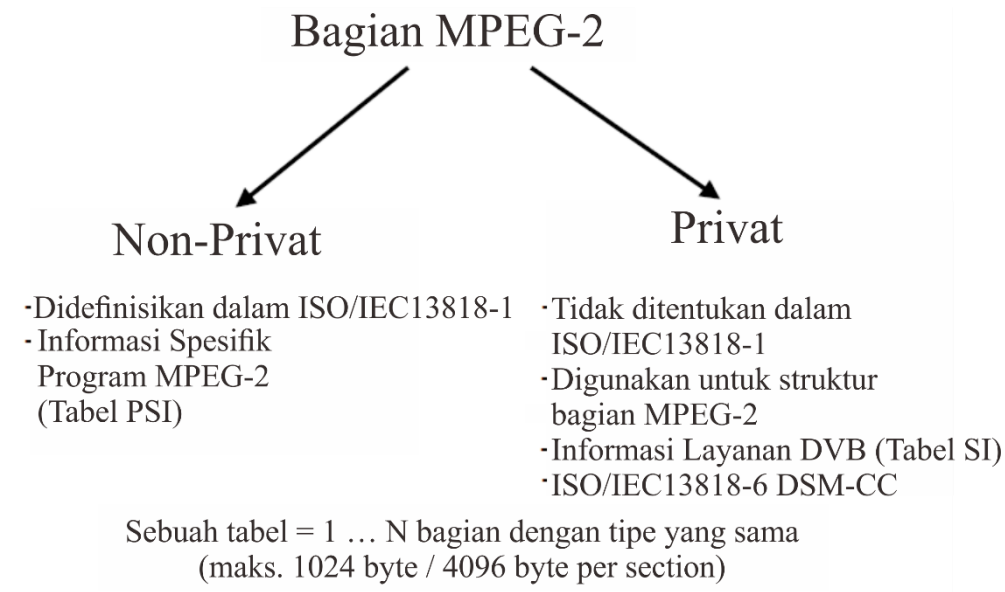
Untuk mengatasi ekstensi apa pun, MPEG telah memasukkan "pintu terbuka" dalam Standar MPEG-2. Selain "Informasi Spesifik Program/*Program Specific Information*" (PSI), "Tabel Peta Program/*Program Map Table*" (PMT) dan "Tabel Akses Bersyarat/*Conditional Access Table*" (CAT), ini menciptakan kemungkinan untuk menggabungkan apa yang disebut "bagian pribadi dan tabel pribadi" dalam Transport stream. Kelompok itu telah mendefinisikan mekanisme yang menentukan seperti apa tampilan bagian atau tabel, seperti apa strukturnya dan dengan aturan apa itu dihubungkan ke Transport stream.

Menurut Sistem MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1), berikut ini ketentuan untuk setiap jenis tabel:

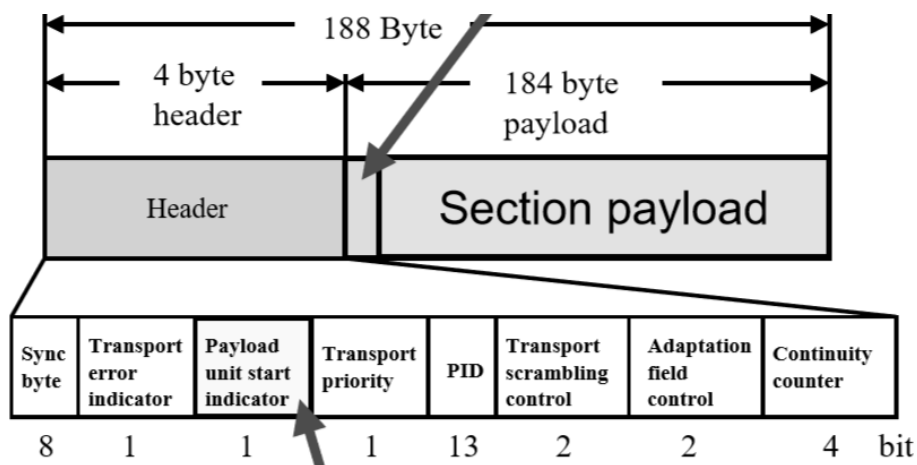
- Sebuah tabel ditransmisikan di bagian payload dari satu atau lebih paket Transport stream dengan PID khusus yang dicadangkan hanya untuk tabel ini (DVB) atau beberapa jenis tabel (ATSC).
- Setiap tabel dimulai dengan ID tabel yang merupakan byte khusus yang hanya mengidentifikasi tabel ini saja. ID tabel adalah byte payload pertama dari sebuah tabel.
- Setiap tabel dibagi menjadi beberapa bagian yang diizinkan untuk memiliki ukuran maksimum 4 kbytes. Setiap bagian dari tabel diakhiri dengan checksum CRC sepanjang 32-bit di seluruh bagian.

"Informasi Spesifik Program/*Program Specific Information*" (PSI) memiliki struktur yang persis sama. PAT memiliki PID nol dan dimulai dengan ID tabel nol. PMT memiliki PID yang didefinisikan dalam PAT sebagai PID dan memiliki 2 ID tabel. CAT

memiliki PID dan ID tabel satu dalam setiap kasus. PSI dapat terdiri dari satu atau lebih paket Transport stream untuk PAT, PMT, dan CAT tergantung pada isinya.



Gambar 3.21 Bagian dan tabel berdasarkan MPEG-2



Panah atas Pointer untuk memulai payload bagian, sebagian besar diatur ke 0x00

Panah bawah Indikator mulai unit muatan: setel ke "1"

Gambar 3.22 Awal bagian dalam paket Transport stream MPEG-2

Selain tabel PSI PAT, PMT, dan CAT yang disebutkan di atas, tabel lain, yang disebut "Tabel Informasi Jaringan/*Network Information Table*" (NIT) disediakan secara prinsip tetapi tidak distandarisasi secara rinci. Tabel itu sebenarnya diimplementasikan sebagai bagian dari proyek DVB (*Digital Video Broadcasting*).

Semua tabel diimplementasikan melalui mekanisme bagian. Ada bagian non-pribadi dan pribadi. Bagian non-pribadi didefinisikan dalam Standar Sistem MPEG-2 asli. Sedangkan semuanya yang lain benar-sangat pribadi. Bagian non-pribadi termasuk tabel PSI dan yang pribadi termasuk bagian SI dari DVB dan bagian MPEG-2 DSM-CC (*Digital Storage Media Command and Control*/Perintah dan Kontrol Media Penyimpanan Digital) yang digunakan untuk penyiaran data. Header tabel berisi administrasi nomor versi tabel dan informasi tentang jumlah bagian tabel yang dibuat. Pertama-tama, receiver harus memindai melalui header bagian ini sebelum dapat

mengevaluasi bagian dan tabel lainnya. Secara alami, semua bagian harus dipecah dari panjang maksimum asli 4 kbytes menjadi maksimum 148 byte panjang payload dari paket stream transport MPEG-2 sebelum ditransmisikan.

table_id	8 Bit
section_syntax_indicator	1
private_indicator	1
reserved	2
section_length	12
if (section_syntax_indicator == 0)	
table_body1() /* short table */	
else	
table_body2() /* long table */	
if (section_syntax_indicator == 1)	
CRC	32 Bit

Gambar 3.23 Struktur dari suatu bagian

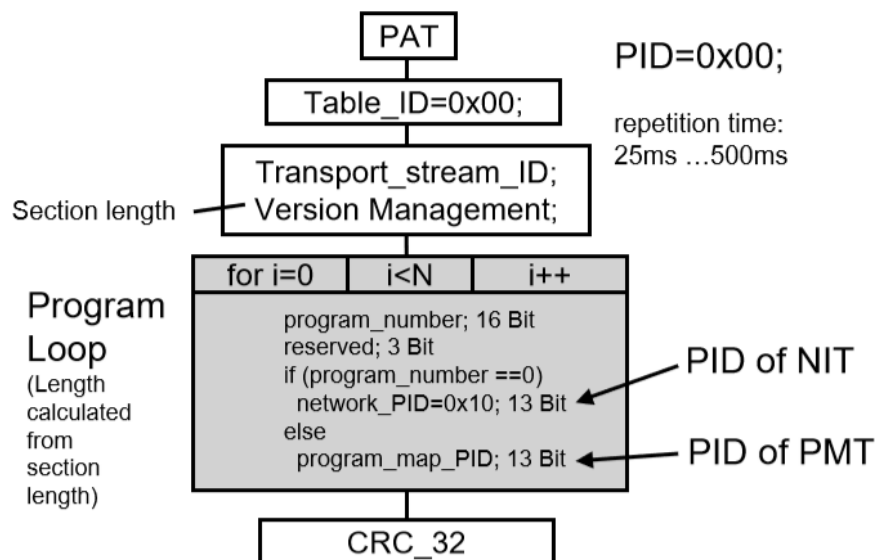
table_body1()	
{	
for (i=0;i<N;i++)	
data_byte	8 Bit
}	
table_body2()	
{	
table_id_extension	16 Bit
reserved	2
version_number	5
current_next_indicator	1
section_number	8
last_section_number	8
for (i=0;i<N;i++)	
data_byte	8 Bit
}	

Gambar 3.24 Struktur payload bagian

Dalam kasus PSI/SI, batas panjang bagian telah diturunkan menjadi 1 kbyte di hampir semua tabel, satu-satunya pengecualian adalah EIT (*Event Information Table*/Tabel Informasi Peristiwa) yang digunakan untuk mentransmisikan panduan program elektronik/*electronic program guide* (EPG) . Bagian dari EIT dapat mengasumsikan panjang maksimum 4 kbyte karena bagian itu membawa sejumlah besar informasi seperti dalam kasus EPG selama seminggu.

Jika bagiannya dimulai dalam paket Transport stream, indikator awal unit muatan dari headernya diatur ke "1". Header TS kemudian segera diikuti oleh pointer yang menunjuk (dalam jumlah byte) ke awal bagian yang sebenarnya. Dalam kebanyakan kasus (dan selalu dalam kasus PSI/SI), pointer ini disetel ke nol yang berarti bagiannya dimulai segera setelah pointer.

Jika pointer memiliki nilai yang berbeda dari nol, sisa bagian sebelumnya masih dapat ditemukan dalam paket Transport stream ini. Ini digunakan untuk menyimpan paket TS, contohnya adalah MPE (*multi-protocol encapsulation*/enkapsulasi multi-protokol) pada bagian DSM-CC dalam kasus IP melalui MPEG-2 (lihat DVB-H).

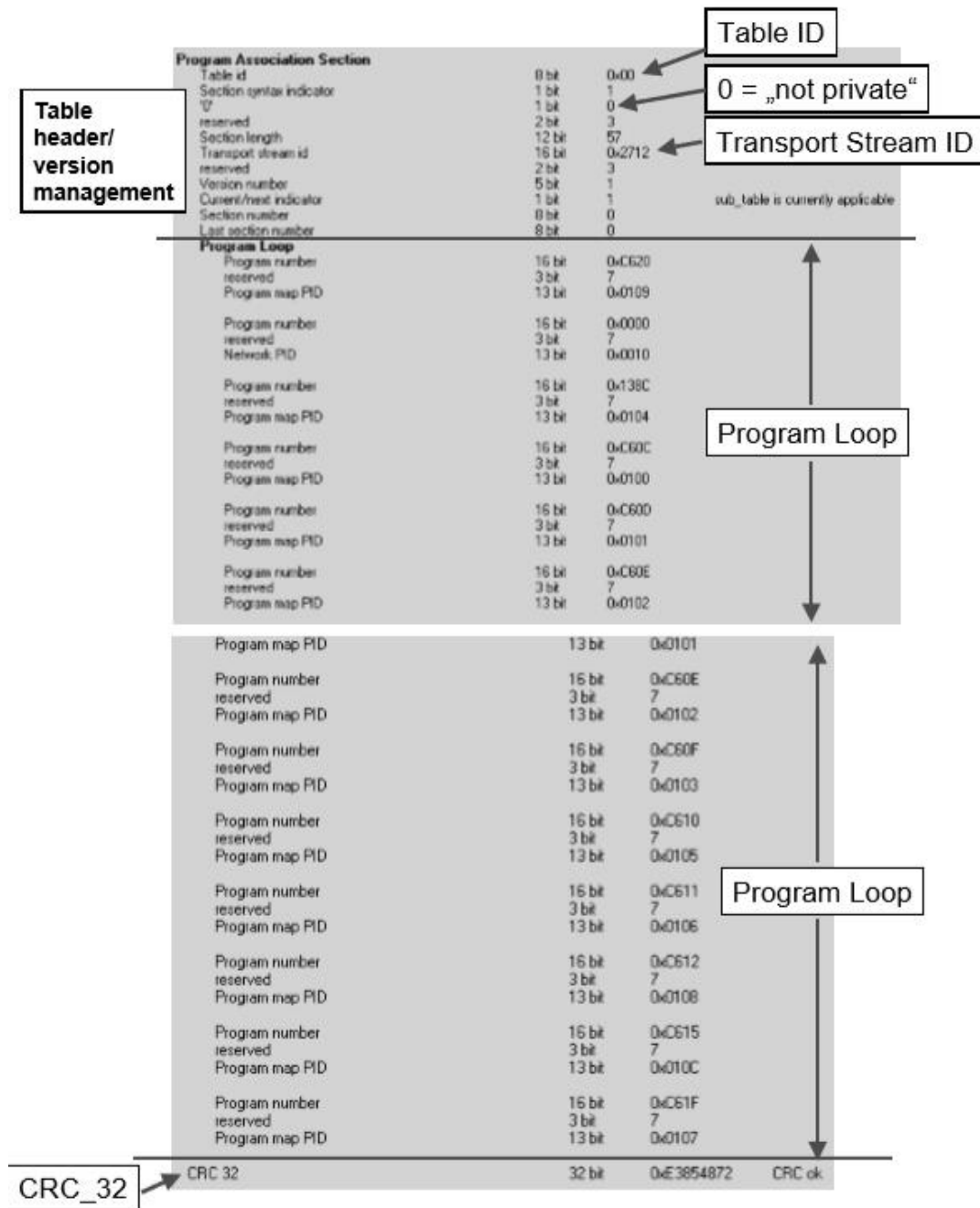


Gambar 3.25 Struktur rinci dari PAT

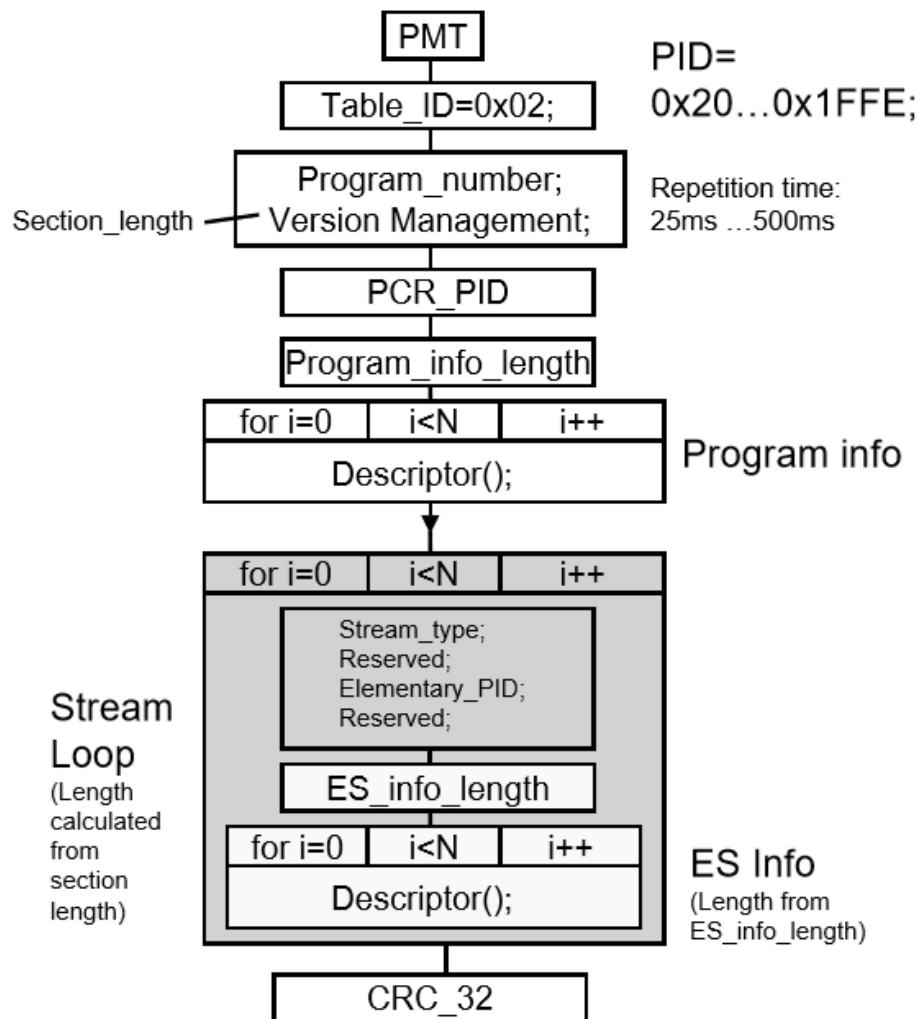
Struktur dari bagian selalu mengikuti rencana yang sama. Bagian dimulai dengan table_ID, sebuah byte yang menandakan tipe tabel. Bit section_syntax_indicator menunjukkan apakah ini adalah jenis bagian yang pendek (bit = 0) atau yang panjang (bit = 1). Jika itu adalah bagian yang panjang, ini kemudian diikuti oleh header tambahan yang berisi, antara lain, manajemen versi bagian dan panjangnya serta nomor bagian terakhir. Nomor versi menunjukkan jika isi bagian telah berubah (misalnya dalam kasus PMT dinamis atau jika struktur program telah berubah). Bagian yang panjang selalu diakhiri dengan checksum CRC sepanjang 32-bit di seluruh bagian.

Struktur rinci dari PAT dan PMT sekarang juga dapat dipahami dengan lebih mudah. Sebuah PAT dimulai dengan table_ID = 0x00. Jenisnya adalah tabel panjang non-pribadi, yaitu manajemen versi yang mengikuti di header. Karena informasi tentang struktur program yang akan ditransmisikan sangat singkat, satu bagian hampir selalu cukup (last_section_no = 0) dan juga muat di dalam paket transport. Dalam loop program, nomor program dan ID peta program terkait dicantumkan untuk setiap program. Nomor program nol adalah pengecualian khusus, ini menginformasikan tentang PID dari NIT (Network Information Table/Tabel Informasi Jaringan) nanti. PAT kemudian diakhiri dengan checksum CRC. Ada satu PAT per Transport stream tetapi diulang setiap 0,5 detik. Di header tabel, nomor yang tidak ambigu, transport stream_ID, dialokasikan ke Transport stream yang melaluinya dapat dialamatkan dalam jaringan (misalnya jaringan satelit dengan banyak Transport stream). PAT tidak mengandung informasi teks apa pun.

Tabel peta program/program map table (PMT) dimulai dengan table_ID = 0x02. PID ditandai melalui PAT dan berada dalam kisaran 0x20 ... 0x1FFE. PMT juga disebut tabel non-pribadi dengan manajemen versi dan checksum CRC penutup. Header PMT mengusung program_no, yang sudah familiar dari PAT. Program_no di PAT dan PMT harus cocok, misalnya setara.



Gambar 3.26 Rincian Tabel Asosiasi Program (contoh praktis)



Gambar 3.7 Struktur rinci dari Tabel Peta Program/Program Map Table

		Table_ID	
			„0“ = not private
Judul tabel/ versi manajemen	Program Map Section		
	Table id	8 bit	0x02
	Section syntax indicator '0'	1 bit	1
	reserved	1 bit	0
	Section length	2 bit	0x3
	Program number	16 bit	0x0001 (1)
	reserved	2 bit	0x3
	Version number	5 bit	0
	Current/next indicator	1 bit	1
	Section number	8 bit	0
	Last section number	8 bit	0
	reserved	3 bit	0x7
	PCR PID	13 bit	0x0064 (100)
	reserved	4 bit	0xF
	Program info length	12 bit	0
Putaran aliran	Descriptors	none	
	Stream Loop		
	Stream type	8 bit	0x02 (2)
	reserved	3 bit	0x7
	Elementary PID	13 bit	0x0064 (100)
	reserved	4 bit	0xF
	ES info length	12 bit	0
	Descriptors		
	Stream type	8 bit	0x04 (4)
	reserved	3 bit	0x7
	Elementary PID	13 bit	0x0065 (101)
	reserved	4 bit	0xF
	ES info length	12 bit	0
	Descriptors	none	
CRC 32		32 bit	0xB1909459 CRC ok

Program no.

PCR_PID

Video MPEG 2

Video PID

Audio MPEG 2

Audio PID

sub_table is currently applicable

Gambar 3.28 Detail Tabel Peta Program (contoh praktis)

Header PMT diikuti oleh program_info_loop di mana berbagai deskriptor dapat dimasukkan sesuai kebutuhan yang menjelaskan komponen program secara lebih rinci. Namun, hal itu tidak harus. Komponen program yang sebenarnya seperti video, audio, atau teletexts diidentifikasi melalui loop aliran yang berisi entri untuk masing-masing jenis aliran dan PID dari aliran dasar.

PAT	Program Association Table
PMT's	Program Map Table
CAT	Conditional Access Table
(NIT)	Network Information Table
Private Sections / Tables	
NIT	Network Information Table
SDT	Service Descriptor Table
BAT	Bouquet Association Table
EIT	Event Information Table
RST	Running Status Table
TDT	Time&Date Table
TOT	Time Offset Table
ST	Stuffing Table

Gambar 3.29 MPEG-2 PSI dan DVB SI, kolom atas adalah Informasi Spesifik Program MPEG-2 PSI, sedangkan kolom bawah adalah Informasi Layanan DVB SI

NIT
Network Information Table
PID=0x10, Table_ID=0x40/0x41
Information about
physical network
(satellite, cable, terrestrial)
Network provider name,
transmission parameter
(RF, QAM, FEC)

Gambar 3.30 Tabel Informasi Jaringan/Network Information Table (NIT)

Dimungkinkan untuk memasukkan sejumlah deskriptor untuk setiap komponen program dalam ES_info_loop. Ada satu PMT untuk setiap program dan dikirim setiap 0,5 detik. Tidak ada informasi teks di PMT juga.

Gambar 3.28 menunjukkan contoh sebenarnya dari struktur Tabel Peta Program, yang dalam hal ini cukup singkat. Ini akan dibahas secara lebih rinci sebagai representasi dari banyak tabel lain berikut ini. Contoh, direkam dengan penganalisis MPEG-2, menunjukkan bahwa PMT dimulai dengan ID tabel 0x02, yaitu suatu byte yang mengidentifikasinyadengan jelas.

Bit indikator sintaks bagian diatur ke "1" untuk memberi tahu seseorang bahwa ini adalah tabel panjang dengan manajemen versi. Bit berikutnya diatur ke "0" dan mengidentifikasi tabel ini sebagai tabel MPEG non/pribadi. Panjang bagian menunjukkan berapa lama bagian saat ini dari tabel ini. Dalam kasus ini yaitu panjang 23 byte. Bidang ekstensi table_ID berisi nomor program; juga harus ada entri yang sesuai di PAT. Nomor versi dan indikator saat ini/berikutnya menandakan perubahan dalam tabel peta program. Informasi ini harus terus-menerus diperiksa oleh receiver

yang harus menanggapi perubahan dalam struktur program (PMT dinamis) jika perlu. Nomor bagian memberi tahu bagian apa ini seharusnya dan Last Section No menginformasikan tentang nomor bagian terakhir dari sebuah tabel. Dalam hal ini dengan cara diatur ke nol, misalnya tabel hanya berisi satu bagian.

PCR_PID (program clock reference-packet identifier/referensi jam program-pengidentifikasi paket) menyediakan PID di mana nilai PCR disiarkan. Ini merupakan PID video dalam banyak kasus.

Seharusnya sekarang ada program_info_loop tetapi tidak ada dalam contoh ini, fakta yang ditandai dengan indikator panjang "program_info_length = 0.

Namun, loop aliran memberikan informasi tentang PID video dan audio. Jenis aliran menunjukkan jenis muatan, yaitu video MPEG-2 dan audio MPEG-2 dalam hal ini.

Tabel 3.4. Jenis aliran Tabel Peta Program

Nilai	Keterangan
0x00	ITU-T/ISO/IEC reserved
0x01	ISO/IEC 11172 MPEG-1 video
0x02	ITU-T H.262 / ISO/IEC13818-2 MPEG-2 video
0x03	ISO/IEC 11172 MPEG-1 audio
0x04	ISO/IEC 13818-3 MPEG-2 audio
0x05	ITU-T H.222.0 / ISO/IEC 13818-1 private sections
0x06	ITU-T H.222.0 / ISO/IEC 13818-1 PES packets containing private data
0x07	ISO/IEC 13522 MHEG
0x08	ITU-T H.222.0 / ISO/IEC 13818-1 annex A DSM-CC
0x09	ITU-T H.222.1
0x0A	ISO/IEC 13818-6 DSM-CC type A
0x0B	ISO/IEC 13818-6 DSM-CC type B
0x0C	ISO/IEC 13818-6 DSM-CC type C
0x0D	ISO/IEC 13818-6 DSM-CC type D
0x0E	ISO/IEC 13818-1 auxiliary
0x0F-0x7F	ITU-T H.222.0 / ISO/IEC 13818-1 reserved
0x80-0xFF	User privat

3.13. Layanan Informasi menurut DVB (SI)

Dengan memanfaatkan fitur "bagian pribadi" dan "meja pribadi", Grup DVB Eropa telah memperkenalkan banyak tabel tambahan yang dimaksudkan untuk menyederhanakan pengoperasian dekoder atau receiver DVB secara umum. Disebut "Informasi Layanan/Service Information" (SI), hal itu didefinisikan dalam Standar ETSI ETS300468.

Hal itu adalah tabel-tabel berikut: "Tabel Informasi Jaringan/Network Information Table" (NIT), "Tabel Deskripsi Layanan/Service Descriptor Table" (SDT), "Tabel AsosiasiBuket/Bouquet Association Table" (BAT), "Tabel Informasi Acara/Event Inforamtion Table" (EIT), "Tabel Status Berjalan/Running Status Table" (RST), "Tabel Waktu & Tanggal/Time & Date Table" (TDT), "Tabel Offset Waktu/Time OFFset Table" (TOT) dan, yang terakhir "Stuffing Table" (ST). Kedelapan tabel ini sekarang akan dijelaskan lebih detail

"Tabel Informasi Jaringan/Network Information Table" (NIT) menjelaskan semua parameter fisik channel transmisi DVB. Tabel ini berisi, misalnya frekuensi yang diterima dan jenis transmisi (satelit, kabel, terestrial) dan juga semua data teknis transmisi, yaitu proteksi kesalahan, jenis modulasi, dll. Tabel ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemindaian channel sebanyak mungkin. Receiver TV dapat menyimpan semua parameter channel fisik saat memindai selama pengaturan, dan itu dimungkinkan, misalnya untuk menyiarkan informasi tentang semua channel fisik yang tersedia dalam jaringan (misalnya satelit, kabel), sehingga memungkinkan untuk menghilangkan pencarian fisik channel yang sebenarnya.

NIT berisi informasi berikut:

- Jalur transmisi (satelit, kabel, terestrial)
- Frekuensi yang diterima
- Jenis modulasi
- Perlindungan kesalahan
- Parameter transmisi

Faktor penting dalam kaitannya dengan NIT adalah bahwa banyak receiver TV mungkin berperilaku "aneh" jika parameter transmisi di NIT tidak sesuai dengan transmisi sebenarnya. Jika, misalnya frekuensi pancar yang diberikan dalam NIT tidak sesuai dengan frekuensi yang diterima, banyak receiver, tanpa alasan yang jelas, mungkin menolak untuk mereproduksi gambar atau suara apa pun.

Judul tabel/
versi
mana-
jemen

Putaran
aliran
trans-
portasi

Network Information Section		8 bit	0x41 (65)	other network
Table id	8 bit	0x41 (65)		
Section syntax indicator	1 bit	1		
reserved (future use)	1 bit	0x1		
Section length	2 bit	0x3		
Network id	12 bit	0x2803 (112291)		
reserved	4 bit	0x3		
Version number	5 bit	0		
Current/next indicator	1 bit	1		sub_table is currently applicable
Section number	8 bit	0		
Last section number	8 bit	0		
reserved (future use)	4 bit	0xF		
Network description length	12 bit	15		
Network Name Descriptor				
Descriptor tag	8 bit	0x41 (65)		
Descriptor length	8 bit	24		
Network name	24 char	DVB-T Berlin/Brandenburg		
reserved (future use)	4 bit	0xF		
Transport Stream Loop				
Transport stream id	16 bit	0x0001 (769)		
Original network id	16 bit	0x2114 (8498)		
reserved (future use)	4 bit	0xF		
Transport descriptors length	12 bit	15		
Service List Descriptor				
Descriptor tag	8 bit	0x41 (65)		
Descriptor length	8 bit	0		
Service List Descriptor Loop				
Terrestrial Delivery System Descriptor				
Descriptor tag	8 bit	0x5A (90)		
Descriptor length	8 bit	11		
Centre frequency	32 bit	0x00E03740	578.000000 MHz	
Bandwidth	3 bit	0		8 MHz
reserved (future use)	5 bit	0x1F		
Constellation	2 bit	1		16-QAM
Hierarchy information	3 bit	0		non-hierarchical
Code rate (HP stream)	3 bit	1		code rate 2/3
Code rate (LP stream)	3 bit	0		code rate 1/2
Guard interval	2 bit	2		1/8
Transmission mode	2 bit	1		8k mode
Other frequency flag	1 bit	0		no other frequency in use
reserved (future use)	12 bit	0xFFFFFFFF		
Transport Stream ID				
Transport stream id	16 bit	0x0003 (771)		
Original network id	16 bit	0x2114 (8498)		
reserved (future use)	4 bit	0xF		
Transport descriptors length	12 bit	13		
Terrestrial Delivery System Descriptor				
Descriptor tag	8 bit	0x5A (90)		
Descriptor length	8 bit	11		
Centre frequency	32 bit	0x00A32240	778.000000 MHz	
Bandwidth	3 bit	0		8 MHz
reserved (future use)	5 bit	0x1F		
Constellation	2 bit	1		16-QAM
Hierarchy information	3 bit	0		non-hierarchical
Code rate (HP stream)	3 bit	1		code rate 2/3
Code rate (LP stream)	3 bit	0		code rate 1/2
Guard interval	2 bit	2		1/8
Transmission mode	2 bit	1		8k mode
Other frequency flag	1 bit	0		no other frequency in use
reserved (future use)	12 bit	0xFFFFFFFF		
Transport Stream ID				
Transport stream id	16 bit	0x0005 (773)		
Original network id	16 bit	0x2803 (112291)		
reserved (future use)	4 bit	0xF		
Transport descriptors length	12 bit	13		
Terrestrial Delivery System Descriptor				
Descriptor tag	8 bit	0x5A (90)		
Descriptor length	8 bit	11		
Centre frequency	32 bit	0x00041840	508.000000 MHz	
Bandwidth	3 bit	0		8 MHz
reserved (future use)	5 bit	0x1F		
Constellation	2 bit	1		16-QAM
Hierarchy information	3 bit	0		non-hierarchical
Code rate (HP stream)	3 bit	1		code rate 2/3
Code rate (LP stream)	3 bit	0		code rate 1/2
Guard interval	2 bit	2		1/8
Transmission mode	2 bit	1		8k mode
Other frequency flag	1 bit	0		no other frequency in use
reserved (future use)	12 bit	0xFFFFFFFF		
CRC 32	32 bit	0x018BF606		CRC ok

Deskriptor putaran jaringan

Deskriptor pengiriman terestrial

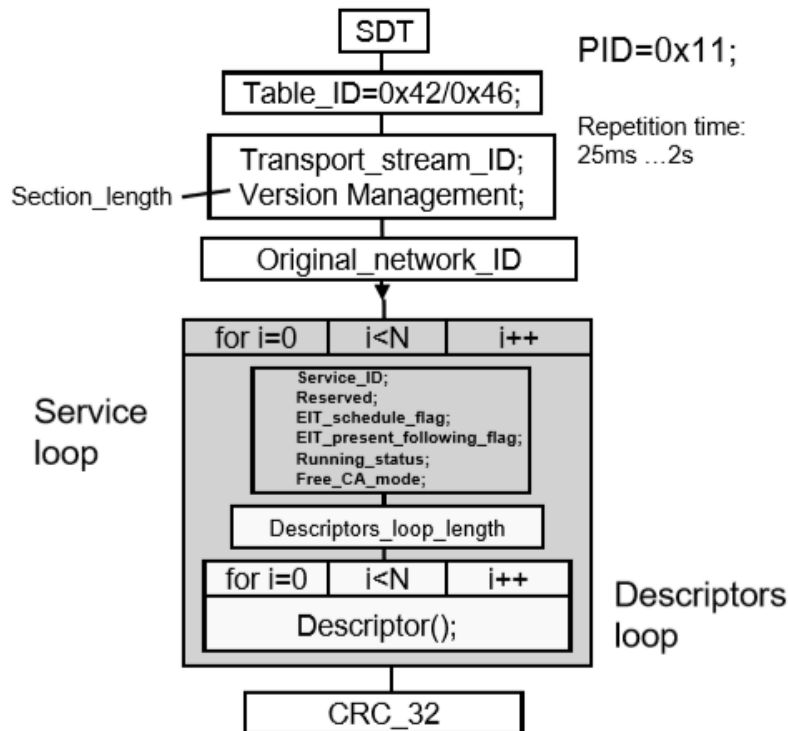
Deskriptor pengiriman terestrial

Deskriptor pengiriman terestrial

Gambar 3.32 Contoh praktis Tabel Informasi Jaringan/Network Information Table (NIT)

SDT
Service Descriptor Table (PID=0x11, Table_ID=0x42/0x46)
Information about all services (= programs) in a transport stream
Service provider name service names = program names

Gambar 3.33 Tabel Deskriptor Layanan/Service Descriptor Table (SDT)



3.34 Struktur Tabel Deskriptor Layanan/Service Descriptor Table (SDT)

“Layanan Deskriptor Tabel/Service Descriptor Table” (SDT) berisi deskripsi lebih rinci dari program yang dibawa dalam Transport stream, atau disebut “layanan”. Antara lain, ini adalah judul program seperti, misalnya "CNN", "CBS", "Eurosport", "ARD", "ZDF", "BBC", "ITN" dll. Artinya, secara paralel dengan PID program yang dimasukkan dalam PAT, SDT sekarang berisi informasi tekstual untuk pengguna. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pengoperasian perangkat penerima dengan menyediakan daftar teks.

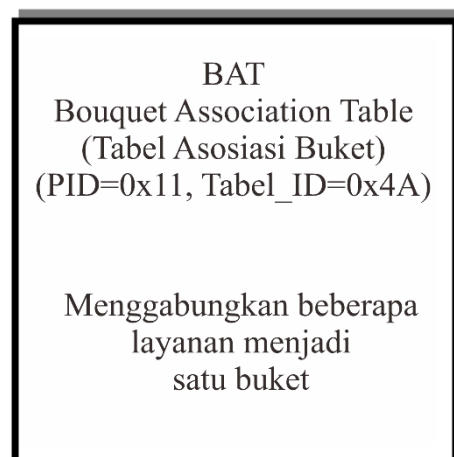
Kerabat dekat dari Service Descriptor Table adalah “Bouquet Association Table” (BAT). SDT dan BAT memiliki PID yang sama dan hanya berbeda pada ID tabel. SDT menggambarkan struktur program dari satu channel fisik, sedangkan BAT menggambarkan struktur program dari beberapa channel fisik atau sejumlah besar channel fisik.

Service Description Section		
Table id	8 bit	0x46
Section syntax indicator	1 bit	1
reserved (future use)	1 bit	1
reserved	2 bit	3
Section length	12 bit	426
Transport stream id	16 bit	0x0431
reserved	2 bit	3
Version number	5 bit	0
Current/next indicator	1 bit	1
Section number	8 bit	0
Last section number	8 bit	0
Original network id	16 bit	0x0001
reserved (future use)	8 bit	255

Service Loop		
Service id	16 bit	0x4E3A
reserved (future use)	6 bit	63
EIT schedule flag	1 bit	0
EIT present following flag	1 bit	1
Running status	3 bit	4
Free/CA mode	1 bit	0
Service descriptor loop length	12 bit	24
Service Descriptor		
Descriptor tag	8 bit	0x40
Descriptor length	8 bit	22
Service type	8 bit	0x01
Serv. provider name length	8 bit	3
Service provider name	3 char	ARD
Service name length	8 bit	16
Service name	16 char	ARD-Online-Kanal

Service Loop		
Service id	16 bit	0x4E3E
reserved (future use)	6 bit	63
EIT schedule flag	1 bit	0
EIT present following flag	1 bit	1
Running status	3 bit	4
Free/CA mode	1 bit	0
Service descriptor loop length	12 bit	17

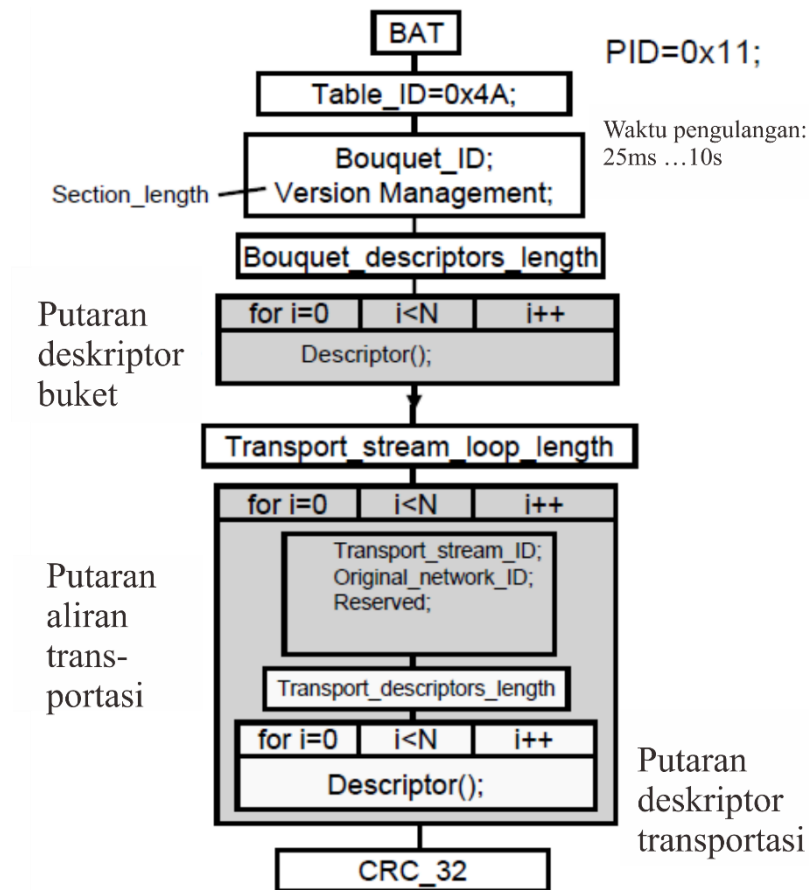
Gambar 3.35 Contoh Praktis dari SDT



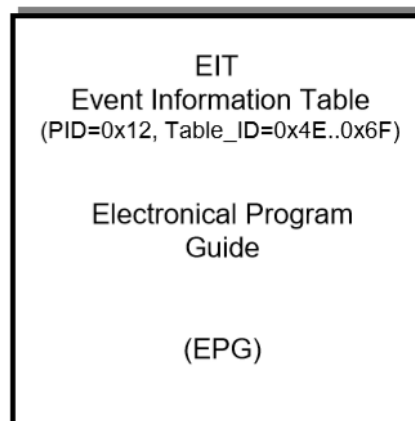
Gambar 3.36 Tabel Asosiasi Buket

BAT dengan demikian tidak lain adalah tabel program multi-channel. Tabel ini memberikan gambaran umum tentang semua layanan yang terdapat dalam grup. Penyedia program dapat menggunakan, misalnya, seluruh rangkaian channel fisik jika satu channel tidak cukup untuk mentransmisikan rangkaian lengkap program. Contohnya adalah penyedia TV berbayar "Sky". Sejumlah channel DVB satelit atau kabel digabungkan di sini untuk membentuk rangkaian channel penyedia ini. BAT terkait ditransmisikan di semua channel individu dan menghubungkan buket ini bersama-sama.

Namun, pada kenyataannya, tabel asosiasi buket sangat jarang ditemukan di Transport stream. Penyiar di Jerman, dan Premiere menyiarkan BAT untuk buket masing-masing dan terkadang BAT dapat ditemukan di jaringan penyedia jaringan kabel.



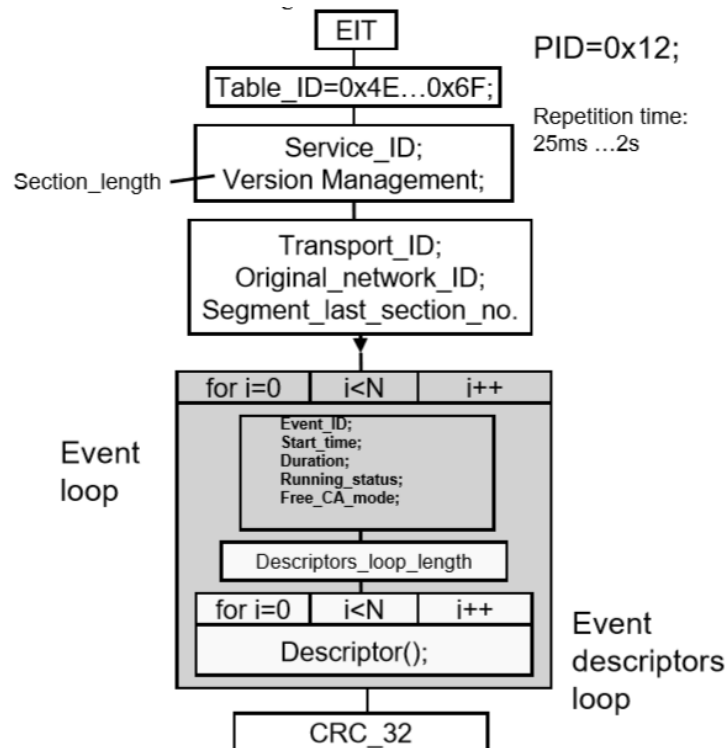
Gamabr 3.37 Struktur Tabel Asosiasi Buket/Bouquet Association Table (BAT)



Gambar 3.38 EIT

Namun seringkali, BAT tidak ada sama sekali, seperti yang telah disebutkan. Ketika memang ada, BAT memberitahu melalui apa yang disebut deskriptor tautan layanan yang mana dari ID layanan tertentu dapat ditemukan Transport stream.

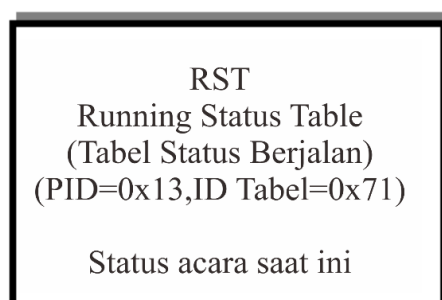
Banyak penyedia juga mentransmisikan "panduan program elektronik/electronic program guides" (EPG) yang memiliki tabel sendiri di DVB, yang disebut "tabel informasi acara/event information table", atau disingkat EIT. Tabel ini berisi waktu mulai dan berhenti yang direncanakan dari semua siaran, misalnya satu hari atau satu minggu. Struktur yang dimungkinkan di sini sangat fleksibel dan juga memungkinkan sejumlah informasi tambahan untuk ditransmisikan. Sayangnya memang benar bahwa fitur ini tidak didukung oleh semua receiver TV, atau hanya tidak cukup.



Gambar 3.39 Struktur Tabel Informasi Acara/Event Information Table (EIT)

Event Information Section			
Table id	8 bit	0x50	actual transport stream, schedule
Section syntax indicator	1 bit	1	
reserved (future use)	1 bit	1	
reserved	2 bit	3	
Section length	12 bit	1731	
Service id	16 bit	0x6DD1	← Service_ID
reserved	2 bit	3	
Version number	5 bit	27	
Current/next indicator	1 bit	1	
Section number	8 bit	8	sub_table is currently applicable
Last section number	8 bit	56	
Transport stream id	16 bit	0x044D	← Transport_stream_ID
Original network id	16 bit	0x0001	
Segment last section number	8 bit	8	
Last table id	8 bit	80	
Event Loop			
Event id	16 bit	0x4916	← Event_ID
Start time	40 bit	0xC47A 0x030000 0x003000	2000/10/17 03:00:00 00:30:00
Duration	24 bit	0x003000	← Start Time & Duration
Running status	3 bit	0	undefined
Free/CA mode	1 bit	0	free mode
Descriptors loop length	12 bit	352	
Short Event Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x4D	
Descriptor length	8 bit	9	
ISO 639 language code	3 char	deu	
Event name length	8 bit	4	
Event name	4 char	nano	
Text length	6 bit	0	
Text name	0 char		
Reserved Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x69	
Descriptor length	8 bit	3	
Descriptor Data (hex)	3 bytes	F2 E0 00	

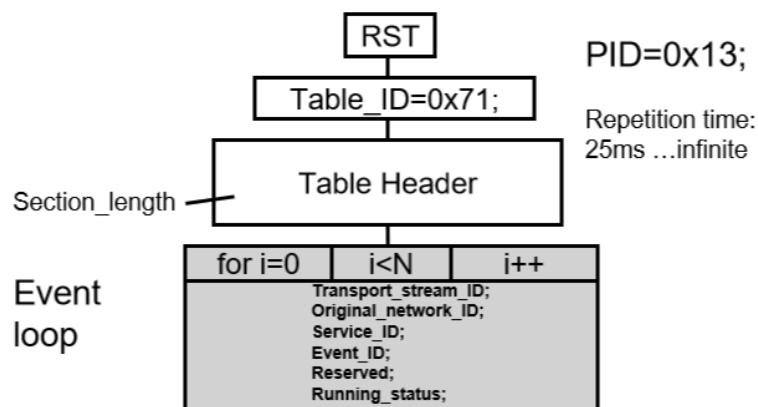
Gambar 3.40 Tabel Informasi Acara (contoh praktis)



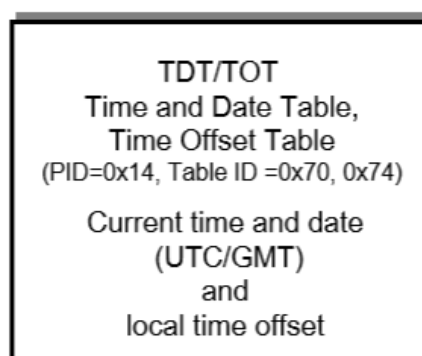
Gambar 3.41 Tabel Status Berjalan/Running Status Table (RST)

Akan tetapi, sering kali terdapat variasi dan penundaan dalam waktu mulai dan penghentian siaran yang memang direncanakan. Untuk dapat memulai dan menghentikan, misalnya perekam video pada waktu tertentu, maka informasi kontrol yang relevan ditransmisikan dalam "Tabel Status Berjalan/Running Status Table" (RST). RST dengan demikian dapat dibandingkan dengan sinyal VPS (video program system/sistem program video) dalam jalur data sinyal TV analog. RST saat ini tidak digunakan dalam praktik, atau, setidaknya, belum ditemukan oleh penulis dalam Transport stream di mana pun di dunia, kecuali Transport stream "sintetis". Sebagai gantinya, jalur data yang berisi VPS telah diadaptasi dalam DVB untuk mengontrol perekaman videodan media perekam sejenis.

Pengoperasian receiver TV juga memerlukan transmisi waktu jam saat ini dan tanggal saat ini. Ini dilakukan dalam dua tahap. Dalam "Tabel Waktu&Tanggal/Time & Date Table" (TDT), misalnya waktu jam saat ini pada meridian Derajat Nol tanpa pergeseran waktu musim panas ditransmisikan. Masing-masing offset waktu yang berlaku kemudian dapat disiarkan dalam "Time Offset Table" (TOT) untuk berbagai zona waktu. Informasi yang terkandung dalam TDT tergantung pada perangkat lunak receiver TV dan TOT dievaluasi, dan berada sejauh mana. Dukungan penuh untuk informasi waktu siaran ini akan mengharuskan receiver TV diinformasikan tentang lokasinya saat ini dan di negara yang memiliki sejumlah zona waktu seperti Australia, khususnya, harus diberikan perhatian lebih pada titik ini.



Gambar 3.42 Struktur Tabel Status Berjalan/Running Status Table (RST)



Gambar 3.43 Tabel Waktu dan Tanggal/Time and Date Table (TDT) dan Time Offset Table (TOT)

Kadang-kadang mungkin perlu untuk membatalkan informasi tertentu, terutama tabel dalam Transport stream. Setelah sinyal DVB-S diterima di stasiun utama CATV, dapat dengan mudah terjadi hal-hal seperti, misalnya NIT harus dipertukarkan atau ditimpa atau bahwa program individual harus di-render agar tidak dapat digunakan untuk relai.

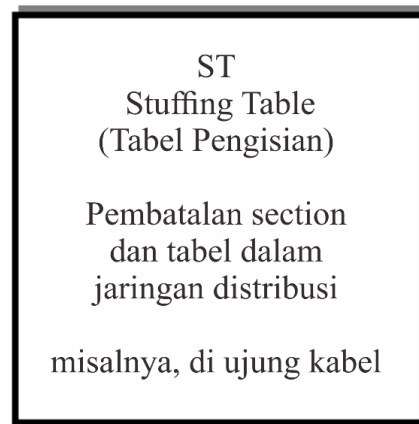
Ini dapat dilakukan dengan menggunakan "tabel isian/stuffing table" (ST) yang memungkinkan informasi dalam Transport stream ditimpa. Hal ini terjadi terutama di awal era TV digital. PID dan ID tabel untuk informasi layanan telah dialokasikan secara permanen dalam DVB pada Tabel 3.5. Tabel PSI/SI dihubungkan satu sama lain melalui pengidentifikasi yang paling bervariasi. Ini adalah PID dan pengidentifikasi khusus yang bergantung pada tabel. Di PAT, PMT_PID dihubungkan bersama melalui prog_no. Untuk setiap prog_no, sebuah PMT_PID dialokasikan yang mengacu pada paket Transport stream dengan PMT yang sesuai dari program terkait ini. Prog_no kemudian juga dapat ditemukan di header PMT masing-masing. Prog_no = 0 dialokasikan ke NIT di mana PID dari NIT dapat ditemukan.

Tabel 3.5. PID dan ID tabel dari tabel PSI/SI

Table	PID	Table_ID
PAT	0x0000	0x00
PMT	0x0020...0x1FFE	0x02
CAT	0x0001	0x01
NIT	0x0010	0x40...0x41
BAT	0x0011	0x4A
SDT	0x0011	0x42, 0x46
EIT	0x0012	0x4E...0x6F
RST	0x0013	0x71
TDT	0x0014	0x70
TOT	0x0014	0x73
ST	0x0010...0x0014	0x72

Time and Date Section			
Table id	8 bit	0x70	
Section syntax indicator	1 bit	0	
reserved (future use)	1 bit	1	
reserved	2 bit	3	
Section length	12 bit	5	
UTC time	40 bit	0xCA79 0x105827	2000/10/16 10:58:27
Time Offset Section			
Table id	8 bit	0x73 (115)	
Section syntax indicator	1 bit	0	
reserved (future use)	1 bit	0x1	
reserved	2 bit	0x3	
Section length	12 bit	26	
UTC time	40 bit	0xCA79 0x112519	2000/10/16 11:25:19
reserved	4 bit	0xF	
Descriptors loop length	12 bit	15	
Local Time Offset Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x58 (88)	
Descriptor length	8 bit	13	
Country Loop			
Country code	3 char	DEU	
Country region id	6 bit	0	no time zone extension used
reserved	1 bit	0x1	
Local time offset polarity	1 bit	0	local time is advanced to UTC
Local time offset	16 bit	0x0200	02:00
Time of change	40 bit	0xCA86 0x030000 0x0100	2000/10/29 03:00:00 01:00
Next time offset	16 bit		
CRC 32	32 bit	0xD49C603D	CRC ok

Gambar 3.44 Contoh Tabel Waktu dan Tanggal/Time and Date Table (TDT) dan Time Offset Table (TOT)

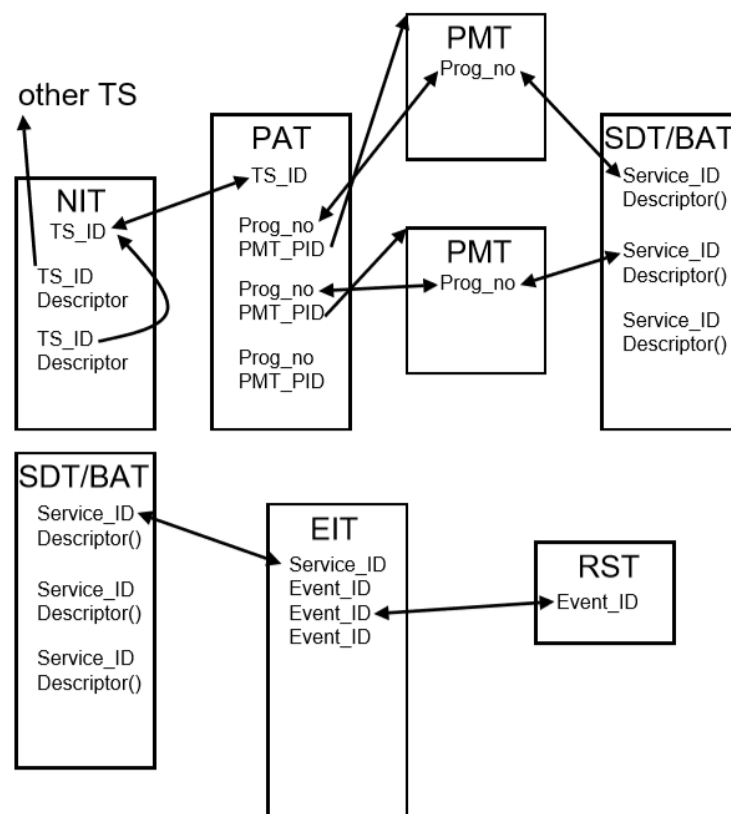


Gambar 3.45 Tabel Isian/Stuffing Table (ST)

Di NIT, parameter fisik dari semua Transport stream jaringan dijelaskan melalui TS_ID. TS_ID sesuai dengan Transport stream saat ini; tepatnya TS_ID ini dapat ditemukan di header PAT di posisi ekstensi Table ID.

Layanan (= program) yang terdapat dalam Transport stream ini tercantum dalam tabel deskriptor layanan melalui ID layanan. ID layanan harus sesuai dengan prog_no di PAT dan di PMT.

Ini berlanjut di EIT: ada EIT untuk setiap layanan. Di header EIT, table_ID_extension akan sesuai dengan service_ID dari program terkait. Di EIT, peristiwa dikaitkan dengan ini melalui event_IDs. Jika ada RST terkait, maka RST tersebut dihubungkan ke RST masing-masing melalui event_ID ini.



Gambar 3.46 Tautan antara tabel PSI/SI

Tabel 3.6. Laju pengulangan tabel PSI/SI berdasarkan MPEG/DVB

Tabel PSI/SI	Maks. Selang (tabellengkap)	Min. selang (bagiantunggal)
PAT	0,5 detik	25 ms
CAT	0,5 detik	25 ms
PMT	0,5 detik	25 ms
NIT	10detik	25 ms
SDT	2detik	25 ms
BAT	10detik	25 ms
EIT	2detik	25 ms
RST	-	25 ms
TDT	30 detik	25 ms
TOT	30 detik	25 ms

Laju pengulangan tabel PSI/SI diatur melalui Sistem MPEG-2 [ISO&IEC 13818/1] dan DVB/SI [ETS 300468] (Tabel 3.6).

3.14. PSIP menurut ATSC

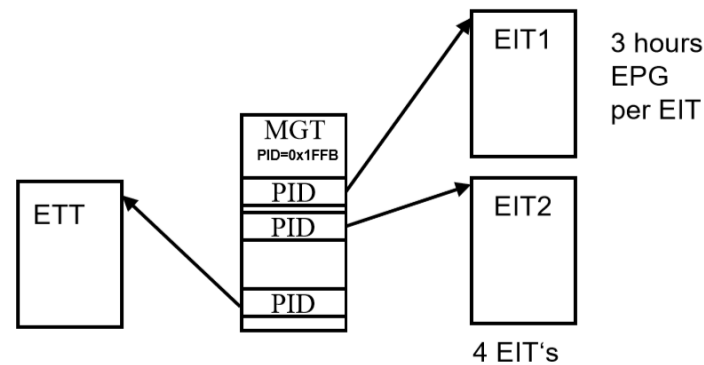
Di Indonesia, standar terpisah ditetapkan untuk TV kabel dan terrestrial digital. Ini adalah standar ATSC, di mana ATSC adalah singkatan dari Advanced Television System Committee/Komite Sistem Televisi Lanjutan. Selama pengerjaan standar ATSC, keputusan dibuat untuk menggunakan MPEG-2 transport stream dengan video MPEG-2 dan audio AC-3 Dolby Digital sebagai sinyal pita dasar. Jenis modulasi yang digunakan adalah 8 atau 16VSB. Selain itu, diakui bahwa tabel lain yang melampaui PSI diperlukan. Sebagaimana tabel SI di DVB, ATSC memiliki tabel PSIP, tercantum di bawah ini dan dijelaskan secara lebih rinci dalam teks setelahnya.

PAT	<i>Program Association Table/Program Tabel Asosiasi</i>	Informasi Spesifik Program MPEG-2 PSI
PMTs	<i>Program Map Table/Program Tabel Peta</i>	
CAT	<i>Conditional Access Table/Tabel Akses Bersyarat</i>	
----- Tabel Privat		

MGT	<i>Master Guide Table/Tabel Panduan Utama</i>	Program ATSC PSIP dan Sistem Protokol Informasi
EIT	<i>Event Information Table/Tabel Informasi Acara</i>	
ETT	<i>Extended Text Table/Perluasan Tabel Teks</i>	
STT	<i>System Time Table/Tabel Sistem Waktu</i>	
RTT	<i>Rating Region Table/Tabel Wilayah Peringkat</i>	
CVCT	<i>Cable Virtual Channel Table/Tabel Saluran Virtual Kabel</i>	
TVCT	<i>Terrestrial Virtual Channel Table/Tabel Saluran Virtual Terrestrial</i>	

Gambar 3.47 Tabel ATSC PSIP

PSIP adalah singkatan dari "Program and System Information Protocol/Protokol Informasi Program dan Sistem" dan tidak lain adalah cara lain untuk merepresentasikan informasi serupa dengan yang diberikan di bagian sebelumnya mengenai DVB SI. Di ATSC, tabel berikut digunakan: Tabel Panduan Master/Master Guide Table (MGT), Tabel Informasi Peristiwa/Event Information Table (EIT), Tabel Teks yang Diperpanjang/Extended Text Table (ETT), Tabel Waktu Sistem/System Time Table (STT), Rating Region Table (RRT), dan Cable Virtual Channel Table (CVCT) atau Terrestrial Virtual Channel Table (TVCT).



Gambar 3.48 Merujuk PSIP di MGT

Menurut ATSC, tabel PSI yang ditentukan dalam MPEG-2 dan disediakan dalam Standar MPEG digunakan untuk mengakses streaming video dan audio, misalnya Transport stream membawa satu PAT dan beberapa PMT. Informasi akses bersyarat juga dirujuk melalui CAT.

Tabel ATSC yang sebenarnya diimplementasikan sebagai "tabel pribadi". Master Guide Table, tabel utama, dapat dikatakan, berisi PID untuk beberapa tabel ATSC ini. Master Guide Table dapat dikenali dengan ID paket = 0x1FFB dan ID tabel = 0xC7. Transport stream harus berisi setidaknya empat Tabel Informasi Peristiwa (EIT-0, EIT-1, EIT-2, EIT-3) dan PID untuk EIT ini dapat ditemukan di Master Guide Table. Hingga 128 Tabel Informasi Acara lebih lanjut dimungkinkan tetapi bersifat opsional. EIT berisi bagian 3 jam dari panduan program elektronik/electronic program guide (EPG). Bersama dengan 4 EIT wajib, dengan demikian dimungkinkan untuk mencakup periode 12 jam. Lebih lanjut, Extended Text Tables dapat diakses secara opsional melalui MGT. Setiap Extended Text Table (ETT) yang ada dialokasikan ke satu EIT. Jadi, misalnya ETT-0 berisi informasi teks tambahan untuk EIT-0. Dimungkinkan untuk memiliki hingga total 128 ETT.

Dalam Virtual Channel Table, yang dapat ditampilkan baik sebagai Terrestrial Virtual Channel Table (TVCT) atau sebagai Cable Virtual Channel Table (CVCT) (tergantung pada jalur transmisi), informasi identifikasi untuk channel virtual, misalnya program, yang terdapat dalam multipleks Transport stream ditransmisikan. VCT berisi salah satunya nama program. VCT dengan demikian sebanding dengan tabel SDT di DVB.

Dalam Tabel Waktu Sistem/System Time Table (STT), semua informasi waktu yang diperlukan ditransmisikan. STT dapat dikenali dengan ID paket = 0x1FFB dan ID tabel = 0xCD. Dalam STT, GPS (Global Positioning System) waktu dan perbedaan waktu antara waktu GPS dan UTC (Universal Time Coordinated (= GMT)) ditransmisikan. Rating Region Table (RRT) dapat digunakan untuk membatasi jumlah penonton dalam hal usia atau wilayah. Selain informasi tentang wilayah (misalnya Negara Bagian Federal di AS), informasi yang berkaitan dengan usia minimum yang ditetapkan untuk program yang sedang disiarkan juga disertakan. Dengan menggunakan RRT, jenis kunci pengawasan orang tua dapat diterapkan di receiver TV. RRT dikenali oleh ID paket = 0x1FFB dan ID tabel = 0xCA.

PID dan ID Tabel dari tabel PSIP tercantum pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Tabel PSIP

Table	PID	Table ID
Program Association Table (PAT)	0x0	0x0
Program Map Table (PMT)	über PAT	0x2
Conditional Access Table (CAT)	0x1	0x1
Master Guide Table (MGT)	0x1FFB	0xC7
Terrestrial Virtual Channel Table (TVCT)	0x1FFB	0xC8
Cable Virtual Channel Table (CVCT)	0x1FFB	0xC9
Rating Region Table (RRT)	0x1FFB	0xCA
Event Information Table (EIT)	über PAT	0xCB
Extended Text Table (ETT)	über PAT	0xCC
System Time Table (STT)	0x1FFB	0xCD

3.15. Tabel ARIB menurut ISDB-T

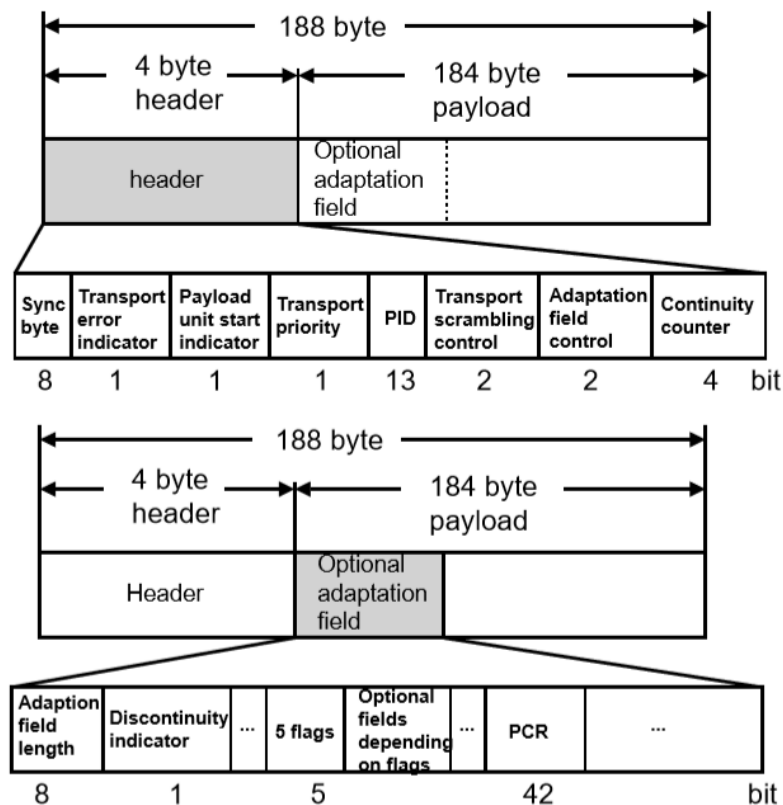
Seperti DVB (*Digital Video Broadcasting*) dan ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) juga telah menetapkan tabelnya sendiri dalam standar ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial*). Tabel ini disebut tabel ARIB (*Association of Radio Industries and Business/Asosiasi Industri Radio dan Bisnis*) berdasarkan ARIB Std. B.10. Menurut standar ARIB, tabel berikut diusulkan:

Tabel 3.8. Tabel ARIB

Jenis	Nama	Keterangan
PAT	Program Association Table	ISO/IEC 13818-1 MPEG-2
PMT	Program Map Table	ISO/IEC 13818-1 MPEG-2
CAT	Conditional Access Table	ISO/IEC 13818-1 MPEG-2
NIT	Network Information Table	seperti DVB-SI, ETS 300468
SDT	Service Description Table	seperti DVB-SI, ETS 300468
BAT	Bouquet Association Table	seperti DVB-SI, ETS 300468
EIT	Event Information Table	seperti DVB-SI, ETS 300468
RST	Running Status Table	seperti DVB-SI, ETS 300468
TDT	Time&Date Table	seperti DVB-SI, ETS 300468
TOT	Time Offset Table	seperti DVB-SI, ETS 300468
LIT	Local EventInformation Table	
ERT	Event Relation Table	
ITT	Index Transmission Table	
PCAT	Partial ContentAnnouncement Table	
ST	Stuffing Table	sepertiDVB-SI, ETS 300468
BIT	BroadcasterInformation Table	
NBIT	Network BoardInformation Table	
LDT and others	Linked Description Table	
ECM	Entitlement Control Message	
EMM	EntitlementManagement Message	
DCT	Download Control Table	
DLT	Download Table	
SIT	Selection Information Table	
SDTT	Software DownloadTrigger Table	
DSM-CC	Digital Storage MediaCommand & Control	

Tabel 3.9. PID dan ID tabel dari tabel ARIB

Tabel	PID	ID tabel
PAT	0x0000	0x00
CAT	0x0001	0x01
PMT	über PAT	0x02
DSM-CC	über PMT	0x3A...0x3E
NIT	0x0010	0x40, 0x41
SDT	0x0011	0x42, 0x46
BAT	0x0011	0x4A
EIT	0x0012	0x4E...0x6F
TDT	0x0014	0x70
RST	0x0013	0x71
ST	semuanyakecuali0x0000, 0x0001, 0x0014	0x72
TOT	0x0014	0x73
DIT	0x001E	0x7E
SIT	0x001F	0x7F
ECM	via PMT	0x82...0x83
EMM	via CAT	0x84...0x85
DCT	0x0017	0xC0
DLT	via DCT	0xC1
PCAT	0x0022	0xC2
SDTT	0x0023	0xC3
BIT	0x0024	0xC4
NBIT	0x0025	0xC5, 0xC6
LDT	0x0025	0xC7
LIT	via PMT atau 0x0020	0xD0



Gambar 3.49 Detail lainnya dalam Transport stream MPEG-2

Tabel BAT, PMT dan CAT sepenuhnya sesuai dengan MPEG-2 PSI. Begitu pula dengan NIT, SDT, BAT, EIT, RST, TDT. Tabel TOT dan ST memiliki struktur yang sama persis seperti pada DVB SI dan juga memiliki fungsi yang sama. Standar ARIB dengan demikian juga mengacu pada ETSI 300468.

Tabel DTMB (Cina)

Cina juga memiliki standar televisi terrestrial digital mereka sendiri bernama DTMB – Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting. Dapat diasumsikan bahwa ada juga tabel independen atau yang dimodifikasi atau disalin dengan signifikansi yang sebanding dengan DVB-SI tetapi belum ada publikasi mengenai modifikasi yang dibuat.

3.16. Detail Penting Lainnya dari Transport stream MPEG-2

Pada bagian di bawah ini, rincian lain dari Transport stream MPEG-2 akan dibahas secara lebih rinci. Selain byte sinkronisasi (sinkronisasi ke aliran transport) yang telah disebutkan, indikator kesalahan Transport stream dan pengenalan paket/packet identifier (PID), header Transport stream juga berisi sebagai berikut:

- Indikator Start Unit Payload/Payload Unit Start Indicator
- Prioritas Transportasi
- Transport Scrambling Control
- Kontrol Bidang Adaptasi dan Penghitung Kontinuitas

Indikator Start Unit Payload adalah bit yang menandai awal dari sebuah payload. Jika bit diatur, berarti muatan baru dimulai dalam paket Transport stream : paket Transport stream ini berisi awal dari paket PES video atau audio plus header PES, atau awal tabel plus ID tabel sebagai byte pertama di bagian payload dari paket Transport stream.

Prioritas Transportasi

Bit ini menunjukkan bahwa paket Transport stream ini memiliki prioritas lebih tinggi daripada paket TS lainnya dengan PID yang sama.

Bit Kontrol Pengacakan Transportasi

Kedua Transport Scrambling Control Bits menunjukkan apakah bagian payload dari paket TS diacak atau tidak. Jika kedua bit diset ke nol, ini berarti bahwa bagian payload ditransmisikan tanpa diacak. Jika salah satu dari dua bit tidak nol, maka payload ditransmisikan secara acak. Tabel Akses Bersyarat diperlukan untuk menguraikannya.

Bit Kontrol Bidang Adaptasi

Kedua bit ini menunjukkan apakah ada header yang diperluas, yaitu bidang adaptasi, atau tidak. Jika kedua bit diset ke nol, tidak ada bidang adaptasi. Jika ada bidang adaptasi, bagian payload dipersingkat dan header menjadi lebih panjang tetapi total panjang paket tetap konstan 188 byte.

Penghitung Kontinuitas

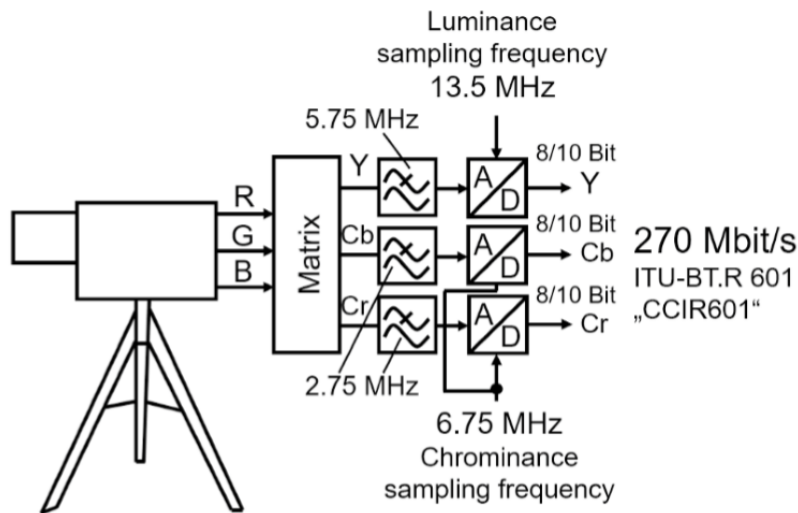
Setiap paket aliran transport dengan PID yang sama membawa counter 4-bitnya sendiri. Ini adalah penghitung kontinuitas yang secara terus menerus menghitung dari 0- 15 dari paket TS ke satu sama lain dan kemudian memulai lagi dari 0. Penghitung kontinuitas memungkinkan untuk mengenali paket TS yang hilang dan mengidentifikasi datastream yang salah (konter diskontinuitas) yang ditunjukkan dengan Indikator Diskontinuitas di bidang adaptasi.

BAB 4

SINYAL VIDEO DIGITAL MENURUT ITU-BT.R.601 (CCIR 601)

Sinyal video digital terkompresi telah digunakan selama beberapa waktu di studio televisi. Berdasarkan Standar CCIR asli CCIR 601, ditetapkan sebagai ITU-BT.R601 hari ini, sinyal data ini diperoleh sebagai berikut:

Untuk memulainya, kamera video memasok sinyal analog Merah, Hijau dan Biru (R, G, B). Sinyal-sinyal ini dimatrikskan di kamera untuk membentuk sinyal luminance (Y) dan chrominance (perbedaan warna CB dan CR).



Gambar 4.1. Digitalisasi luminance dan chrominance

Sinyal-sinyal ini dihasilkan dengan penambahan atau pengurangan sederhana R = Merah, G = Hijau, B = Biru:

$$Y = (0.30 \cdot R) + (0.59 \cdot G) + (0.11 \cdot B);$$

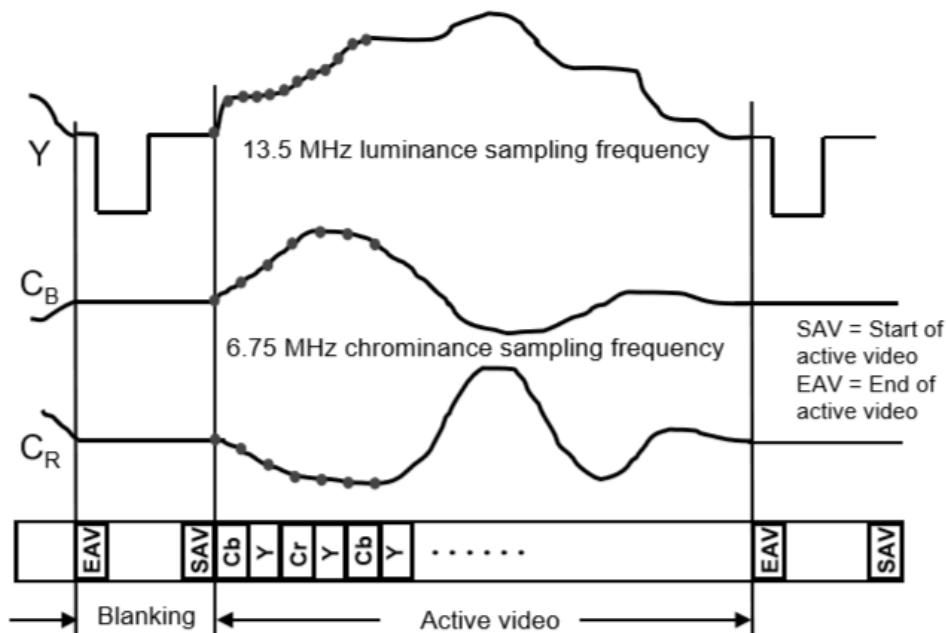
$$C_B = 0.56 \cdot (B - Y);$$

$$C_R = 0.71 \cdot (R - Y);$$

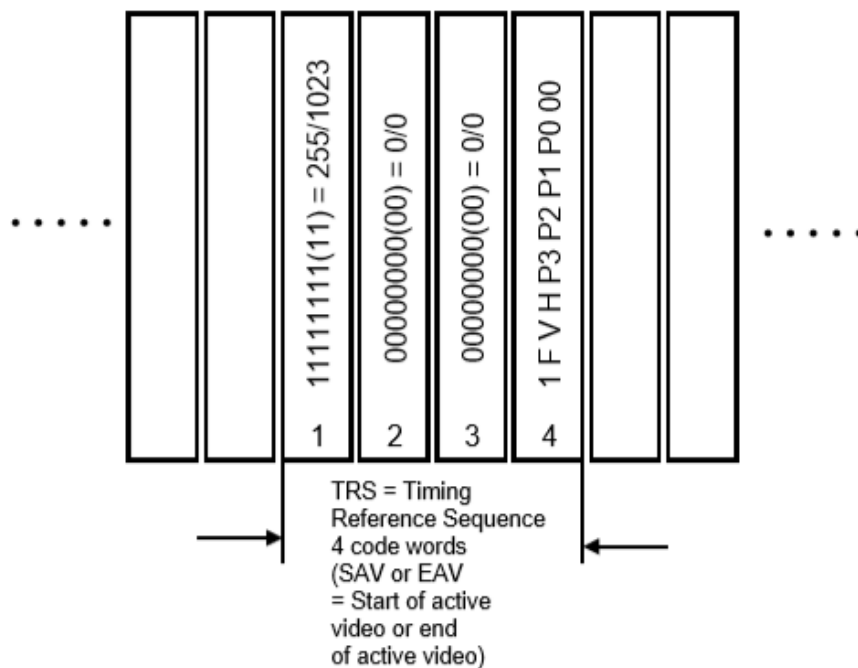
Bandwidth luminance kemudian dibatasi hingga 5,75 MHz menggunakan filter low-pass. Dua sinyal perbedaan warna dibatasi hingga 2,75 MHz, yaitu resolusi warna jelas berkurang dibandingkan dengan resolusi kecerahan. Prinsip ini sudah tidak asing lagi di buku anak-anak di mana kesan ketajaman hanya disampaikan dengan garis-garis hitam yang tercetak. Di televisi analog (NTSC, PAL, SECAM), juga, resolusi warna dikurangi menjadi sekitar 1,3 MHz. Sinyal Y, CB dan CR yang difilter low-pass kemudian diambil sampelnya dan didigitalkan dengan menggunakan konverter analog/digital. Konverter A/D di cabang pencahayaan beroperasi pada frekuensi pengambilan sampel 13,5 MHz dan dua sinyal perbedaan warna CB dan CR diambil sampelnya pada masing-masing 6,75 MHz.

Ini memenuhi persyaratan teorema sampling: Tidak ada lagi komponen sinyal di atas setengah frekuensi sampling. Ketiga konverter A/D semuanya dapat memiliki resolusi 8 atau 10 bit. Dengan resolusi 10 bit, ini akan menghasilkan kecepatan data kotor 270 Mbit/s yang cocok untuk distribusi di studio tetapi terlalu tinggi untuk transmisi TV melalui channel yang ada (terestrial, satelit atau kabel). Sampel dari ketiga konverter A/D dimultipleks dengan urutan sebagai berikut: CB Y CR Y CB Y ... Dalam sinyal video digital ini, nilai luminansi bergantian dengan nilai CB atau nilai CR dan ada dua kali lebih banyak nilai Y karena ada

nilai CB atau CR. Ini disebut resolusi 4:2:2, dibandingkan dengan resolusi segera setelah matriks, yang sama untuk semua komponen, yaitu 4:4:4.



Gambar 4.2. Pengambilan sampel komponen sesuai dengan ITU-BT.R601



Gambar 4.3. Kata kode SAV dan EAV dalam sinyal ITU-BT.R601

Sinyal digital ini dapat hadir dalam bentuk paralel pada konektor sub-D 25 pin atau secara serial pada soket BNC 75 Ohm. Antarmuka serial disebut SDI yang merupakan singkatan dari antarmuka digital serial dan telah menjadi antarmuka yang paling banyak digunakan karena kabel BNC 75 Ohm konvensional dapat digunakan.

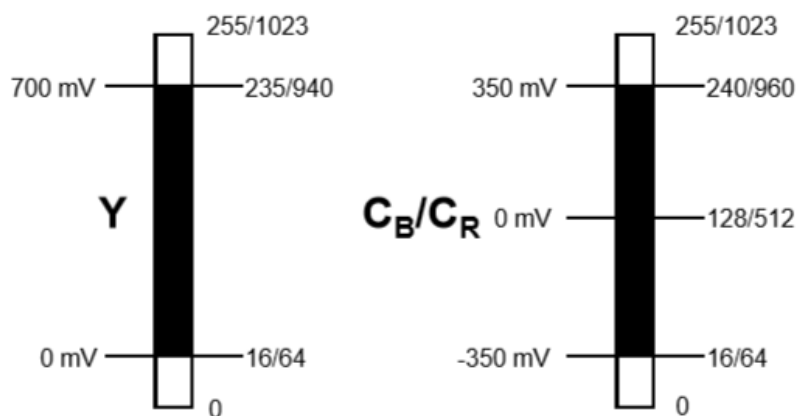
Dalam datastream, awal dan akhir sinyal video aktif ditandai dengan kata kode khusus yang disebut SAV (mulai video aktif) dan EAV (akhir video aktif), cukup alami (Gbr. 4.2.). Antara EAV dan SAV, ada interval blanking horizontal yang tidak berisi informasi apa pun yang terkait dengan sinyal video, yaitu sinyal digital tidak berisi denyut sinkronisasi. Dalam

interval pengosongan horizontal, informasi tambahan dapat ditransmisikan seperti, mis. sinyal audio (audio tertanam).

Kata kode SAV dan EAV masing-masing terdiri dari empat kata kode 8 atau 10 bit. SAV dan EAV dimulai dengan satu kata kode di mana semua bit diatur ke satu, diikuti oleh dua kata di mana semua bit diatur ke nol. Kata kode keempat berisi informasi tentang bidang masing-masing atau interval pengosongan vertikal, masing-masing. Kata kode keempat ini digunakan untuk mendeteksi awal bingkai, bidang dan area gambar aktif dalam arah vertikal. Bit paling signifikan dari kata kode keempat selalu 1. Bit berikutnya (bit 8 dalam transmisi 10 bit atau bit 6 dalam transmisi 8 bit) menandai bidang; jika bit ini diatur ke nol, itu adalah garis bidang pertama dan jika diatur ke satu, itu adalah garis bidang kedua. Bit berikutnya (bit 7 dalam transmisi 10 bit atau bit 5 dalam transmisi 8 bit) menandai area video aktif dalam arah vertikal. Jika bit ini disetel ke nol, maka ini adalah area video aktif yang terlihat dan jika tidak, ini adalah interval pengosongan vertikal. Bit 6 (10 bit) atau bit 4 (8 bit) memberikan informasi tentang apakah kata kode saat ini adalah SAV atau EAV. Ini adalah SAV jika bit ini diset ke nol dan EAV jika tidak. Bit 5...2 (10 bit) atau 3...0 (8 bit) digunakan untuk proteksi kesalahan kata kode SAV dan EAV. Kata kode 4 dari urutan referensi waktu (TRS) berisi informasi berikut:

- F = Bidang (0 = bidang 1, 1 = bidang 2)
- V = Pengosongan vertikal (1 = interval pengosongan vertikal aktif)
- H = Identifikasi SAV/EAV (0 = SAV, 1 = EAV)
- P0, P1, P2, P3 = Proteksi bit (kode Hamming)

Baik sinyal luminance (Y) maupun sinyal perbedaan warna (CB, CR) tidak menggunakan rentang dinamis penuh yang tersedia untuk mereka. Ada rentang terlarang yang dicadangkan sebagai ruang kepala, di satu sisi, dan, di sisi lain, memungkinkan SAV dan EAV untuk dengan mudah diidentifikasi. Sinyal Y berkisar antara 16 dan 64 desimal (8 bit) atau 240 dan 960 desimal (10 bit).



Gambar 4.4. diagram tingkat

Rentang dinamis CB dan CR adalah 16 hingga 240 desimal (8 bit) atau 64 hingga 960 desimal (10 bit). Area di luar rentang ini digunakan sebagai ruang kepala dan untuk tujuan identifikasi sinkronisasi.

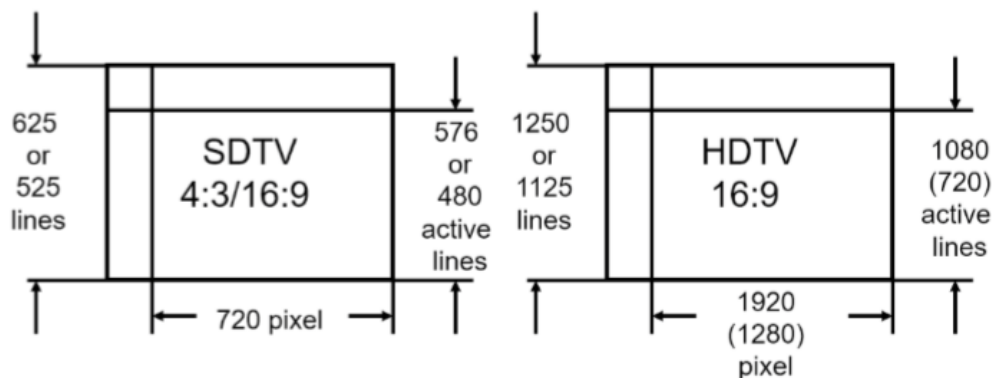
Sinyal video ini sesuai dengan ITU-BT.R601, yang biasanya tersedia sebagai sinyal SDI (Serial Digital Interface), membentuk sinyal input ke enkoder MPEG SDTV.

Secara fisik sinyal SDI diacak dan dikodekan NRZI (NRZI = Kode Non-Return-to-Zero Inverted). Spektrum SDI adalah fungsi $\sin(x)/x$ dengan nol pertamanya pada 270 MHz.

BAB 5

FORMAT SINYAL VIDEO UNTUK HDTV DAN UHDTV

Dari tahun 1950-an hingga sekitar tahun 2002, TV analog dan digital memiliki resolusi 625 atau 525 baris. Format ini juga disebut Standard Definition Television atau SDTV. Namun, banyak negara sudah mengudara dalam format High Definition Television - HDTV -. Ini meningkatkan jumlah garis yang terlihat menjadi 1080 dan jumlah piksel yang terlihat menjadi 1920 per baris. Dan itu belum berakhir dengan HDTV: Ultra High Definition, memberikan gambar layar TV yang lebih tajam, sudah hadir.



Gambar 5.1. Resolusi SDTV dan HDTV

Sejak akhir 1980-an, ada upaya untuk beralih dari SDTV ke HDTV. Upaya pertama adalah MUSE Jepang, yang dikembangkan oleh penyiar Jepang NHK (Nippon Hoso Kyokai). Eropa juga mengerjakan HDTV pada akhir 1980-an, tetapi sistem HD-MAC-nya (*High Definition Multiplexed Analog Components*) tidak pernah dipasarkan. Indonesia, Jepang, AS dan Australia saat ini menggunakan MPEG-2 untuk implementasi HDTV mereka. Di Eropa, pengenalan HDTV menggunakan format MPEG-4-AVC dimulai pada tahun 2003 tetapi HDTV baru benar-benar berkembang setelah tahun 2010; dan segera setelah menjadi standar di ruang keluarga, perangkat UHDTV muncul di Berlin Radio Show pada tahun 2013, untuk dipasarkan dalam waktu kurang dari setahun meskipun tidak ada konten yang tersedia untuk itu. Sementara itu, kamera UHDTV telah muncul bahkan untuk penggunaan domestik.

5.1. Format Gambar

Resolusi layar yang diketahui dalam piksel dan rasio aspek layar masing-masing (lebar/tinggi) adalah sebagai berikut:

- VGA 640 x 480 (4:3)
- SVGA 800 x 600 (4:3)
- XGA 1024 x 768 (4:3)
- SXGA 1280 x 1024 (5:4)
- UXGA 1600 x 1200 (4:3)
- HDTV 1920 x 1080 (16:9)
- QXGA 2048 x 1536 (4:3)

Awalnya, HDTV memiliki dua kali jumlah baris dengan dua kali jumlah piksel per baris dibandingkan dengan gambar definisi standar.

Ini akan menghasilkan :

- total 1250 baris dengan 1440 piksel aktif (4:3) dan 1152 baris aktif untuk sistem 625-baris, dan

- total 1050 garis dengan 1440 piksel aktif (4:3) dan 960 garis aktif untuk sistem 525 garis untuk sistem HDTV ini.

Laju medan yang biasa adalah 50 Hz untuk sistem 625 channel dan 60 Hz untuk sistem 525 channel, karena frekuensi listrik yang digunakan di negara-negara yang pertama kali mengembangkan teknologi tersebut. Transisi ke HDTV disertai dengan dorongan untuk mengubah rasio aspek menjadi 16:9 dari rasio 4:3 yang biasanya digunakan dengan SDTV, meskipun SDTV juga digunakan untuk menyiarkan siaran 16:9.

Namun, resolusi yang digunakan di AS untuk ATSC dan HDTV adalah 1280 x 720 pada 60 Hz, sedangkan resolusi HDTV yang biasa digunakan di atas DVB-T yang digunakan di Australia adalah 1920/1440 x 1080 piksel pada 50 Hz.

Format	Horizontal	Vertical	Aspect Ratio	Pixels
VHS	320	240	4:3	76800
SDTV	720	576	4:3/16:9	414720
VGA	640	480	4:3	307200
HDTV	1920 1280	1080 720	16:9	2073600 921600
WUXGA	1920	1200	16:10	2304000
2K	2048	1536	4:3	3145728
UHDV-1	3840	2160	16:9	2359296
4K	4096	3072	4:3	12582912
UHDV-2	7680	4320	16:9	33177600
UHXGA	7680	4800	16:10	36864000
8K	8192	6144	4:3	50331648

Tabel 5.1. Format gambar

Aspect ratio	Known as	Application
4:3 (1.33:1)		TV
16:9 (1.78:1)	Widescreen TV	TV
1.85:1	Widescreen	Cinema
2.35:1	Cinemascope	Cinema
16:10		PC

Tabel 5.2. Rasio aspek

Pada awal 2004, Eropa mulai menayangkan EURO1080, channel HDTV berkode MPEG-2 melalui satelit, menggunakan 1080 jalur aktif dan resolusi 1920 piksel per baris pada kecepatan medan 50 Hz. Channel ini kemudian diubah namanya menjadi HD1 dan format transmisinya diubah. Ketika HDTV diluncurkan di Eropa, keputusan dibuat untuk menggunakan pengkodean MPEG-4 dua kali lebih efisien dibandingkan MPEG-4/Part-10 H.264 – Pengodean Video (AVC, Pengodean Video Lanjutan).

5.2. Sinyal Baseband HDTV Tidak Terkompresi

Bagian berikut menjelaskan sinyal pita dasar HDTV tidak terkompresi sebagaimana didefinisikan dalam ITU-R BT.709 dan ITU-R BT.1120.

ITU secara umum telah menyetujui jumlah channel total 1250 channel untuk sistem 50 Hz dan 1125 channel untuk sistem 60 Hz, keduanya dengan 1080 channel aktif. Jumlah piksel aktif per baris adalah 1920 di kedua sistem. Format gambar dengan 1920 piksel x 1080 baris ini disebut Common Image Format (CIF). Laju pengambilan sampel sinyal luminansi adalah 74,25 MHz (Gbr. 5.2), dan format Y:CB:CR adalah 4:2:2. Sampling rate dari komponen perbedaan warna adalah $0,5 \times 74,25 \text{ MHz} = 37,125 \text{ MHz}$. Untuk sistem 1250-garis dengan laju medan 50 Hz, ITU-R.BT 709 menetapkan 72 MHz dan 36 MHz untuk laju pengambilan sampel luminansi dan chrominance, masing-masing. Untuk menghindari aliasing, penyaringan low-pass digunakan sebelum pengambilan sampel untuk membatasi bandwidth sinyal luminance hingga 30 MHz dan bandwidth sinyal chrominance hingga 15 MHz.

Untuk sistem 1125/60 (Gbr. 5.2) dan resolusi 10 bit, ini menghasilkan kecepatan data fisik kotor sebesar

$$Y : 74.25 \times 10 \text{ Mbps} = 742.5 \text{ Mbps}$$

$$C_B : 0.5 \times 74.25 \times 10 \text{ Mbps} = 371.25 \text{ Mbps}$$

$$C_R : 0.5 \times 74.25 \times 10 \text{ Mbps} = 371.25 \text{ Mbps}$$

Kecepatan data kotor 1,485 Gbps (1125/60)

Untuk sistem 1250/50 (Gbr. 5.2) yang menggunakan laju sampling agak lebih rendah, laju data fisik bruto pada resolusi 10 bit adalah

$$Y: 72 \times 10 \text{ Mbps} = 720 \text{ Mbps}$$

$$CB: 0.5 \times 72 \times 10 \text{ Mbps} = 360 \text{ Mbps}$$

$$CR: 0.5 \times 72 \times 10 \text{ Mbps} = 360 \text{ Mbps}$$

Kecepatan data kotor(1250/50)

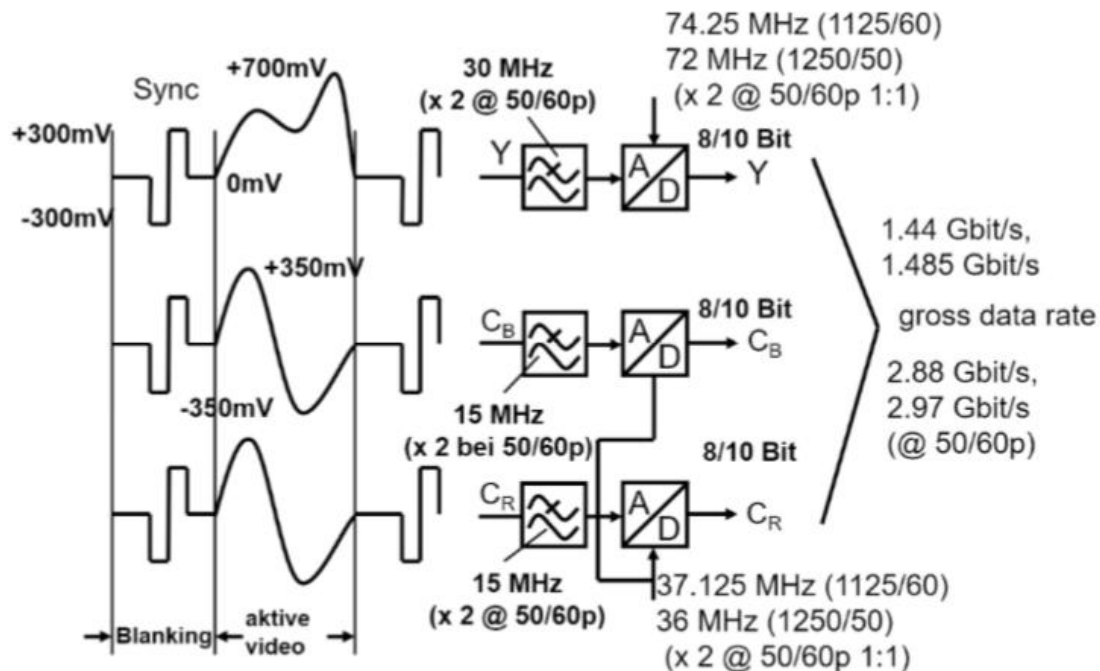
Metode pemindaian dapat interlaced atau progresif. Pemindaian progresif terutama digunakan pada tampilan panel datar seperti layar LCD dan OLED di mana teknologi ini hanya mendukung rendering layar penuh dan interlacing dapat menyebabkan artefak yang tidak menarik. Untuk bidang 50/60 yang dipindai secara progresif, kecepatan pengambilan sampel digandakan menjadi 148,5 MHz / 144 MHz untuk sinyal pencahayaan dan 74,2 MHz / 72 MHz untuk komponen perbedaan warna, dengan kecepatan data kotor juga digandakan menjadi 2,97 Gbps / 2,88 Gbps.

Struktur sinyal data HDTV digital tidak terkompresi sesuai dengan ITU-R BT.601. Standar ini juga mendefinisikan antarmuka paralel dan serial (HDSOI).

Produsen receiver Eropa telah menetapkan logo "HD Ready" dan "Full HD" untuk mengidentifikasi karakteristik layar atau proyektor. "HD Ready" mendefinisikan layar atau proyektor yang menyediakan fitur berikut:

- resolusi fisik setidaknya 720 baris
- Rasio aspek 16:9

- dukungan untuk resolusi 1280 x 720 pada kecepatan bidang 50 Hz atau 60 Hz, progresif
- dukungan untuk resolusi 1920 x 1080 pada kecepatan bidang 50 Hz atau 60 Hz, interlaced
- antarmuka analog Y Pb Pr
- antarmuka DVI atau HDMI digital
- Enkripsi HDCP di antarmuka digital



Gambar 5.2. Pengambilan sampel sinyal HDTV (Televisi Definisi Tinggi) sesuai dengan ITU-R.BT.709

Tabel 5.3. Spesifikasi format produksi HD 1920x1080

Sistem HDTV	1125/60	1125/60	1125/50 atau 1250/60	1125/50 atau 1250/60
Jumlah jalur aktif	1080	1080	1080	1080
Laju bidang dan laju bingkai	60 Hz interlaced (2:1)	60 MHz progressive (1:1)	60 Hz interlaced (2:1)	50 MHz progressive (1:1)
Frekuensi garis	33.75 kHz	67.5 kHz	31.25 kHz	62.5 kHz
Rasio aspek	16:9	16:9	16:9	16:9
Sampel per jalur aktif	1920	1920	1920	1920
Jumlah jalur aktif	1080	1080	1080	1080
Frekuensi pengambilan sampel Y	74.25 MHz	148.5 MHz	74.25 MHz	148.5 MHz
Periode pengambilan sampel Y 1	13.46 ns	6.73 ns	13.46 ns	6.73 ns
Durasi baris aktif	25.85µs	25.85µs	25.85µs	12.92µs
Interval pengosongan horizontal	12.7%	12.7%	19.2%	19.2%

DVI (Digital Visual Interface), yang sudah tidak asing lagi di dunia PC di mana ia telah menggantikan antarmuka VGA tradisional, memungkinkan kecepatan data 1,65 Gbps. HDMI (High Definition Multimedia Interface) mendukung kecepatan data hingga 18

Gbps dan mengangkut gambar dan suara. HDCP (Perlindungan Konten Digital Bandwidth Tinggi) melindungi konten HD digital pada antarmuka DVI dan HDMI dari penyalinan yang tidak sah seperti yang dipersyaratkan oleh industri film. Antarmuka HDMI, yang saat ini tersedia dalam versi 1.4a dan 2.0, telah menjadi antarmuka standar di perangkat multimedia seperti layar panel datar, pemutar disk Blu-ray, kamera, proyektor, dll. serta di PC. Perangkat yang membuktikan versi HDMI 2.1 diharapkan pada 2019.

"Full HD" memberikan resolusi piksel fisik 1920 x 1080 penuh, tidak seperti "HD Ready". Layar panel datar yang tersedia saat ini setidaknya memiliki resolusi "Full HD", HD Ready adalah sejarah. Banyak display di pasaran sudah mendukung resolusi UHD.

HDTV telah diluncurkan, tetapi pesaing berikutnya, UHDTV, sudah siap dan sudah tersedia untuk beberapa layanan streaming VoD.

5.3. Sinyal Antarmuka Video Fisik Hingga UHDTV

Sekarang mari lihat semua format sinyal video yang saat ini digunakan di studio hingga UHDTV, tercantum dalam Tabel 5.3. Sampai saat ini, sinyal video telah ditransfer melalui kabel koaksial 75 Ohm (warna: hijau). Formatnya berkisar dari sinyal CCVS analog dengan bandwidth 5 MHz melalui SDI dan HD-SDI yang mendukung masing-masing 270 Mbps dan 1,485 Gbps, hingga penggunaan empat kabel koaksial 75 Ohm paralel dengan kecepatan data gabungan 12 Gbps (Quad 3G /HD/SDI) digunakan di UDTV.

Selama beberapa dekade, bandwidth sinyal video analog adalah 5 MHz, dan meskipun mereka hampir tidak memainkan peran apa pun di kalangan profesional, hampir semua terminal dari layar panel datar hingga ponsel, proyektor, dll. masih dilengkapi dengan input atau output video analog dengan pilihan PAL, SECAM atau format NTSC. Sejak tahun 1990-an, format sinyal kamera yang digunakan di studio adalah SDI (Serial Digital Interface) dengan resolusi 10 bit dan kecepatan data 270 Mbps untuk SDTV. HDTV juga semakin berkembang sejak sekitar tahun 2003. Studio menggunakan sinyal HD-SDI untuk format ini, memberikan kecepatan data 1,485 Mbps pada resolusi 10 bit. Format sinyal kamera yang umum di sini biasanya 1080i. Kecepatan refresh yang lebih tinggi membutuhkan kecepatan data yang lebih tinggi. Langkah selanjutnya ke arah ini adalah 3G-HDSDI yang sesuai dengan sinyal TV digital definisi tinggi dengan kecepatan data hingga 3 Gbps melalui kabel koaksial 75 Ohm. Beberapa teknologi juga menggunakan dua kabel koaksial secara paralel, seperti misalnya Dual-Link-HD-SDI. Ada juga beberapa aplikasi UHDTV saat ini yang menggunakan empat kabel koaksial 75 Ohm paralel untuk mendistribusikan sinyal UHDTV hingga 12 Gbps dalam kasus Quad-3G-HD-SDI, dengan masing-masing kabel Quad-3G-HD-SDI mentransfer satu keempat dari gambar UHDTV. Masa depan akan membawa media fisik lainnya ke dalam bermain, mis. kabel CAT6 dengan konektor RJ45 untuk sinyal 802.AVB atau "SDI over IP" sebagaimana ditentukan dalam standar SMPTE2022.

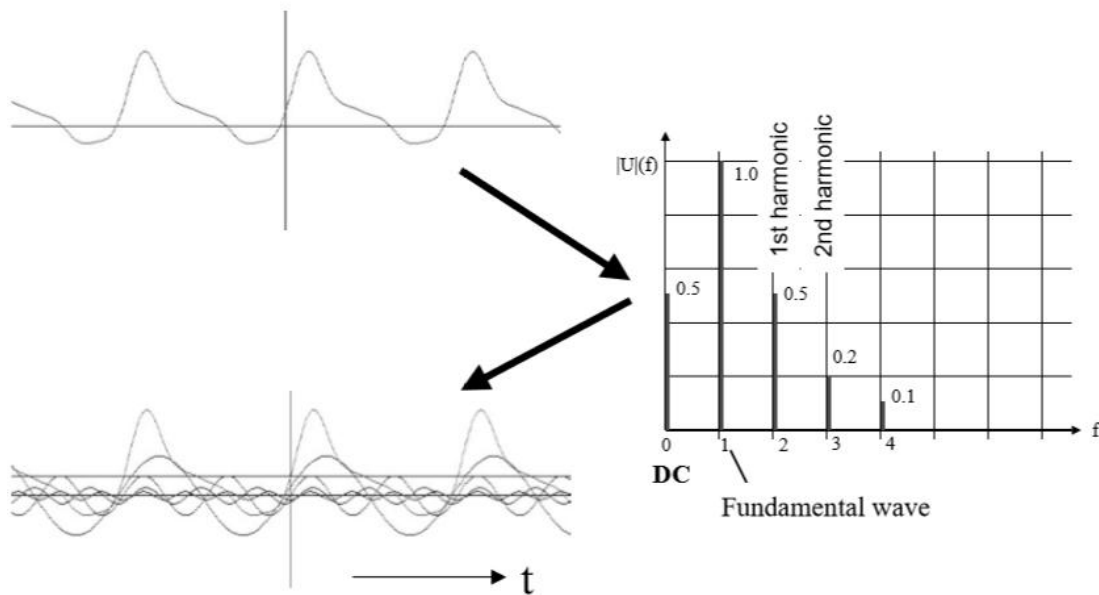
Tabel 5.4. Format sinyal video fisik hingga UHD TV

Format Sinyal Video	Antarmuka fisik	Tingkat Data	Standar	Format
SDI Serial Digital Interface	75 Ohm, coax, BNC	270 Mbps	ITU-T B.801	satu datastream melalui satu kabel
HD-SDI High Definition Serial Digital Interface	75 Ohm, coax, BNC	1.485 Gbps	ITU-T B1120-3	satu datastream melalui satu kabel
Dual Link HD-SDI	2 x 75 Ohm, coax	2 x 1.485 Gbps		satu datastream melalui 2 kabel 1080p50/60 4:2:2 atau 1080p50/60 4:4:4
3G/HD/SDI	75 Ohm, coax	3 Gbps		satu datastream melalui satu kabel 1080p50/60 4:2:2 atau 1080p50/60 4:4:4
Dual Stream 3G/HD/SDI	2 x 75 Ohm, coax	3 Gbps		2 datastream dengan masing-masing 1,485 Gbps (1080p 4:2:2) + (1080p 4:2:2) mis. untuk saluran kiri dan kanan 3D
Quad 3G-HD-SDI	4 x 75 Ohm, coax	12 Gbps		satu datastream melalui 4 kabel
802.AVB	Gigabit Ethernet, RJ45			Ethernet, RJ45
SDI over IP	Gigabit Ethernet		SMPTE2022	AVB = Audio Video Bridge

BAB 6

TRANSFORMASI KE- DAN DARI DOMAIN FREKUENSI

Dalam bab ini, prinsip-prinsip transformasi ke dan dari domain frekuensi dibahas. Meskipun menjelaskan metode yang digunakan secara umum di seluruh bidang komunikasi listrik, pengetahuan menyeluruh tentang prinsip-prinsip ini sangat penting untuk memahami bab-bab berikutnya tentang pengkodean video, pengkodean audio dan *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM), yaitu DVB-T dan DAB. Para ahli, tentu saja, dapat dengan mudah melewati bab ini.

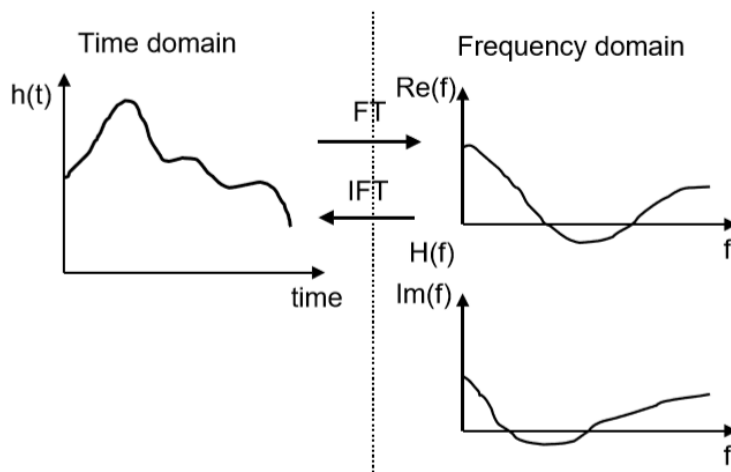


$$u(t) = 0.5 + 1.0\sin(t+0.2)+0.5\sin(2t)+0.2\sin(3t-1)+0.1\sin(4t-1.5);$$

Gambar 6.1. Analisis Fourier dari sinyal domain waktu periodik

$$H(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)e^{-j2\pi ft} dt; \text{ Fourier Transform (FT)}$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{j2\pi ft} df; \text{ Inverse Fourier Transform (IFT)}$$



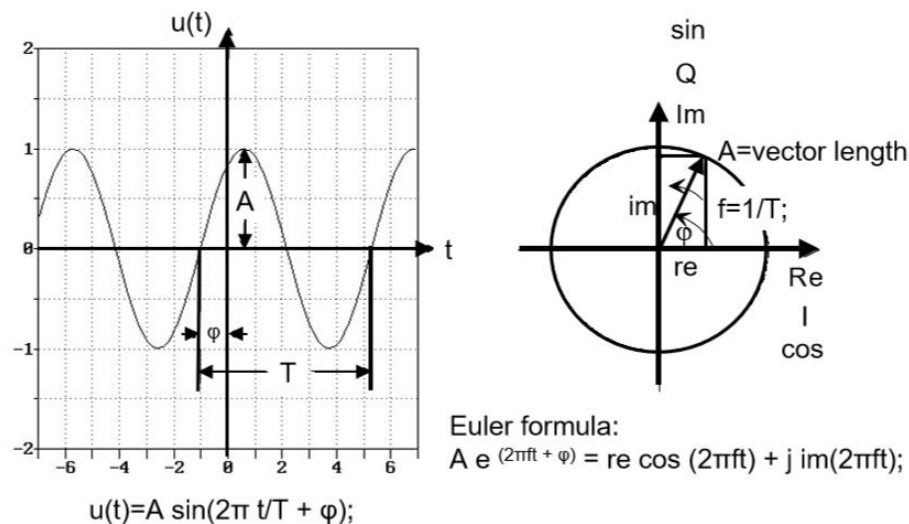
Gambar 6.2. Fourier Transform

Sinyal biasanya direpresentasikan sebagai variasi sinyal terhadap waktu. Sebuah osiloskop, misalnya, menunjukkan sinyal listrik, tegangan, dalam domain waktu. Voltmeter hanya menyediakan beberapa parameter dari sinyal listrik ini, mis. komponen DC dan nilai RMS. Kedua parameter ini juga dapat dihitung dari variasi tegangan dengan menggunakan osiloskop digital modern. Sebuah penganalisis spektrum menunjukkan sinyal dalam domain frekuensi. Dimungkinkan untuk menganggap sinyal domain waktu apa pun sebagai terdiri dari sinyal sinusoidal dalam jumlah tak terbatas dengan amplitudo, fase, dan frekuensi tertentu.

Sinyal domain waktu diperoleh dengan menjumlahkan semua sinyal sinusoidal pada setiap titik waktu, yaitu sinyal asli diperoleh dari superposisi. Penganalisis spektrum, bagaimanapun, hanya menunjukkan kepada informasi tentang amplitudo atau kekuatan sinyal-bagian sinusoidal ini, harmonik.

6.1. Fourier Transform

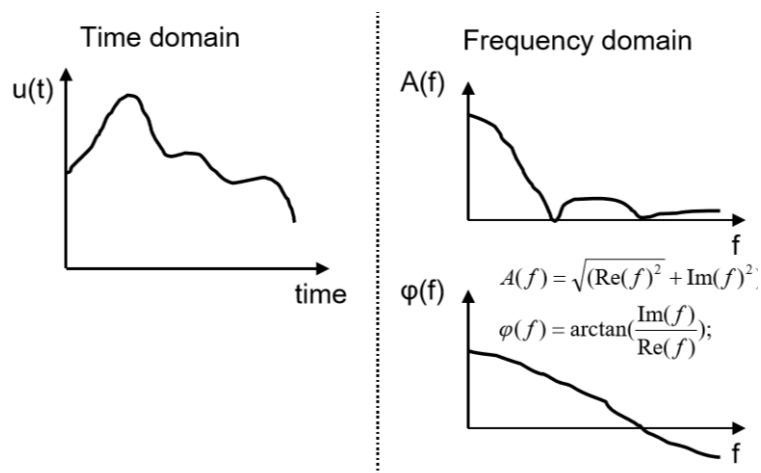
Spektrum sinyal domain waktu dapat diperoleh secara matematis dengan menggunakan apa yang disebut Transformasi Fourier. Ini adalah transformasi integral di mana sinyal domain waktu harus diamati dari minus tak terhingga ke plus tak terhingga. Transformasi Fourier seperti itu hanya dapat diselesaikan dengan benar jika sinyal domain waktu dapat dijelaskan dalam istilah yang tidak ambigu secara matematis. Transformasi Fourier kemudian menghitung variasi komponen nyata dan variasi komponen imajiner versus frekuensi dari sinyal domain waktu. Hal ini dimungkinkan untuk merakit sinyal sinusoidal dari setiap amplitudo, fase dan frekuensi dari komponen sinyal cosinusoidal dari frekuensi ini dengan amplitudo khusus dan dari komponen sinyal sinusoidal dari frekuensi ini dan amplitudo khusus. Komponen real secara akurat menggambarkan amplitudo komponen kosinusoidal dan komponen imajiner secara akurat menggambarkan amplitudo komponen sinusoidal.



Gambar 6.3. Diagram vektor dari sinyal sinusoidal

Dalam diagram vektor (Gbr. 6.3.), vektor suatu besaran sinusoidal diperoleh dengan penjumlahan vektor dari bagian real dan imajiner, yaitu komponen kosinus dan sinus. Transformasi Fourier dengan demikian memberikan informasi tentang bagian nyata, yaitu komponen kosinus, dan bagian imajiner, yaitu komponen sinus, pada setiap titik dalam spektrum dalam resolusi yang sangat halus. Transformasi Fourier dimungkinkan maju dan mundur dan disebut sebagai Transformasi Fourier (FT) dan Transformasi Fourier Terbalik (IFT), masing-masing.

Transformasi Fourier mengubah sinyal domain waktu nyata menjadi spektrum kompleks yang terdiri dari bagian nyata dan bagian imajiner seperti yang dijelaskan. Spektrum terdiri dari frekuensi positif dan negatif dan rentang frekuensi negatif tidak memberikan informasi tambahan tentang sinyal domain waktu yang bersangkutan. Bagian nyata adalah cerminsimetris terhadap frekuensi nol dan $\text{Re}(-f) = \text{Re}(f)$ berlaku sedangkan bagian imajiner adalah titik-ke-titik-simetris dan $\text{Im}(-f) = -\text{Im}(f)$ berlaku. Transformasi Fourier Terbalik memasok sinyal domain waktu nyata tunggal lagi dari spektrum kompleks. Analisis Fourier, yaitu analisis harmonik, tidak lain adalah kasus khusus Transformasi Fourier di mana Transformasi Fourier hanya diterapkan pada sinyal periodik dan integralnya kemudian dapat diganti dengan rumus penjumlahan. Sinyal dapat dijelaskan dengan jelas karena bersifat periodik. Informasi selama satu periode sudah cukup. Dengan menerapkan teorema Pythagoras atau fungsi busur-singgung, masing-masing, informasi amplitudo dan fase dapat diperoleh dari bagian nyata dan imajiner jika diperlukan (Gbr. 6.4.). Karakteristik tundaan grup diperoleh dengan membedakan variasi fasa dengan frekuensi.



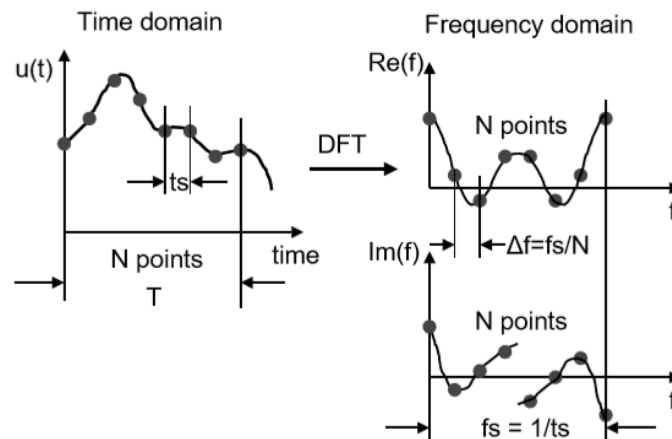
Gambar 6.4. Amplitudo dan karakteristik fase

6.2. Discrete Fourier Transform (DFT)

Sinyal dengan format yang cukup umum tidak dapat dijelaskan secara matematis; tidak ada periodisitas dan mereka harus diamati untuk jangka waktu tak terbatas yang tidak mungkin dilakukan dalam praktik. Dengan demikian tidak ada pendekatan matematis atau numerik yang mungkin untuk menghitung spektrumnya. Salah satu solusi yang kira-kira mensuplai pita frekuensi adalah *Discrete Fourier Transform* (DFT). Menggunakan, mis. konverter analog/digital, sinyal disampel pada titik-titik diskrit dalam domain waktu pada interval $\Delta t = t_s$ dan diamati hanya dalam window waktu terbatas pada titik N (Gambar. 6.5.). Alih-alih integral dari minus tak terhingga ke plus tak terhingga, hanya rumus penjumlahan yang harus diselesaikan saat itu dan ini bahkan dapat dilakukan secara numerik melalui proses sinyal digital. Transformasi Fourier diskrit menghasilkan N titik untuk bagian $\text{real}(f)$ dan N titik untuk bagian $\text{imajiner}(f)$ dalam pita spektral.

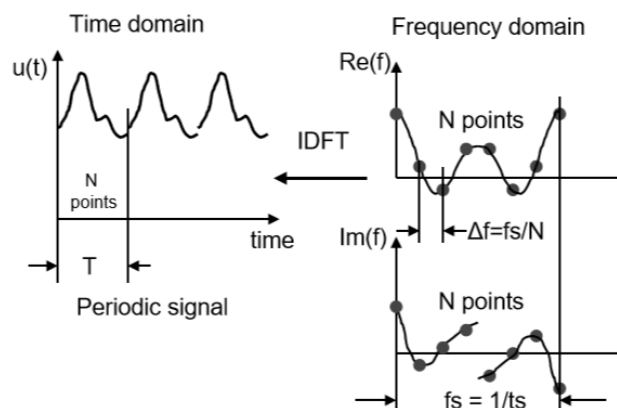
Diskrit Fourier Transform (DFT), pada kenyataannya, sebenarnya sesuai dengan analisis Fourier dalam window waktu yang diamati dari sinyal band-limited. Dengan demikian diasumsikan bahwa sinyal dalam window waktu yang diamati berlanjut secara berkala. Asumsi ini menghasilkan “ketidakpastian” dalam analisis sehingga Transformasi Fourier Diskrit hanya dapat memberikan informasi perkiraan tentang pita frekuensi yang sebenarnya. 'Perkiraan' sebanyak area sebelum dan sesudah window waktu tidak dipertimbangkan dan window sinyal dipotong dengan tajam. Namun, DFT

dapat diselesaikan dengan cara matematika dan numerik sederhana dan berfungsi baik maju maupun mundur dalam domain waktu (*Inverse Discrete Fourier Transform – IDFT*, Gambar 6.6.). Hasil dari melakukan DFT pada interval sinyal domain waktu nyata adalah spektrum kompleks diskrit (bagian nyata dan imajiner). IDFT mengubah spektrum kompleks kembali menjadi sinyal domain waktu nyata lagi. Namun pada kenyataannya, bagian dari sinyal domain waktu yang dipotong dan diubah menjadi domain frekuensi telah diubah menjadi sinyal periodik.



Gambar 6.5. Discrete Fourier Transform (DFT)

Setelah segmen sinyal domain waktu persegi panjang telah di-window, spektrum sesuai dengan konvolusi fungsi $\sin(x)/x$ dengan spektrum asli sinyal. Ini menghasilkan efek yang berbeda yang dalam analisis spektrum dilakukan dengan cara DFT mengganggu dan mempengaruhi hasil pengukuran pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil. Dalam aplikasi pengujian, oleh karena itu, pilihannya adalah tidak memilih fungsi window persegi panjang tetapi, mis. fungsi $\cos^2$ yang akan memotong window yang lebih halus dan menyebabkan lebih sedikit gangguan dalam domain frekuensi. Berbagai jenis fungsi window digunakan, mis. window persegi panjang, window Hanning, window Hamming, window Blackman dll. Window berarti bahwa segmen sinyal pertama dipotong menjadi bentuk persegi panjang dan kemudian dikalikan dengan fungsi window.



Gambar 6.6 IDFT

6.3. Fast Fourier Transform (FFT)

Diskrit Fourier Transform adalah algoritma yang sederhana namun cukup memakan waktu. Namun, jika jumlah titik N dalam window pengamatan dibatasi hingga $N=2^x$,

yaitu pangkat dua (Cooley, Tukey, 1965), algoritma yang lebih kompleks, tetapi lebih sedikit memakan waktu, *Fast Fourier Transform* (FFT).), dapat digunakan. Algoritma ini sendiri memberikan hasil yang persis sama dengan DFT tetapi jauh lebih cepat dan terbatas pada $N=2^x$ poin (2, 4, 8, 16, 32, 64, ..., 256, ..., 1024, 2048, ..., 8192, ...). Transformasi Fourier Cepat juga dapat dibalik (Inverse Fast Fourier Transform - IFFT).

Algoritma FFT menggunakan metode aljabar linier. Sampel disortir terlebih dahulu dalam pembalikan bit yang disebut bersama dan kemudian diproses dengan cara operasi kupu-kupu. Operasi ini diimplementasikan sebagai kode mesin dalam prosesor sinyal dan chip FFT khusus.

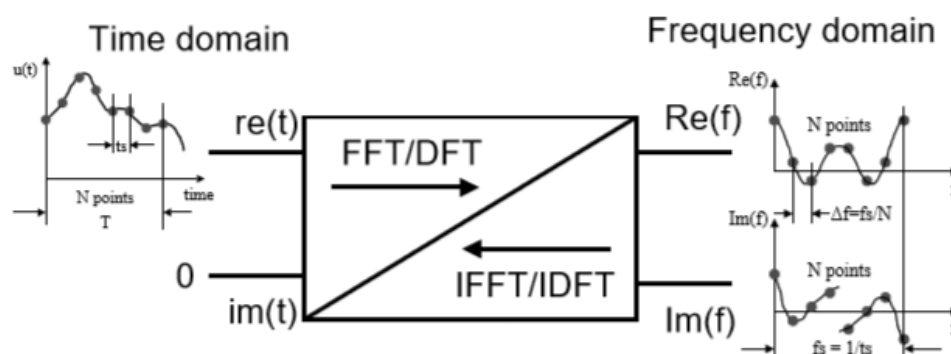
Jumlah perkalian yang diberikan di bawah ini menunjukkan waktu yang diperoleh FFT dibandingkan dengan DFT:

Jumlah perkalian yang dibutuhkan:

DFT: $N \cdot \text{Tidak}$

FFT: $N \cdot \log(2N)$

FFT telah lama digunakan di bidang akustik (mensurvei ruang konser dan gereja) dan dalam geologi (mencari mineral, bijih, dan minyak). Namun, analisis dilakukan secara off-line dengan komputer cepat, menggunakan impuls Dirac untuk merangsang media yang akan diperiksa (aula, batu) dan kemudian merekam respons impuls dari media yang diselidiki. Impuls Dirac adalah impuls yang sangat pendek dan sangat kuat, contoh impuls Dirac akustik adalah tembakan pistol dan impuls Dirac geologis adalah ledakan muatan peledakan. Kembali pada tahun 1988, FFT 256 poin masih menghabiskan menit waktu PC. Saat ini, FFT 8192 poin (8k FFT) membutuhkan waktu komputasi kurang dari satu milidetik! Ini membuka pintu untuk aplikasi baru dan menarik seperti kompresi video dan audio atau Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM). FFT juga semakin banyak digunakan untuk analisis spektrum dalam pengujian video analog dan untuk mendeteksi amplitudo dan respon delay grup dari link transmisi video sejak akhir 1980-an. Dalam osiloskop penyimpanan modern juga, fungsi pengujian yang menarik ini sering ditemukan saat ini dan memungkinkan untuk melakukan analisis spektrum berbiaya rendah, terutama juga dalam teknik pengujian audio.



Gambar 6.7. Implementasi dan aplikasi praktis DFT dan FFT

6.4. Implementasi dan Aplikasi Praktis DFT dan FFT

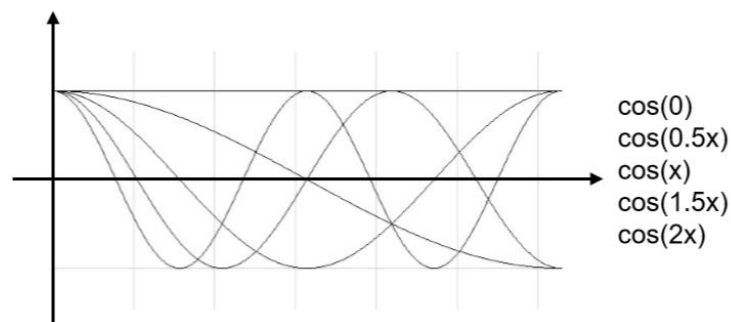
Transformasi Fourier, Transformasi Fourier Diskrit, dan Transformasi Fourier Cepat semuanya didefinisikan melalui bidang bilangan kompleks. Ini berarti bahwa baik sinyal domain waktu maupun sinyal domain frekuensi memiliki bagian real dan imajiner. Sinyal domain waktu khas, bagaimanapun, selalu murni nyata, yaitu bagian

imaginer adalah nol pada setiap titik waktu. Oleh karena itu, bagian imajiner harus disetel ke nol sebelum Transformasi Fourier atau variasi numeriknya DFT dan FFT dilakukan.

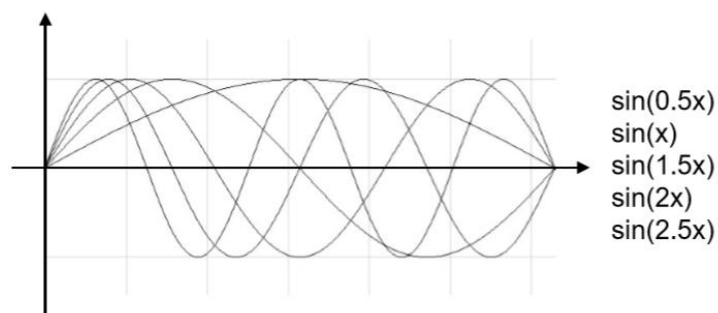
Ketika DFT atau FFT dan IDFT atau IFFT dilakukan dalam praktiknya, dua sinyal input diperlukan. Sinyal input diimplementasikan sebagai tabel bagian nyata dan bagian imajiner dan sesuai dengan domain waktu atau frekuensi sampel. Karena sampel N dari sinyal domain waktu tipikal selalu nyata, bagian imajiner yang sesuai harus disetel ke nol untuk masing-masing titik N . Ini berarti tabel bagian imajiner untuk domain waktu harus diisi dengan nol. Ketika transformasi terbalik dilakukan, bagian imajiner dari sinyal domain waktu harus kembali menjadi nol dengan asumsi bahwa rentang frekuensi untuk bagian nyata adalah sekitar setengah dari frekuensi sampling dan rentang frekuensi untuk bagian imajiner adalah simetris titik-ke-titik sekitar setengah frekuensi sampling. Jika simetri ini tidak ada dalam domain frekuensi, sinyal domain waktu yang kompleks dikeluarkan, yaitu sinyal juga memiliki komponen imajiner dalam domain waktu.

6.5. Transformasi Kosinus Diskrit/*Discrete Cosine Transform (DCT)*

Discrete Cosine Transform (DCT), dan juga Transformasi Fourier Cepat yang merupakan kasus khusus dari DCT, adalah transformasi kosinus-sinus seperti yang dapat dilihat dari rumusnya; ini adalah upaya untuk merakit segmen sinyal domain waktu dengan superposisi dari banyak sinyal kosinus dan sinus yang berbeda dengan frekuensi dan amplitudo yang berbeda. Hasil serupa juga dapat dicapai dengan hanya menggunakan sinyal kosinus atau hanya sinyal sinus, kemudian disebut *Discrete Cosine Transform (DCT)* (Gbr. 6.8.) atau Transformasi Sinus Diskrit (DST) (Gbr. 6.9.). Dibandingkan dengan DFT, jumlah sinyal tunggal yang dibutuhkan tetap sama tetapi dibutuhkan dua kali lebih banyak sinyal kosinus atau sinus. Selain itu, kelipatan setengah integral dari fundamental diperlukan serta kelipatan integral. Transformasi Kosinus Diskrit (Gbr. 6.8.), khususnya, telah menjadi sangat penting untuk kompresi audio dan video.

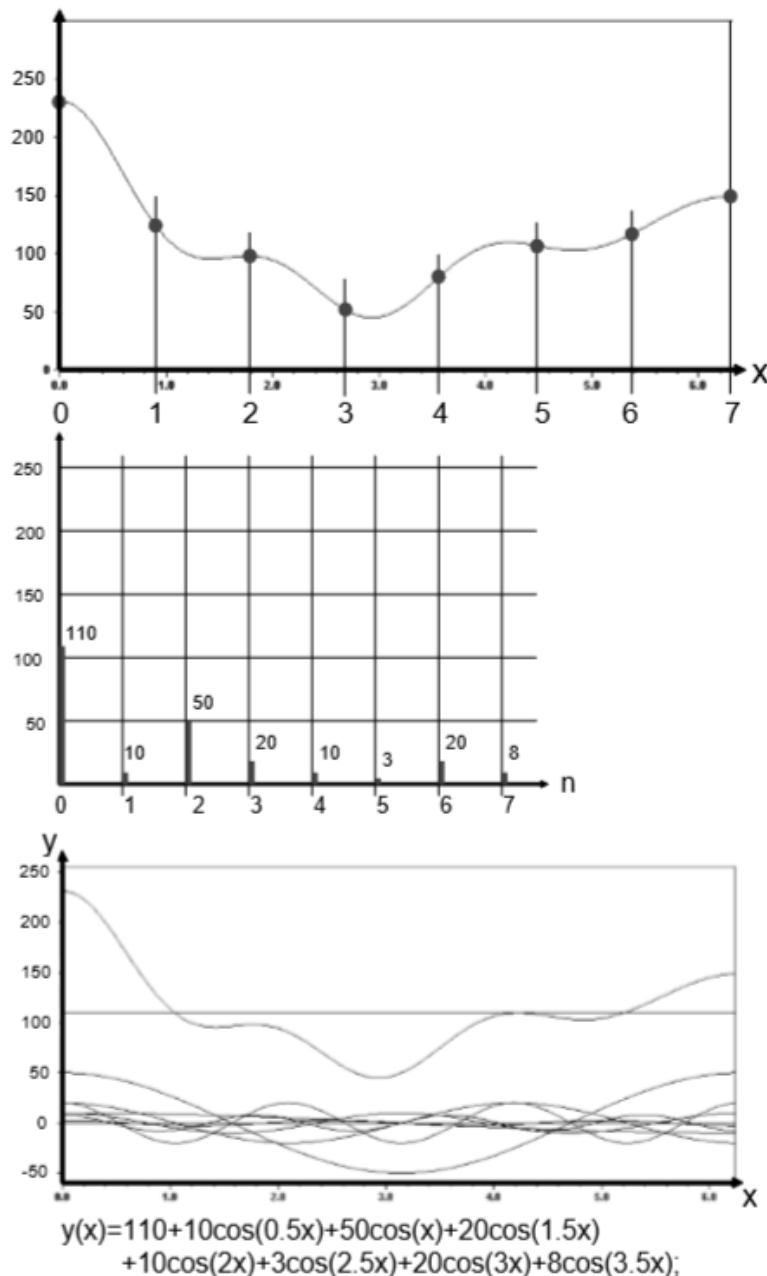


Gambar 6.8. Discrete Cosine Transform (DCT)



Gambar 6.9. Discrete Sine Transform (DST)

DCT memasok, dalam domain waktu, amplitudo sinyal kosinus dari mana interval waktu yang dianalisis dapat dikumpulkan. Koefisien nol sesuai dengan komponen DC dari segmen sinyal. Semua koefisien lainnya pertama-tama menggambarkan komponen frekuensi rendah, kemudian frekuensi menengah dan kemudian komponen frekuensi yang lebih tinggi dari sinyal atau, masing-masing, amplitudo fungsi kosinus dari mana segmen sinyal domain waktu dapat dihasilkan dengan menambahkan mereka bersama-sama. Respon DCT relatif lembut pada tepi segmen sinyal yang dipotong dan akan menyebabkan diskontinuitas yang lebih rendah jika sinyal ditransformasikan dan ditransformasikan kembali segmen demi segmen. Ini mungkin menjadi alasan mengapa DCT menjadi sangat penting dalam bidang kompresi.

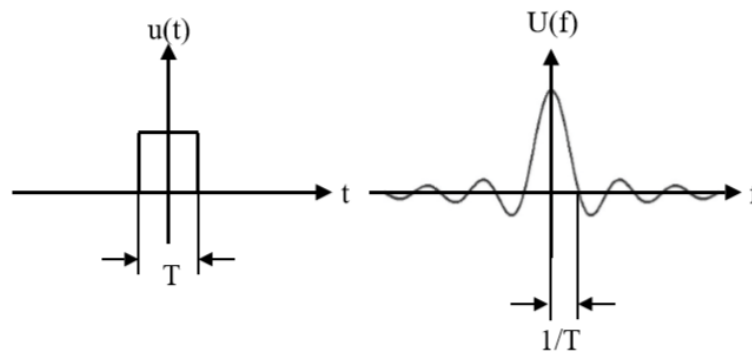


Gambar 6.10. contoh DCT dan IDCT; fungsi asli atas, koefisien DCT tengah, fungsi dasar kosinus bawah dan kurva yang ditumpangkan.

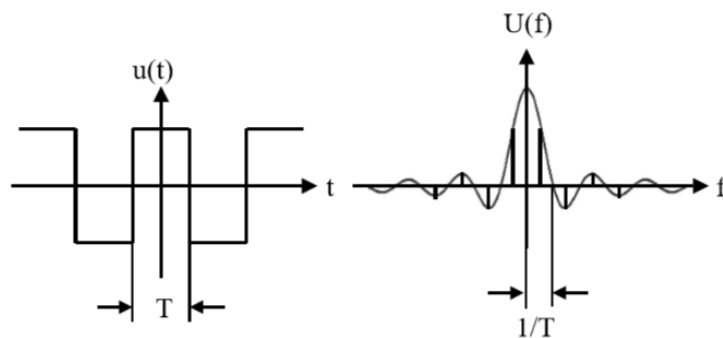
DCT adalah algoritma inti dari kompresi gambar JPEG dan MPEG (fotografi digital dan video) di mana gambar ditransformasikan secara dua dimensi blok demi blok ke dalam domain frekuensi dan dikompresi blok demi blok. Sangat penting bahwa tepi blok tidak dapat dikenali pada gambar setelah dekomposisi (tidak ada diskontinuitas di tepi).

Transformasi kosinus diskrit tidak menyediakan koefisien dalam domain frekuensi berpasangan, yaitu dipisahkan menurut bagian nyata dan imajiner dan tidak memberikan informasi tentang fase, hanya tentang amplitudo. Karakteristik amplitudo juga tidak berhubungan langsung dengan hasil DFT. Tetapi jenis transformasi frekuensi ini cukup untuk banyak aplikasi dan juga memungkinkan di kedua arah (Transformasi Kosinus Diskrit Terbalik - IDCT) (Gbr. 6.10.).

Pada prinsipnya, tentu saja, ada juga Transformasi Sinus Diskrit (Gbr. 6.9) di mana ia mencoba untuk menduplikasi sinyal domain waktu dengan superposisi sinyal sinusoidal murni.



Gambar 6.11. Transformasi Fourier dari satu denyut gelombang persegi

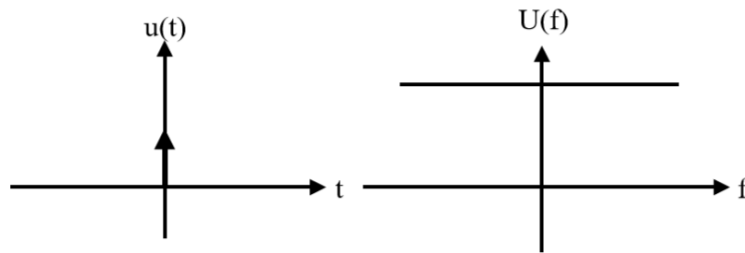


Gambar 6.12. Transformasi Fourier dari denyut gelombang persegi periodik

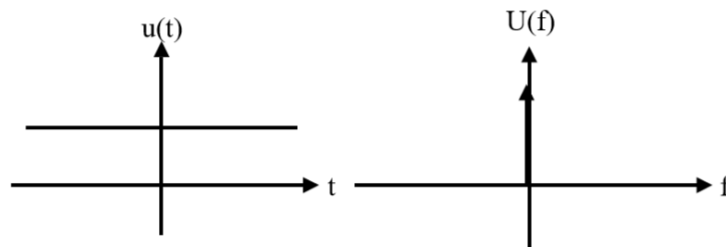
6.6. Sinyal Domain Waktu dan Transformasinya dalam Domain Frekuensi

Dalam paragraf berikut, beberapa sinyal domain waktu penting dan transformasinya dalam domain frekuensi akan dibahas. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mendapatkan gambaran tentang hasil Transformasi Fourier Cepat.

Mari mulai dengan sinyal gelombang persegi periodik (Gbr. 6.12.); karena merupakan sinyal periodik, ia memiliki garis diskrit dalam spektrum frekuensi; semua garis spektral diskrit dari sinyal gelombang persegi terletak pada kelipatan integral dari frekuensi dasar sinyal gelombang persegi. Sebagian besar energi akan ditemukan dalam gelombang fundamental itu sendiri. Jika terdapat komponen DC, maka akan menghasilkan garis spektral pada frekuensi nol (Gbr. 6.14.). Selubung garis spektral fundamental dan harmonik adalah fungsi $\sin(x)/x$.



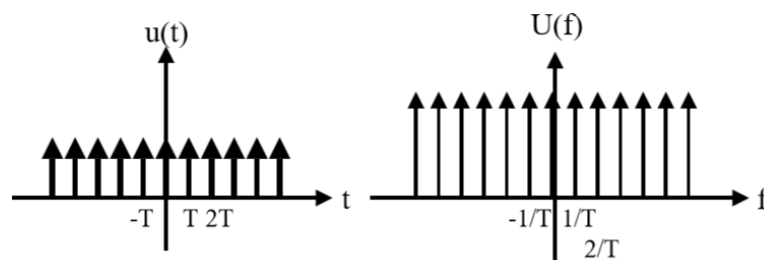
Gambar 6.13. Transformasi Fourier dari impuls Dirac



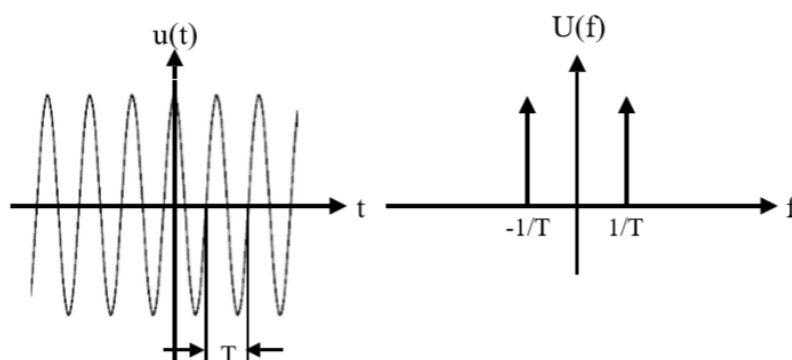
Gambar 6.14. Transformasi Fourier dari tegangan searah murni (DC)

Jika kemudian durasi periode T dari sinyal gelombang persegi dibiarkan cenderung menuju tak terhingga, garis spektral diskrit bergerak lebih dekat dan lebih dekat bersama-sama sampai spektrum kontinu dari satu denyut diperoleh (Gbr. 6.11.).

Spektrum denyut gelombang persegi tunggal adalah fungsi $\sin(x)/x$. Jika kemudian lebar denyut T dibiarkan menjadi semakin sempit dan cenderung menuju nol, semua titik nol dari fungsi $\sin(x)/x$ akan cenderung menuju tak terhingga. Dalam domain waktu, ini memberikan denyut yang sangat pendek, yang disebut impuls Dirac, Transformasi Fourier yang merupakan garis lurus; yaitu energi didistribusikan secara seragam dari frekuensi nol hingga tak terhingga (Gbr. 6.13.). Sebaliknya, jarum Dirac tunggal pada $f=0$ dalam domain frekuensi sesuai dengan tegangan searah (DC) dalam domain waktu.



Gambar 6.15. Transformasi Fourier dari urutan impuls Dirac



Gambar 6.16. Transformasi Fourier dari sinyal sinusoidal

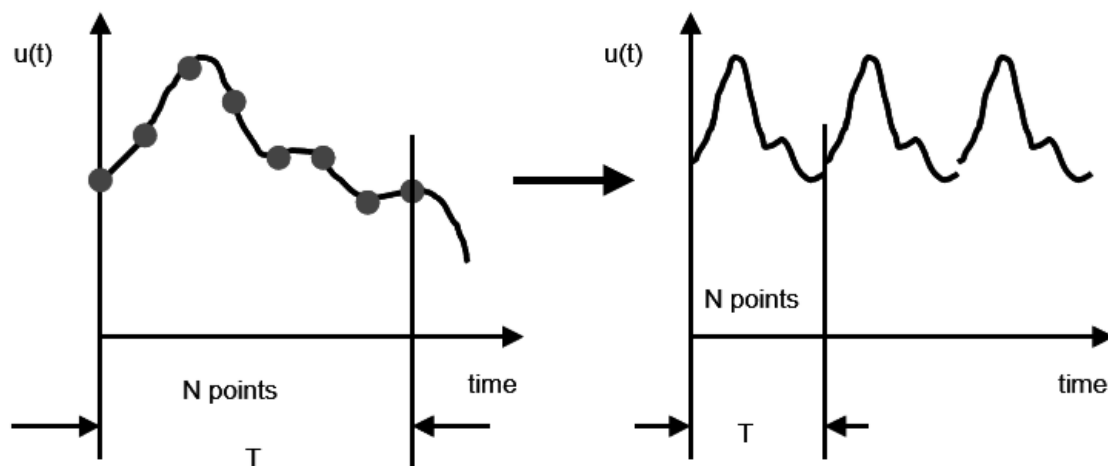
Urutan impuls Dirac yang berjarak pada interval T dari satu sama lain lagi menghasilkan spektrum diskrit jarum Dirac yang berjarak $1/T$ (Gbr. 6.15.). Kereta impuls Dirac sangat penting ketika mempertimbangkan sinyal sampel. Pengambilan sampel sinyal analog memiliki konsekuensi bahwa sinyal ini berbelit-belit dengan urutan impuls Dirac.

Untuk menyimpulkan, sinyal sinusoidal murni akan dipertimbangkan. Transformasi Fourier-nya adalah jarum Dirac pada frekuensi gelombang sinus f_s dan $-f_s$.

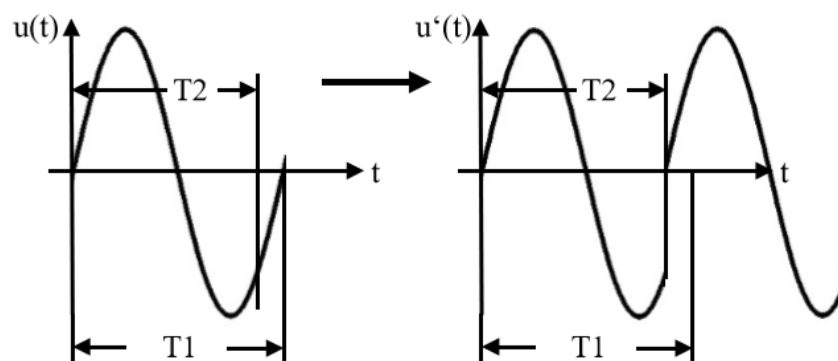
6.7. Kesalahan Sistematis dalam DFT atau FFT, dan Cara Mencegahnya

Untuk mendapatkan hasil yang tepat dari Transformasi Fourier, sinyal domain waktu harus diamati untuk jangka waktu yang sangat lama. Dalam kasus Transformasi Fourier Diskrit, bagaimanapun, segmen sinyal hanya diamati untuk periode waktu yang terbatas dan diubah. Hasil DFT atau FFT, masing-masing, akan selalu berbeda dari Transformasi Fourier. Telah terlihat bahwa, pada prinsipnya, segmen waktu yang dianalisis ini diubah menjadi sinyal periodik di DFT, yaitu, hasil DFT harus dianggap sebagai Transformasi Fourier dari segmen waktu yang dikonversi ini.

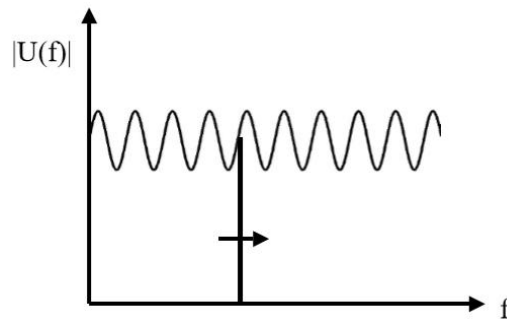
Jelas bahwa, secara alami, hasil transformasi sangat tergantung pada jenis dan posisi proses "cutting-out", yang disebut windowing. Ini dapat divisualisasikan paling baik dengan melakukan DFT pada sinyal sinusoidal. Jika tepat satu sampel diambil dari sinyal sinusoidal sehingga memiliki panjang kelipatan $n=1, 2, 3$ dst dari periode, hasil DFT akan sama persis dengan transformasi Fourier karena mengubah segmen waktu ini menjadi sinyal periodik akan kembali menghasilkan sinyal yang persis sinusoidal.



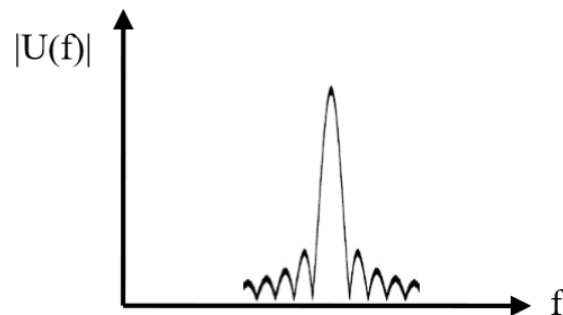
Gambar 6.17. Konversi segmen sinyal menjadi sinyal periodik oleh DFT atau FFT, resp.



Gambar 6.18. Windowing (T_1 , T_2) sinyal sinusoidal

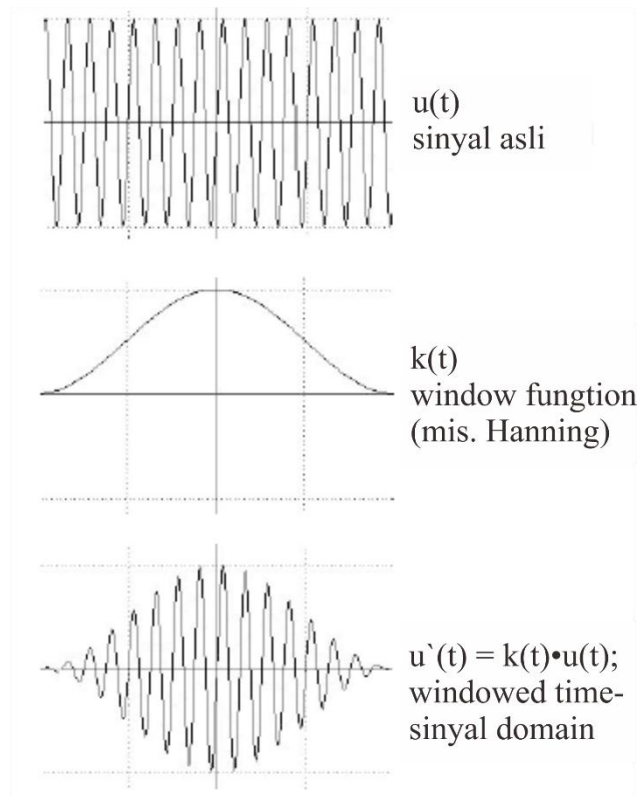


Gambar 6.19. Efek pagar piket



Gambar 6.20. Penyebaran energi ke lobus utama dan samping

Namun, jika panjang window (Gbr. 6.18.) berbeda dari panjang periode, hasil transformasi akan berbeda lebih atau kurang dari nilai yang diharapkan tergantung pada jumlah siklus yang disertakan. Sampel yang kurang dari satu gelombang fundamental akan memiliki efek terburuk. Jarum Dirac akan menjadi "lobus" yang lebih lebar, dalam beberapa kasus dengan "lobus samping". Amplitudo lobus utama akan sesuai kurang lebih dengan nilai yang diharapkan. Membiarkan periode pengamatan konstan dan memvariasikan frekuensi sinyal, amplitudo garis spektral akan berfluktuasi dan akan sesuai dengan nilai yang diharapkan setiap kali ada tepat satu kelipatan periode dalam window pengamatan; di antara itu akan menjadi lebih kecil dan mengasumsikan nilai yang tepat dari waktu ke waktu. Ini disebut efek "pagar piket" (gambar 6.19)



Gambar 6.21. Mengalikan sinyal dengan fungsi window

Fluktuasi amplitudo garis spektral disebabkan oleh penyebaran energi karena pelebaran lobus utama dan oleh munculnya sidelobe (Gbr. 6.20.).

Selain itu, produk aliasing dapat muncul jika sinyal pengukuran tidak dibatasi pita dengan benar; apalagi derau kuantisasi menjadi terlihat dan akan membatasi rentang dinamis.

Kesalahan sistematis ini dapat dicegah atau ditekan dengan memprogram waktu pengamatan dengan panjang yang sesuai, dengan penekanan produk aliasing yang baik dan dengan menggunakan konverter A/D yang memiliki resolusi tinggi yang sesuai. Pada bagian berikutnya, "windowing" akan dibahas sebagai bantuan lebih lanjut dalam menekan kesalahan sistem DFT.

6.8. Fungsi Window

Pada bagian terakhir ditunjukkan bahwa window dengan transisi tepi yang tiba-tiba atau "keras" menghasilkan efek palsu, yang disebut kebocoran, seperti efek pagar piket dan sidelobe. Lobus utama tersebar tergantung pada apakah kelipatan integral periode telah diambil sampelnya atau tidak.

Efek kebocoran ini dapat dikurangi dengan menggunakan soft windowing, yaitu fungsi window dengan tepi lembut, bukan window persegi panjang dengan tepi persegi keras.

Gambar 6.21. menunjukkan bahwa dalam windowing, sinyal asli dibobot, yaitu dikalikan dengan fungsi window $k(t)$. Sinyal dipotong dengan lembut ke arah tepi. Fungsi window yang ditampilkan adalah fungsi window Hanning - window kuadrat

kosinus sederhana yang merupakan window yang paling umum digunakan. Sidelobes lebih dilemahkan dan efek pagar kayu berkurang.

Ada beberapa window yang digunakan dalam praktek, contohnya adalah:

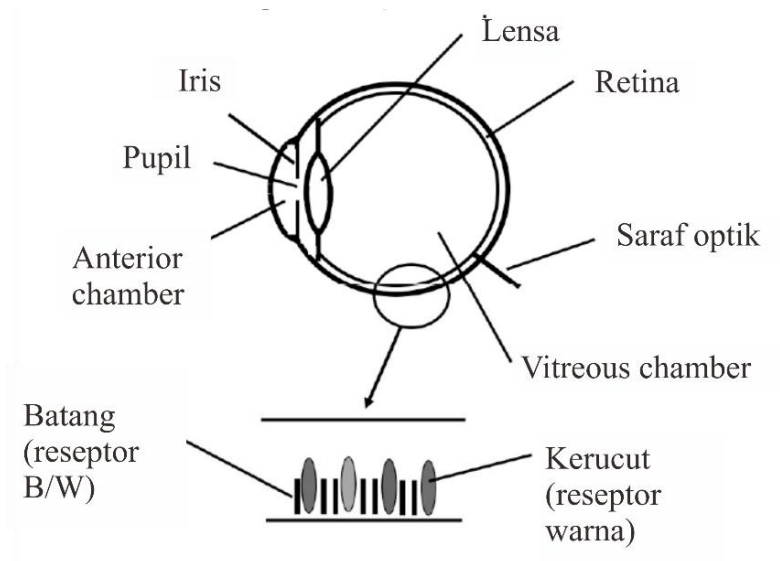
- Rectangular window
- Hanning window
- Hamming window
- Triangular window
- Tukey window
- Kaiser Bessel window
- Gaussian window
- Blackman window

Tergantung pada window yang dipilih, lobus utama melebar ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil, lobus samping dilemahkan lebih atau kurang, dan efek pagar piket berkurang ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil. Window persegi panjang berarti maksimum atau tidak ada pemotongan, window kuadrat kosinus Hanning ditunjukkan pada Gambar.

BAB 7

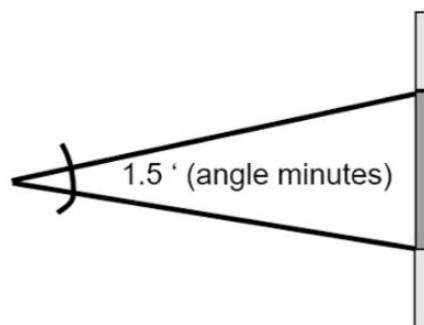
PENKODEAN VIDEO (MPEG-2, MPEG-4/AVC, HEVC)

Kecepatan data sinyal video digital tidak terkompresi berkisar dari 270 Mbit/dtk (SDTV) hingga 1,5 Gbit/dtk (HDTV) atau 3 Gbit/dtk (HDTV) hingga 12 Gbit/dtk (UHDTV). Namun, kecepatan data ini terlalu tinggi untuk penyimpanan atau transmisi yang efisien, sehingga harus dikompresi terlebih dahulu menggunakan apa yang disebut pengkodean perseptual untuk mengurangi jumlah data. Proses ini disebut pengkodean sumber. Dalam siaran TV digital, kompresi ini adalah salah satu tugas yang disebut headend, tetapi operasi semacam itu terkadang juga dilakukan saat sinyal video direkam (kamera reportase, kamera video rumah, ponsel, dll.).



Gambar 7.1. Anatomi mata manusia

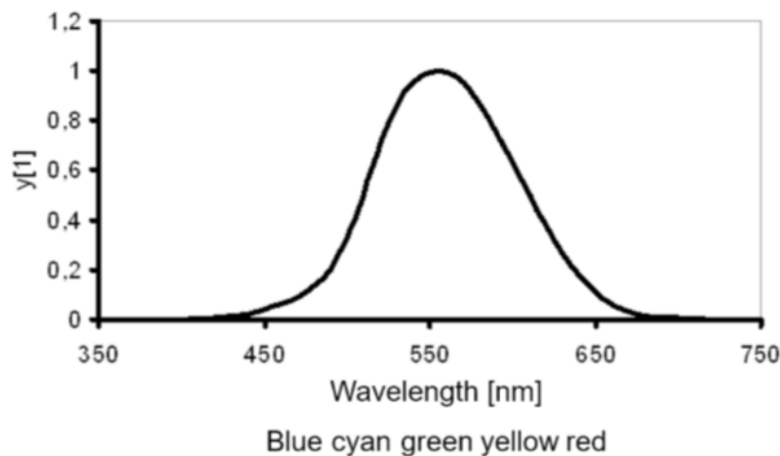
Setelah pengkodean sumber, kecepatan data video biasanya berada dalam kisaran 1 hingga 15 Mbit/s, tergantung pada algoritme yang digunakan (video MPEG-1, video MPEG-2, MPEG-4 AVC/H.264 atau MPEG -H/H.265/HEVC), codec video, dan kualitas gambar yang diinginkan (SDTV, HDTV, UHDTV, dll.). Proses ini melibatkan pengurangan redundansi dan pengurangan ketidakrelevanan, menghasilkan faktor kompresi yang sangat tinggi, melebihi 1 hingga 100. Bab ini akan menjelaskan dasar-dasar pengkodean video dan spesifikasi standar kompresi video MPEG-2 (H.262), MPEG-4 Bagian 10/AVC (H.264) dan MPEG-H Bagian 2/HEVC (H.265).



Gambar 7.2. Mata manusia: membatasi sudut persepsi struktur

7.1 Kompresi Video

Untuk mengompresi data, dimungkinkan untuk menghapus informasi yang berlebihan atau tidak relevan dari datastream. Redundant berarti berlebihan, tidak relevan berarti tidak perlu. Informasi yang berlebihan adalah informasi yang muncul beberapa kali dalam datastream, atau informasi yang tidak memiliki kandungan informasi, atau hanya informasi yang dapat dengan mudah dan tanpa kehilangan dipulihkan oleh proses matematika di pihak penerima. Pengurangan redundansi dapat dicapai, mis. dengan pengkodean panjang variabel. Alih-alih mentransmisikan sepuluh nol, informasi 'sepuluh kali nol' dapat dikirim melalui kode khusus yang jauh lebih pendek.



Gambar 7.3. Sensitivitas luminance mata manusia

Alfabet kode Morse juga menggunakan jenis pengurangan redundansi. Huruf yang sering digunakan diwakili oleh urutan kode yang pendek sedangkan huruf yang jarang digunakan diwakili oleh urutan kode yang lebih panjang. Dalam teknologi informasi, pengkodean jenis ini disebut pengkodean Huffman atau pengkodean panjang variabel.

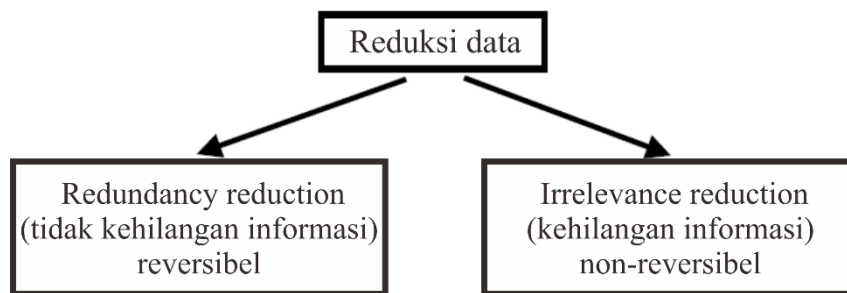


Gambar 7.4. Tes persepsi untuk struktur gambar kasar dan halus

Informasi yang tidak relevan adalah jenis yang tidak dapat dirasakan oleh indera manusia. Dalam hal sinyal video, mereka adalah komponen yang tidak dicatat oleh mata karena anatominya. Mata manusia (Gbr. 7.1.) memiliki reseptor warna yang jauh lebih sedikit daripada sel pendeteksi untuk informasi kecerahan. Untuk alasan ini, "ketajaman warna"

dapat dikurangi yang berarti pengurangan bandwidth informasi warna. Reseptor untuk hitam/putih disebut batang dan reseptor warna adalah kerucut, keduanya terletak di retina mata, di belakang lensa. Lensa memfokuskan bayangan secara tajam ke retina. Batang memiliki fungsi utama dalam penglihatan malam dan jauh lebih sensitif dan hadir dalam jumlah yang jauh lebih besar. Sudut batas persepsi struktur adalah fungsi dari jumlah batang di mata manusia dan sudutnya sekitar 1,5 menit (Gbr. 7.2.). Ada kerucut sensitif merah, hijau dan biru, sensitivitas terhadap hijau jauh lebih jelas daripada untuk biru dan merah dan untuk merah, pada gilirannya, lebih besar daripada biru (Gbr. 7.3.)

Juga diketahui bahwa tidak dapat membedakan struktur halus dalam sebuah gambar, mis. garis tipis, serta struktur kasar. Hal ini dapat diilustrasikan dengan baik dengan tes persepsi (Gbr. 7.4). Jika, misalnya, seseorang memvariasikan ukuran bintik dan kecerahannya terhadap latar belakang, yang warnanya juga dapat bervariasi, dapat ditunjukkan bahwa pada titik tertentu mata manusia tidak dapat lagi melihat bintik kecil yang hanya sedikit berbeda darinya. latar belakang. Inilah titik serangan utama untuk metode reduksi data seperti JPEG dan MPEG, di mana struktur kasar ditransmisikan dengan akurasi yang jauh lebih besar, yaitu dengan lebih banyak bit, daripada struktur halus, melakukan, pada kenyataannya, pengurangan yang tidak relevan, yang disebut pengkodean persepsi. Namun, pengurangan ketidakrelevanan selalu dikaitkan dengan hilangnya informasi yang tidak dapat diperbaiki, itulah sebabnya satu-satunya metode yang dipertimbangkan dalam pemrosesan data adalah pengurangan redundansi seperti, mis. dalam file ZIP yang terkenal.



Gambar 7.5. Reduksi data

Dalam MPEG, langkah-langkah berikut dilakukan untuk mencapai faktor reduksi data hingga 130:

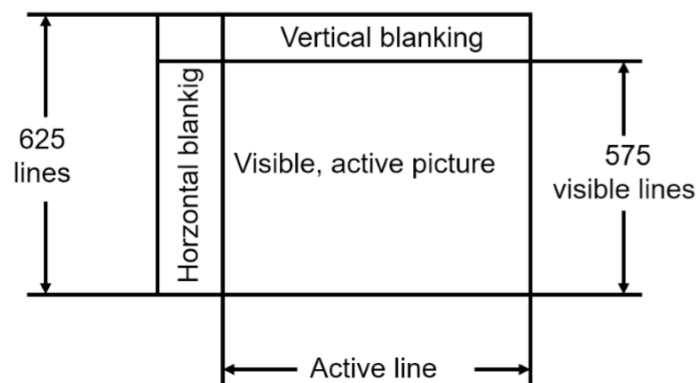
- Resolusi 8 bit, bukan 10 bit (pengurangan tidak relevan)
- Menghilangkan interval pengosongan horizontal dan vertikal (pengurangan redundansi)
- Mengurangi resolusi warna juga dalam arah vertikal (4:2:0) (reduksi tidak relevan)
- Modulasi kode denyut diferensial (DPCM) dari gambar bergerak (pengurangan redundansi)
- Transformasi kosinus diskrit (DCT) diikuti oleh kuantisasi (pengurangan tidak relevan)
- Pemindaian zig-zag dengan pengkodean panjang variabel (pengurangan redundansi)
- Pengkodean Huffman (pengurangan redundansi)

Mari mulai lagi dengan sinyal video analog dari kamera televisi. Output sinyal *Red*, *Green*, *Blue* (RGB) dimatrikskan menjadi sinyal Y, CB dan CR. Setelah itu, bandwidth sinyal ini dibatasi dan diubah menjadi analog/digital. Menurut ITU-R BT.601, ini menyediakan sinyal data dengan kecepatan data 270 Mbit/s. Resolusi warna berkurang dibandingkan dengan resolusi kecerahan, membuat jumlah sampel kecerahan dua kali

lipat dari nilai CB dan CR dan menghasilkan sinyal 4:2:2; dengan demikian sudah ada pengurangan yang tidak relevan dalam ITU-R BT.601. Sinyal 270 Mbit/s ini yang harus dikompresi menjadi sekitar 2...7 (15) Mbit/s dalam proses pengkodean video MPEG.

7.2 Mengurangi Kuantisasi dari 10 Bit menjadi 8

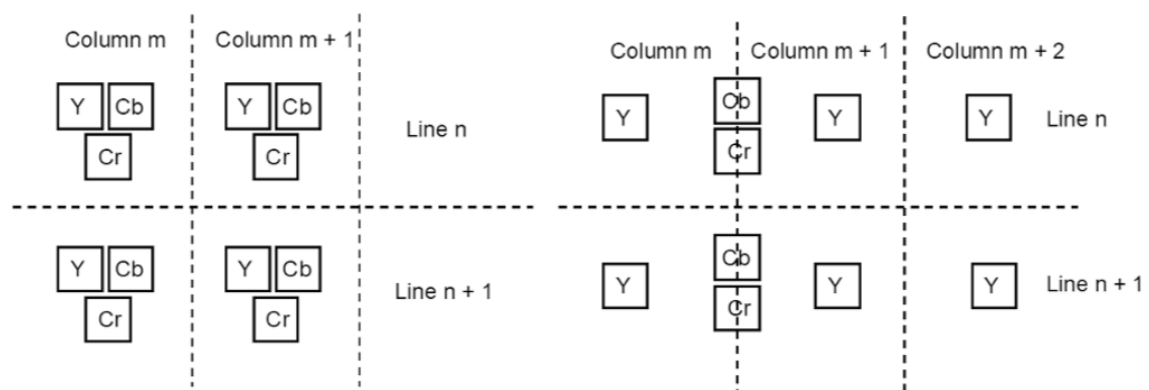
Dalam televisi analog, aturan praktisnya adalah ketika sinyal video memiliki rasio sinyal/noise, mengacu pada level putih dan bobot, lebih dari 48 dB, komponen noise berada tepat di bawah ambang batas persepsi mata manusia. Mengingat drive yang sesuai ke konverter A/D, noise kuantisasi dari resolusi 8 bit sudah jauh di bawah ambang batas ini sehingga resolusi 10 bit dalam Y, CB dan CR tidak diperlukan di luar studio. Di studio, resolusi 10 bit lebih baik karena pasca-pemrosesan lebih mudah dan memberikan hasil yang lebih baik. Mengurangi kecepatan data dari 10 bit menjadi 8 bit dibandingkan dengan ITU-R BT.601 berarti pengurangan kecepatan data sebesar 20% ($(108)/10 = 2/10 = 20\%$), tetapi ini adalah pengurangan yang tidak relevan dan sinyal asli tidak dapat dipulihkan dalam decoding di ujung penerima. Menurut aturan praktis bahwa $S/N [dB] = 6 \cdot N$, tingkat noise kuantisasi kini telah meningkat sebesar 12 dB.



Gambar 7.6. Pengosongan horizontal (*Horizontal Blanking*) dan vertikal

7.3 Menghilangkan Interval Horizontal dan Vertikal Blanking

Interval pengosongan horizontal dan vertikal dari sinyal video digital menurut ITU-R BT.R601 (Gbr. 7.6.) tidak mengandung informasi yang relevan, bahkan teletext pun tidak. Area ini dapat berisi data tambahan seperti sinyal suara tetapi ini harus ditransmisikan secara terpisah sesuai dengan MPEG. Oleh karena itu, interval pengosongan horizontal dan vertikal ditinggalkan sepenuhnya dalam MPEG. Interval pengosongan horizontal dan vertikal dan semua sinyal di dalamnya dapat diregenerasi kembali tanpa masalah di ujung penerima.

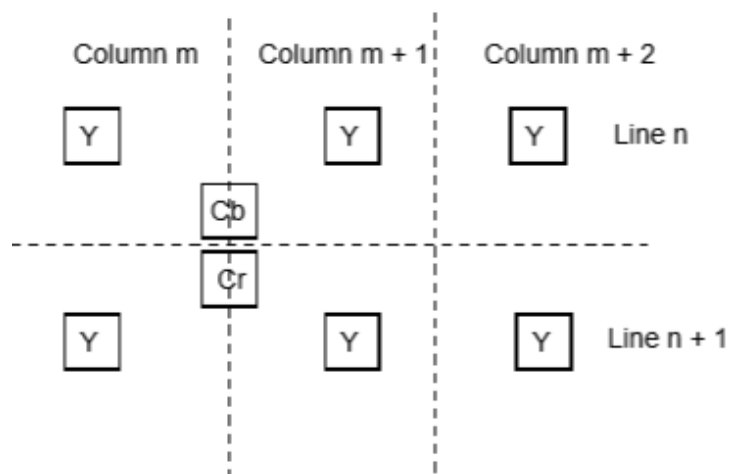


Gambar 7.7. Resolusi 4:4:4 dan 4:2:2

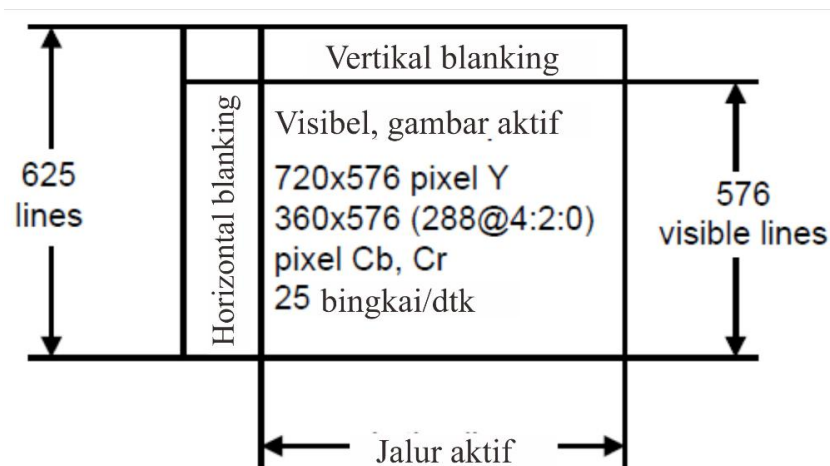
Sinyal PAL memiliki 625 garis, hanya 575 yang terlihat. Perbedaan 50 baris, dibagi 625, adalah 8% yang merupakan penghematan kecepatan data yang dicapai ketika pengosongan vertikal dihilangkan. Panjang satu baris adalah 64 s tetapi area video aktif hanya 52µyang, dibagi 64, menghasilkan penghematan lebih lanjut sebesar 19% dalam kecepatan data. Karena ada beberapa tumpang tindih dalam dua penghematan, total hasil pengurangan redundansi ini adalah sekitar 25%.

7.4 Pengurangan Resolusi Warna Vertikal (4:2:0)

Dua sinyal perbedaan warna C_B dan C_R diambil sampelnya pada setengah kecepatan data dibandingkan dengan sinyal luminansi Y . Selain itu, bandwidth C_B dan C_R juga dikurangi menjadi 2,75 MHz dibandingkan dengan bandwidth pencahayaan 5,75 MHz - 4: 2:2 sinyal (Gbr. 7.7.). Namun, resolusi warna sinyal 4:2:2 ini hanya berkurang pada arah horizontal. Resolusi warna vertikal sesuai dengan resolusi penuh yang dihasilkan dari jumlah baris dalam bingkai televisi. Namun, mata manusia tidak dapat membedakan antara horizontal dan vertikal sejauh menyangkut resolusi warna. Oleh karena itu, dimungkinkan untuk juga mengurangi resolusi warna menjadi setengah dalam arah vertikal tanpa efek yang terlihat. MPEG-2 biasanya melakukan ini dalam salah satu langkah pertama dan sinyal kemudian menjadi sinyal 4:2:0 (Gbr.7.8.). Empat piksel Y sekarang dalam setiap kasus terkait dengan hanya satu nilai C_B dan masing-masing satu nilai C_R . Jenis pengurangan ketidakrelevanan ini menghasilkan penghematan lain dengan kecepatan data tepat 25%.



Gambar 7.8. resolusi 4:2:0

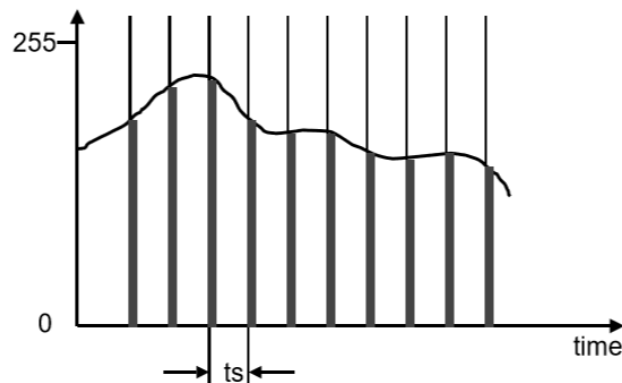


Gambar 7.9. Parameter fisik sinyal SDTV

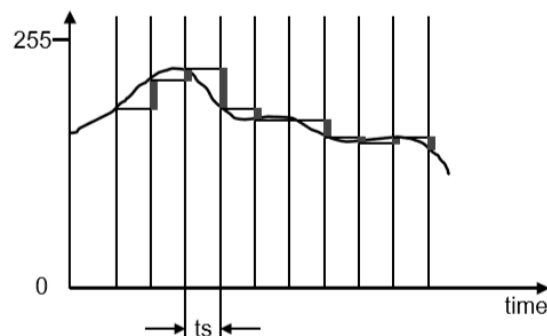
7.5 Langkah Reduksi Data Lebih Lanjut

Reduksi data yang dilakukan hingga saat ini telah menghasilkan hasil sebagai berikut: Dimulai dengan kecepatan data asli 270 Mbit/s, sinyal ITU-R BT.601 ini kini telah dikompresi menjadi 124,5 Mbit/s, yaitu menjadi kurang dari setengahnya tarif asli, dengan menerapkan langkah-langkah berikut:

- ITU-R BT.601 = 270 Mbit/s
- 8 bits instead of 10 (-20%) = 216 Mbit/s
- Horizontal dan verical blanking (appr. -25%) = 166 Mbit/s
- 4:2:0 (-25%)

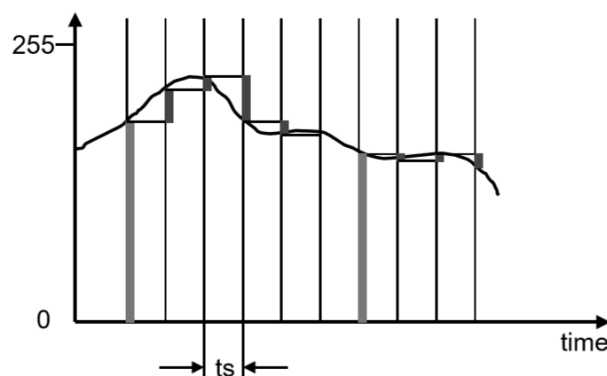


Gambar 7.10. Modulasi Kode Denyut



Gambar 7.11. Modulasi Kode Denyut Diferensial

Namun demikian, masih terdapat kesenjangan yang besar antara 124,5 Mbit/s yang sekarang dicapai dan yang dibutuhkan 2...6 Mbit/dtk dengan batas atasnya 15 Mbit/dtk, dan celah ini perlu ditutup dengan langkah-langkah lebih lanjut yang jauh lebih kompleks.



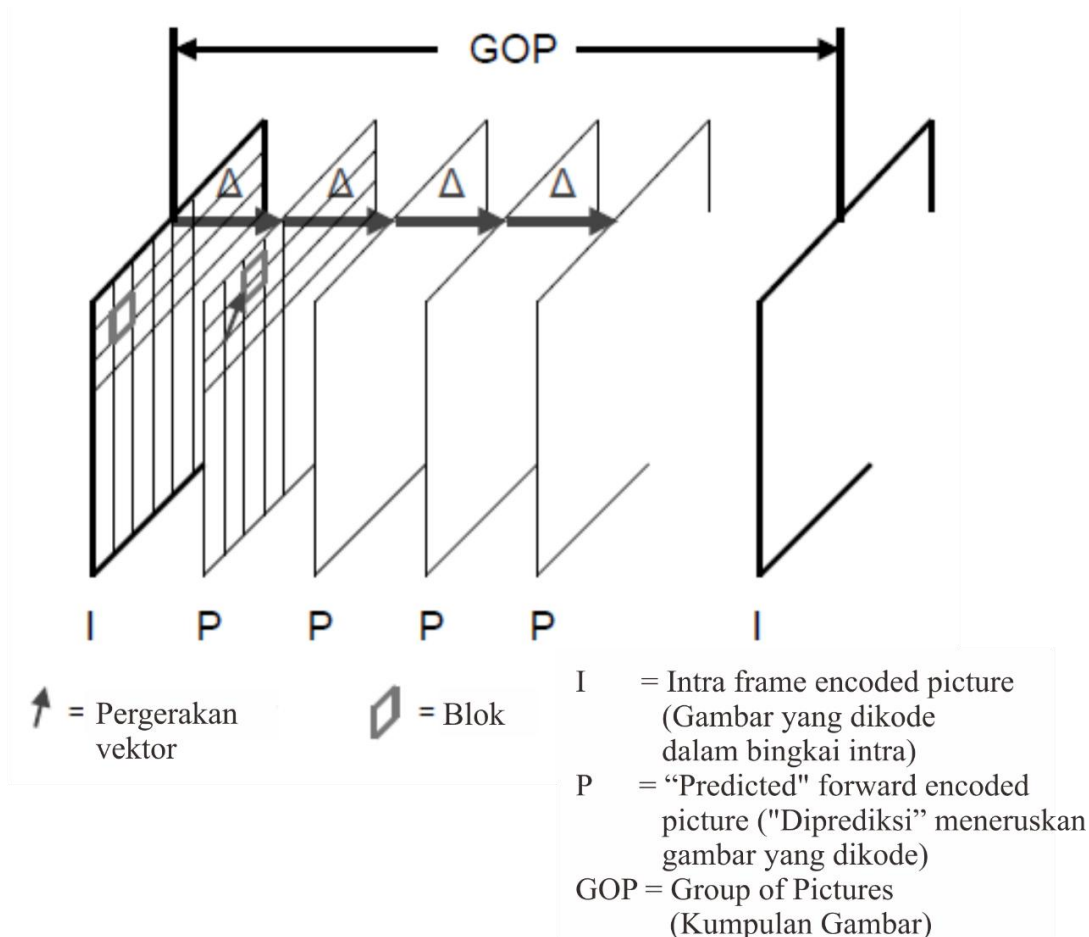
Gambar 7.12. Modulasi Kode Denyut Diferensial dengan nilai referensi

7.6 Modulasi Kode Denyut Diferensial dari Gambar Bergerak

Gambar bergerak yang berdampingan hanya berbeda sedikit satu sama lain. Mereka berisi area stasioner yang tidak akan berubah sama sekali dari bingkai ke bingkai; ada area yang hanya berubah posisinya dan ada objek yang baru ditambahkan. Jika setiap frame ditransmisikan secara lengkap setiap saat, beberapa informasi yang dikirimkan akan selalu sama, menghasilkan kecepatan data yang sangat tinggi. Kesimpulan yang jelas adalah membedakan antara jenis area gambar ini dan hanya mengirimkan perbedaannya, yaitu nilai delta, dari satu bingkai ke bingkai berikutnya. Metode pengurangan redundansi khusus ini, yang didasarkan pada metode yang telah dikenal sejak lama, disebut modulasi kode denyut diferensial (DPCM).

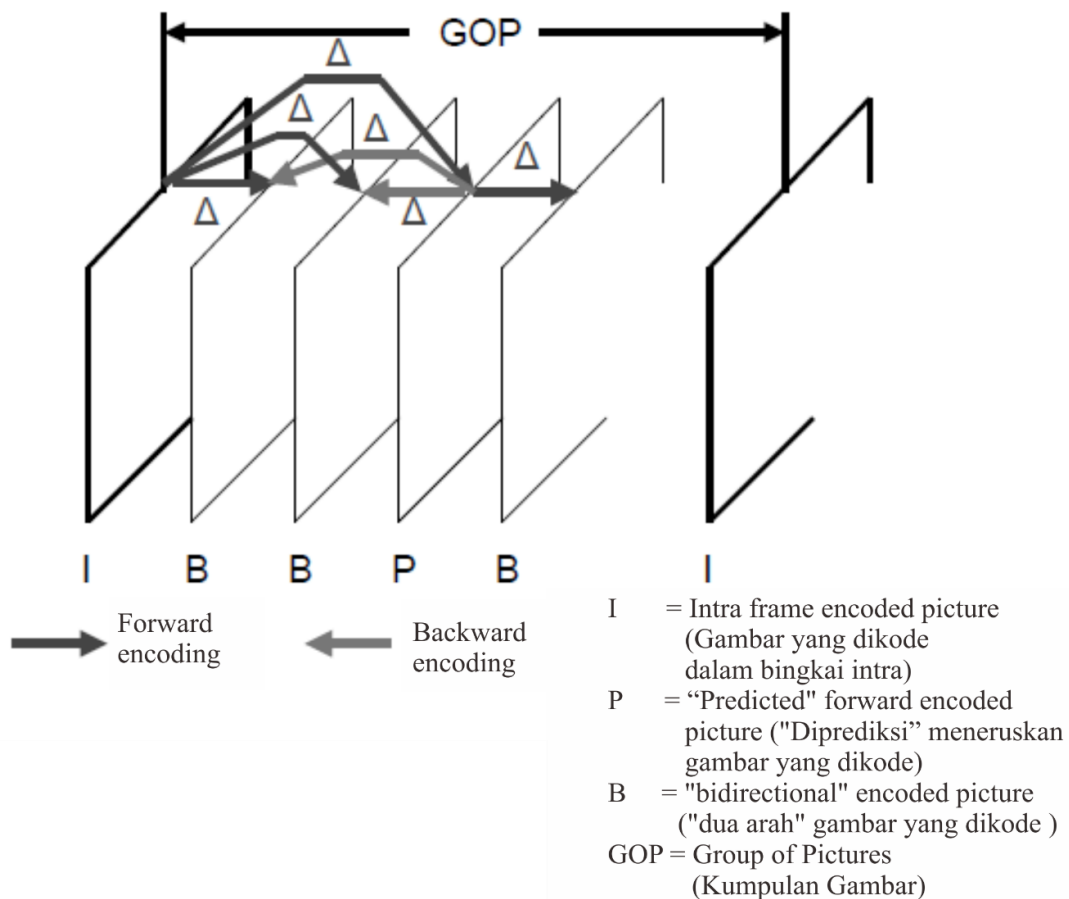


Gambar 7.13. Membagi gambar menjadi blok dan makroblok



Gambar 7.14. Meneruskan prediksi bingkai delta

Lalu apa yang dimaksud dengan modulasi kode denyut diferensial? Jika sinyal analog kontinu diambil sampelnya dan didigitalkan, nilai diskrit, yaitu nilai yang tidak lagi kontinu, diperoleh pada interval waktu yang sama (Gbr.7.10). Nilai-nilai ini dapat direpresentasikan sebagai denyut yang terpisah pada interval yang sama, yang sesuai dengan modulasi kode denyut. Ketinggian setiap denyut membawa informasi dalam bentuk diskrit, non-kontinyu tentang keadaan saat ini dari sinyal sampel tepat pada titik waktu ini.



Gambar 7.15. Bingkai delta yang diprediksi secara dua arah

Pada kenyataannya, perbedaan antara sampel yang berdekatan, yaitu nilai PCM, tidak terlalu besar karena batasan pita sebelumnya. Jika hanya perbedaan antara sampel yang berdekatan yang ditransmisikan, kapasitas transmisi dapat disimpan dan kecepatan data yang diperlukan berkurang. Jenis modulasi kode denyut ini adalah ide yang relatif lama dan sekarang disebut modulasi kode denyut diferensial (Gbr. 7.11.).

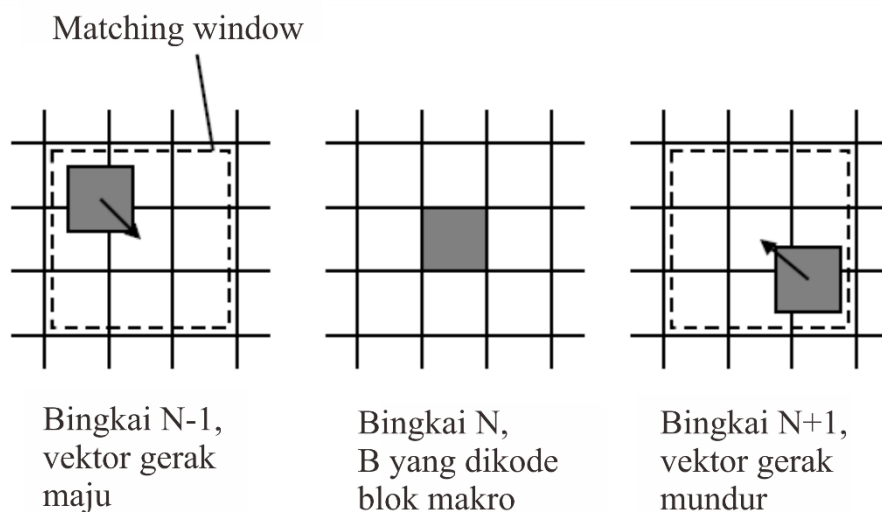
Masalah dengan DPCM biasa adalah, bagaimanapun, bahwa setelah penyalaan atau setelah kesalahan transmisi, dibutuhkan waktu yang sangat lama sampai sinyal domain waktu yang didemodulasi kembali cocok dengan sinyal asli sampai batas tertentu. Masalah ini dapat dihilangkan meskipun dengan menggunakan trik kecil mentransmisikan secara berkala pertama sampel lengkap, kemudian beberapa perbedaan diikuti lagi dengan sampel lengkap dll (Gbr.7.12.) Ini sangat mendekati metode modulasi kode denyut diferensial yang digunakan dalam kompresi gambar MPEG-1/-2.

Sebelum Sebelum sebuah frame diperiksa untuk komponen stasioner dan komponen bergerak, frame tersebut terlebih dahulu dibagi menjadi beberapa blok persegi dengan piksel luminance 16x16 dan piksel CB dan CR 8x8 masing-masing (Gbr.7.13). Karena pola 4:2:0, piksel CB 8x8 dan piksel CR 8x8 dalam setiap kasus dihiparkkan pada satu lapisan masing-masing piksel luminansi 16x16. Susunan ini sekarang disebut macroblock (Gbr.7.25.). Satu bingkai tunggal terdiri dari sejumlah besar blok makro dan jumlah piksel horizontal dan vertikal dipilih sedemikian rupa sehingga dapat dibagi oleh 16 dan juga oleh 8 (Y: 720 x 576 piksel). Pada interval tertentu kerangka acuan yang lengkap, yang disebut kerangka I (intracoded), dibentuk tanpa membentuk perbedaan, kemudian berulang kali ditransmisikan dan diselingi di antara kerangka delta (interframe).

Pembentukan perbedaan dilakukan pada level macroblock, yaitu masing-masing macroblock dari frame berikutnya selalu dibandingkan dengan macroblock dari frame sebelumnya. Lebih tepatnya, macroblock ini diperiksa terlebih dahulu untuk melihat apakah telah bergeser ke segala arah karena gerakan pada gambar, tidak bergeser sama sekali atau apakah informasi gambar di macroblock ini benar-benar baru. Jika ada perpindahan sederhana, hanya apa yang disebut vektor gerak yang ditransmisikan. Selain vektor gerak, juga dimungkinkan untuk mentransmisikan perbedaan, jika ada, sehubungan dengan blok makro sebelumnya. Jika macroblock tidak bergeser atau berubah dengan cara apa pun, tidak ada yang perlu ditransmisikan sama sekali. Jika tidak ada korelasi dengan macroblock sebelumnya yang berdampingan dapat ditemukan, macroblock sepenuhnya dikodekan ulang. Gambar-gambar seperti itu yang dihasilkan oleh prediksi maju sederhana disebut gambar P (prediksi) (Gbr.7.14.).

Selain frame prediksi maju dan tidak searah, ada juga frame delta yang diprediksi maju dan mundur, yang disebut gambar B. Alasan untuk ini adalah kecepatan data yang jauh lebih rendah pada gambar B dibandingkan dengan gambar P atau bahkan gambar I, yang menjadi mungkin sebagai akibat dari hal ini. Susunan frame yang terjadi antara dua gambar I, yaitu gambar lengkap, disebut group of pictures (GOP) (Gbr.7.14.).

Estimasi gerak untuk memperoleh vektor gerak berlangsung sebagai berikut: Dimulai dengan bingkai delta yang akan dikodekan, sistem melihat ke bingkai sebelumnya (prediksi maju P) dan mungkin juga di bingkai berikutnya (prediksi dua arah B) untuk informasi blok makro yang sesuai di lingkungan macroblock yang akan dikodekan. Ini dilakukan dengan menggunakan prinsip pencocokan blok dalam area pencarian tertentu di sekitar makroblok.

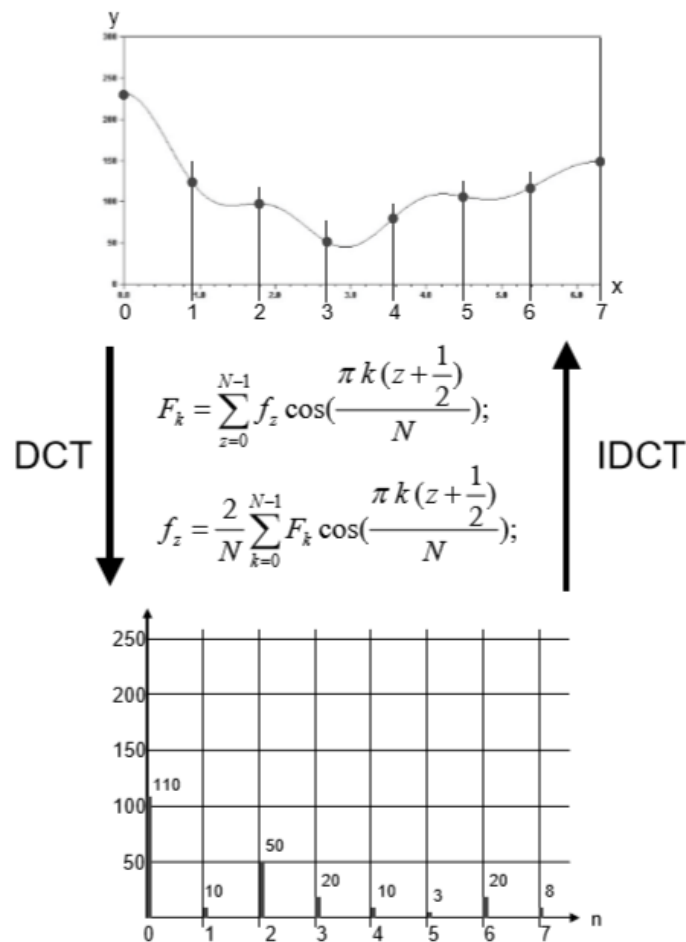


Gambar 7.16. Vektor gerak

Jika blok yang cocok ditemukan di depan, dan juga di belakang dalam kasus pengkodean dua arah, vektor gerak ditentukan maju dan mundur dan ditransmisikan. Selain itu, setiap delta blok tambahan yang mungkin diperlukan juga dapat ditransmisikan, baik ke depan maupun ke belakang. Namun, delta blok dikodekan secara terpisah oleh DCT dengan kuantisasi, dijelaskan dalam bab berikutnya, metode yang menghemat sejumlah besar ruang penyimpanan.

Sekelompok gambar (GOP) kemudian terdiri dari nomor tertentu dan struktur tertentu dari gambar B dan gambar P yang disusun di antara dua gambar I. Sebuah GOP biasanya memiliki panjang sekitar 12 frame dan sesuai dengan urutan I, B, B, P, B, B,

P, Gambar B dengan demikian tertanam di antara gambar I dan P. Namun, sebelum memungkinkan untuk memecahkan kode gambar B di ujung penerima, bagaimanapun, sangat penting untuk memiliki informasi gambar I dan P sebelumnya dan gambar I atau P berikut dalam setiap kasus. Tetapi menurut MPEG, struktur GOP bisa berubah-ubah. Agar tidak terlalu banyak ruang penyimpanan yang perlu disediakan di ujung penerima, struktur GOP harus diubah selama transmisi sehingga informasi prediksi mundur masing-masing sudah tersedia sebelum gambar B yang sebenarnya. Untuk alasan ini, frame ditransmisikan dalam urutan yang tidak lagi sesuai dengan urutan aslinya.



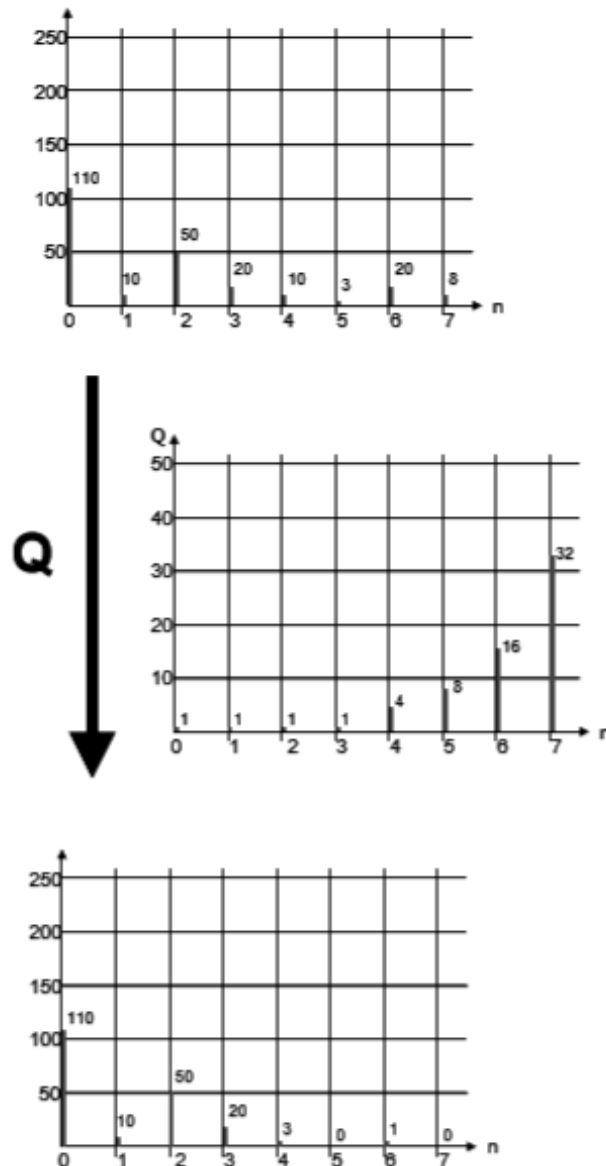
Gambar 7.17. Urutan transmisi gambar

Alih-alih urutan I0, B1, B2, P3, B4, B5, P6, B7, B8, P9, gambar sekarang ditransmisikan dalam urutan berikut: I0, B-2, B-1, P3, B1, B2, P6, B4, B5, P9, dll. (Gbr. 7.17.). Artinya, gambar P atau I yang mengikuti gambar B sekarang tersedia di ujung penerima sebelum gambar B yang sesuai diterima dan harus didekodekan. Ruang penyimpanan yang akan dipesan di ujung penerima sekarang dapat dihitung dan dibatasi. Untuk dapat mengembalikan urutan semula, nomor bingkai harus ditransmisikan dengan kode dalam beberapa cara. Untuk tujuan ini, nilai DTS (decoding time stamp) yang terkandung dalam header PES digunakan, antara lain (lihat Bagian 3, Datastream MPEG).

7.7 Transformasi Kosinus Diskrit Diikuti oleh Kuantisasi

Metode yang sangat sukses untuk kompresi bingkai diam telah digunakan sejak akhir tahun delapan puluhan: metode JPEG, yang saat ini juga digunakan untuk kamera digital dan menghasilkan kualitas gambar yang sangat baik. JPEG adalah singkatan dari Joint Photographic Experts Group, yaitu sekelompok ahli dalam pengkodean gambar

diam. Algoritma dasar yang digunakan dalam JPEG adalah Discrete Cosine Transform (Gbr.7.18.), atau DCT secara singkat. DCT ini juga membentuk algoritma sentral untuk metode pengkodean video MPEG.



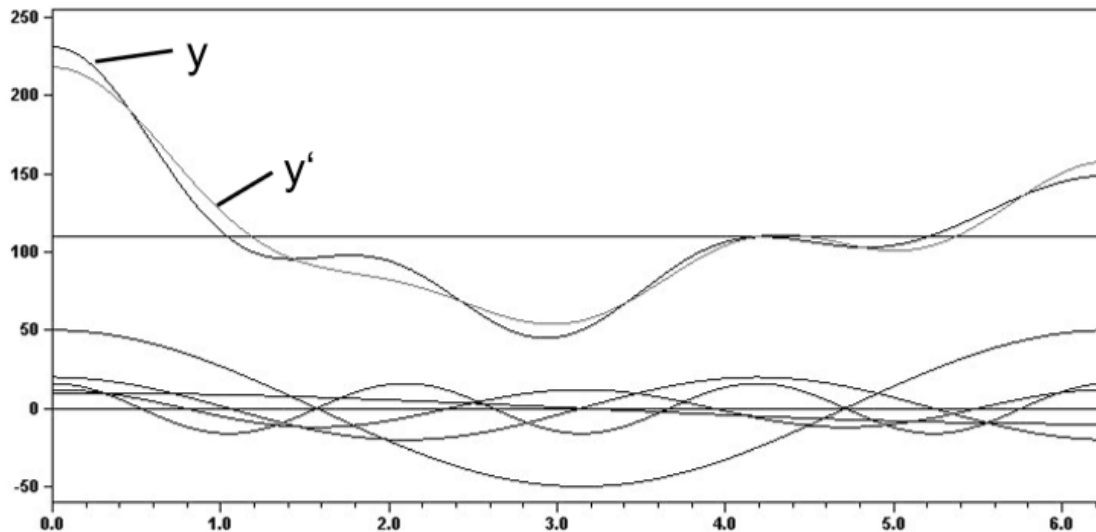
Gambar 7.19. Kuantisasi koefisien DCT (atas: koefisien DCT $F[n]$, tengah: faktor kuantisasi $q[n]$, bawah: koefisien DCT terkuantisasi $F'[n]$)

Mata manusia merasakan struktur halus dalam gambar secara berbeda dari struktur kasar. Dalam rekayasa uji video analog telah diketahui bahwa gangguan gambar frekuensi rendah, yaitu gangguan gambar yang berhubungan dengan struktur gambar kasar atau mengganggu ini dirasakan lebih mudah daripada gangguan frekuensi tinggi, yaitu gangguan yang berhubungan dengan struktur gambar halus atau mengganggu struktur gambar tersebut. .

Untuk alasan ini, rasio sinyal/noise telah diukur berbobot, yaitu mengacu pada sensitivitas mata, bahkan pada awal pengujian video. Dimungkinkan untuk memungkinkan lebih banyak noise ke arah struktur gambar berfrekuensi tinggi dibandingkan dengan komponen gambar berfrekuensi rendah yang kasar. Pengetahuan ini digunakan dalam JPEG dan MPEG. Frekuensi rendah, komponen gambar kasar dikodekan dengan kuantisasi lebih halus dan komponen gambar halus dikodekan

dengan kuantisasi kasar untuk menghemat kecepatan data. Tetapi bagaimana cara memisahkan komponen kasar dari komponen gambar sedang dan halus? Hal ini dilakukan melalui transformasi coding (Gbr.7.18.).

Pertama, transisi dibuat dari domain waktu sinyal video ke domain frekuensi. Transformasi Kosinus Diskrit adalah kasus khusus dari Transformasi Fourier Diskrit atau Transformasi Fourier Cepat.



Gambar 7.20. Kurva asli (y) dan Kurva terkuantisasi (y')

183	198	220	239	244	236	222	211
198	209	222	231	229	215	198	186
144	154	170	184	190	190	185	180
162	164	166	167	165	161	157	154
195	191	185	180	178	178	179	181
174	168	161	156	160	170	183	192
174	160	138	119	112	115	125	133
152	138	119	105	104	115	133	146

Gambar 7.21. Blok 8 x 8 piksel

55	70	92	111	116	108	94	83
70	81	94	103	101	87	70	58
16	81	42	56	62	62	57	52
34	36	38	39	37	33	29	26
67	63	57	52	50	50	51	53
46	40	33	28	32	42	55	64
46	32	10	-9	-16	-13	-3	5
24	10	-9	-23	-24	-13	5	18

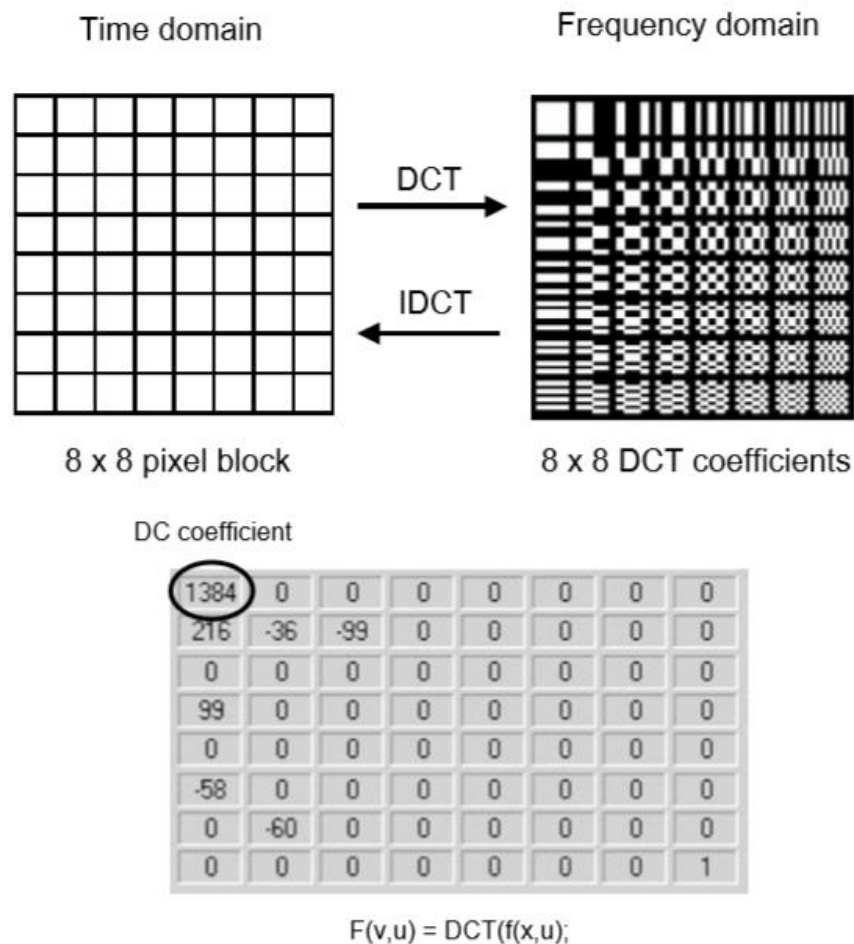
Gambar 7.22. Mengurangi 128

Transformasi ini dibahas dalam Bagian (5) terpisah dari buku ini. Untuk memulai dengan contoh sederhana: Menggunakan DCT, 8 sampel dalam satu baris video ditransformasikan ke dalam domain frekuensi (Gbr.7.18.). Ini sekali lagi memberikan 8 nilai yang, bagaimanapun, tidak lagi sesuai dengan nilai tegangan video dalam domain waktu tetapi dengan 8 nilai daya dalam domain frekuensi, yang dinilai ke DC, komponen frekuensi rendah dan menengah hingga tinggi dalam 8 tegangan video yang diubah ini nilai-nilai. Nilai pertama (koefisien DC) dalam domain frekuensi sesuai dengan energi komponen video dengan frekuensi terendah di bagian ini hingga komponen sinyal frekuensi menengah atau lebih tinggi. Informasi dalam satu bagian sinyal video sekarang telah diproses sedemikian rupa sehingga pengurangan ketidakrelevanan dapat dilakukan yang sesuai dengan karakteristik sensitivitas mata manusia.

Pada langkah pertama dalam proses ini, koefisien ini dikuantisasi dalam domain frekuensi, yaitu setiap koefisien dibagi dengan faktor kuantisasi tertentu (Gbr.7.19.). Semakin tinggi nilai faktor kuantisasi, semakin kasar kuantisasi. Dalam kasus struktur gambar kasar, kuantisasi harus diubah hanya sedikit atau tidak sama sekali dan dalam kasus struktur gambar halus, kuantisasi berkurang lebih banyak, artinya faktor kuantisasi meningkat ke arah struktur gambar yang lebih halus. Karena kuantisasi, banyak nilai yang menjadi nol diperoleh ketika kehalusan struktur gambar meningkat, yaitu ke arah koefisien frekuensi yang lebih tinggi.

Nilai-nilai ini kemudian dapat dikodekan dengan cara hemat-ruang khusus. Namun, karakteristik yang diperoleh kembali dengan decoding di ujung penerima setelah kuantisasi kemudian tidak lagi sesuai dengan kurva asli (Gbr.7.20.) dan menunjukkan kesalahan kuantisasi.

Namun, dalam praktiknya, pengkodean dalam JPEG dan MPEG adalah pengkodean transformasi dua dimensi. Untuk ini, gambar dibagi menjadi blok 8 x 8 piksel (Gbr.7.13.). Setiap blok 8 x 8 piksel (Gbr.7.23.) kemudian ditransformasikan ke dalam domain frekuensi melalui Transformasi Kosinus Diskrit dua dimensi. Sebelum itu dilakukan, nilai 128 terlebih dahulu dikurangkan dari semua nilai piksel untuk mendapatkan nilai yang ditandatangani (Gbr.7.22.).



Gambar 7.23. DCT dua dimensi

Hasil (Gbr.7.23.) Transformasi Kosinus Diskrit dua dimensi dari larik 8 x 8 piksel adalah larik 8 x 8 piksel lainnya, tetapi sekarang dalam domain frekuensi. Koefisien pertama dari baris pertama adalah koefisien DC yang sesuai dengan komponen DC dari seluruh blok. Koefisien kedua sesuai dengan energi dari struktur gambar paling kasar dalam arah horizontal dan koefisien terakhir dari baris pertama sesuai dengan energi dari struktur gambar terbaik dalam arah horizontal. Kolom pertama dari blok 8 x 8 piksel berisi energi dari atas ke bawah dari struktur gambar paling kasar ke struktur gambar terbaik dalam arah vertikal. Koefisien struktur citra kasar hingga halus pada arah diagonal dapat dicari secara diagonal.

8	16	19	22	26	27	29	34
16	16	22	24	27	29	34	37
19	22	26	27	29	34	34	38
22	22	26	27	29	34	37	40
22	26	27	29	32	35	40	48
26	27	29	32	35	40	48	58
26	27	29	34	38	46	56	69
27	29	35	38	46	56	69	83

$Q(v,u)$
scale_factor = 2 ;

173	0	0	0	0	0	0	0
6	-1	-2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

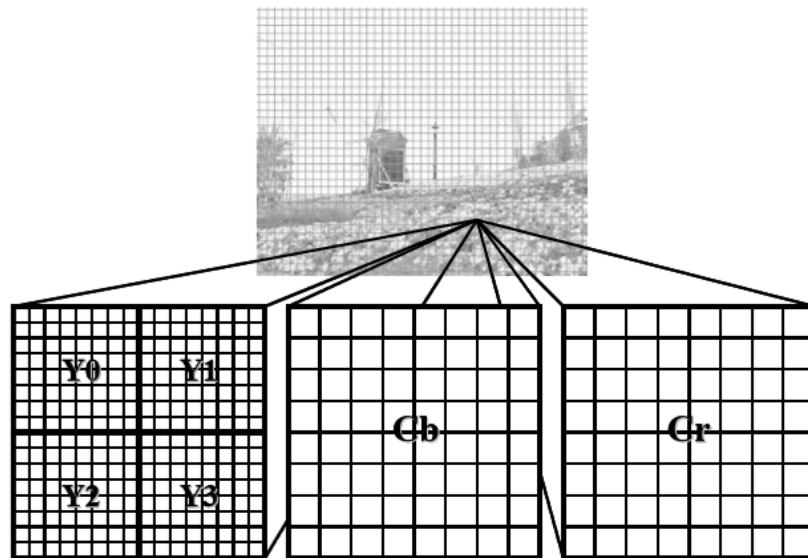
$QF(v,u) = F(v,u) / Q(v,u) / \text{scale_factor} ;$

Gambar 7.24. Kuantisasi setelah DCT

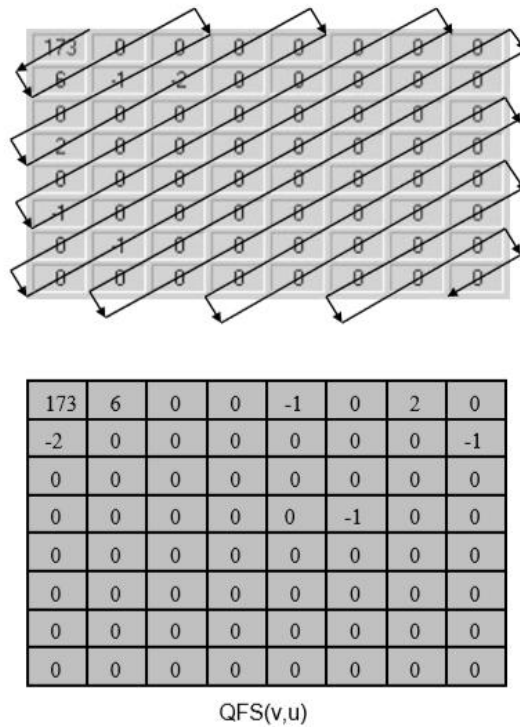
Langkah selanjutnya adalah kuantisasi (Gbr.7.24.). Semua koefisien dibagi dengan faktor kuantisasi yang sesuai. Standar MPEG mendefinisikan tabel kuantisasi tetapi ini dapat ditukar dengan encoder mana pun yang dapat menggantikannya dengan tabelnya sendiri. Ini kemudian diberitahukan ke decoder dengan ditransmisikan ke sana. Kuantisasi biasanya menghasilkan sejumlah besar nilai yang sekarang menjadi nol. Setelah kuantisasi, matriks juga relatif simetris terhadap sumbu diagonal dari kiri atas ke kanan bawah. Matriks, oleh karena itu, dibaca dalam proses pemindaian zig-zag yang kemudian memberikan sejumlah besar nol yang berdekatan. Ini kemudian dapat dikodekan dengan panjang variabel pada langkah berikutnya, menghasilkan pengurangan data yang sangat besar. Kuantisasi adalah satu-satunya 'sekrup penyetel' untuk mengontrol kecepatan data aliran dasar video.

Dengan 4:2:0, empat blok piksel 8 x 8 Y dan satu blok piksel 8 x 8 C_B dan 8 x 8 C_R masing-masing digabungkan untuk membentuk satu blok makro (Gbr.7.25.). Kuantisasi untuk Y, C_B dan C_R dapat diubah dengan menggunakan faktor skala kuantizer khusus dari blok makro ke blok makro. Faktor ini mengubah semua faktor kuantisasi baik dari tabel MPEG standar atau tabel kuantisasi yang disediakan oleh encoder, dengan perkalian sederhana dengan faktor tertentu. Tabel kuantisasi lengkap hanya dapat dipertukarkan pada tingkat urutan pada waktu tertentu, seperti yang akan dilihat nanti.

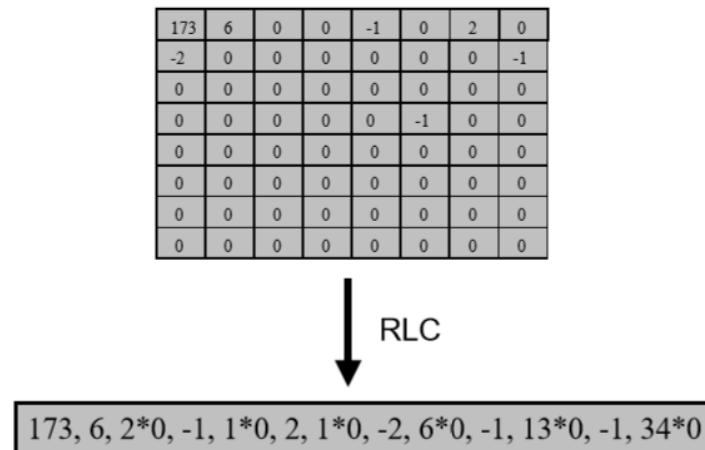
Pengkodean transformasi ini diikuti oleh kuantisasi harus dilakukan untuk bidang piksel Y dan untuk bidang C_B dan C_R .



Gambar 7.25. Struktur Macroblock dengan 4:2:0



Gambar 7.26. Pemindaian zig-zag(zig-zag scanning)



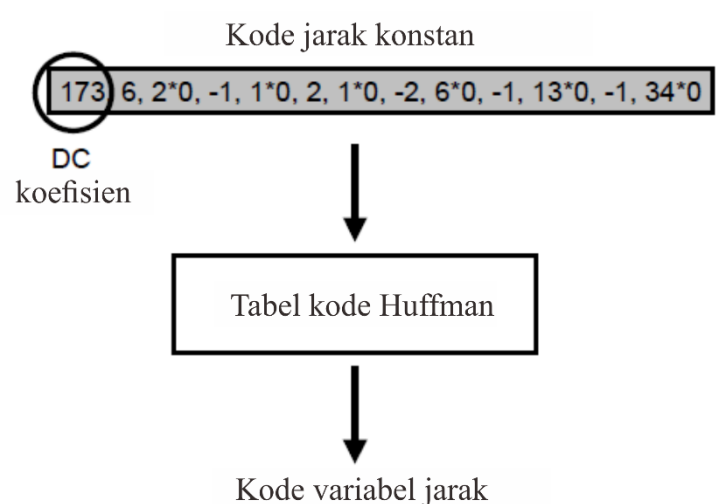
Gambar 7.27. Pengodean panjang-jalan/*Run-length coding* (RLC)

Dalam kasus Frame I, semua blok makro dikodekan dengan cara yang dijelaskan di atas. Dalam kasus frame P dan B, perbedaan piksel ditransformasikan dari macroblock di satu frame ke macroblock di frame lain. Yaitu, pertama-tama blok makro dari bingkai sebelumnya mungkin harus digeser ke posisi yang sesuai dengan bantuan vektor gerakan blok makro dan kemudian perbedaan sehubungan dengan blok makro pada posisi ini dihitung. Menggunakan DCT, nilai perbedaan 8 x 8 ini kemudian ditransformasikan ke dalam domain frekuensi dan kemudian dikuantisasi. Hal yang sama juga berlaku untuk prediksi mundur gambar B.

7.8 Zig-Zag Scanning dengan Run-Length Coding dari Urutan Nol

Setelah pemindaian zig-zag (Gbr.7.26.) dari koefisien DCT terkuantisasi, sejumlah besar nol yang berdekatan diperoleh.

Alih-alih banyak nol ini, hanya nomornya yang kemudian ditransmisikan dengan menggunakan pengkodean run-length (RLC) (Gbr.7.27.), mentransmisikan, mis. informasi 10 kali 0 bukannya 0, 0, 0, ...0. Jenis pengurangan redundansi ini, dalam hubungannya dengan DCT dan kuantisasi, memberikan keuntungan utama dalam kompresi data.



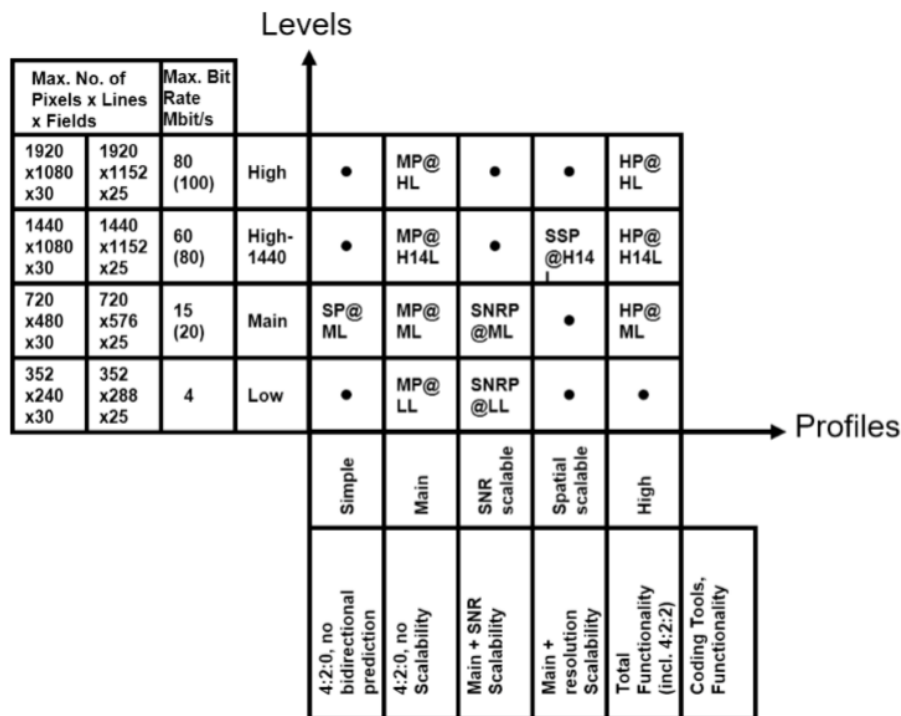
Gambar 7.28. Pengkodean Huffman (*variable length coding* - VLC)

7.9 Huffman Coding

Kode yang sering muncul dalam datastream berkode RLC juga dikenai pengkodean Huffman (Gbr.7.28.), yaitu, kata-kata kode dikodekan ulang dengan tepat, menghasilkan pengurangan redundansi lebih lanjut. Dalam pengkodean jenis ini, kode-kode yang sering digunakan dikodekan kembali menjadi kode-kode yang sangat pendek seperti pada kode Morse.

Ringkasan

Dengan menggunakan beberapa metode reduksi redundansi dan reduksi tidak relevan, kecepatan data sinyal televisi definisi standar dapat dikurangi dengan kecepatan data awal 270 Mbit/dtk dalam format 4:2:2 menurut ITU BT. R601 hingga sekitar 2...6 Mbit/dtk dengan batas atas 15 Mbit/dtk. Inti dari metode kompresi ini dapat dianggap sebagai modulasi kode denyut diferensial dengan kompensasi gerak dalam kombinasi dengan pengkodean transformasi DCT. Sinyal MPEG-2 yang ditujukan untuk distribusi ke rumah memiliki resolusi warna yang berkurang baik dalam arah horizontal maupun vertikal. Ini adalah format 4:2:0. Untuk kontribusi studio-studio, MPEG juga menyediakan format 4:2:2 dan kecepatan data secara alami agak lebih tinggi.



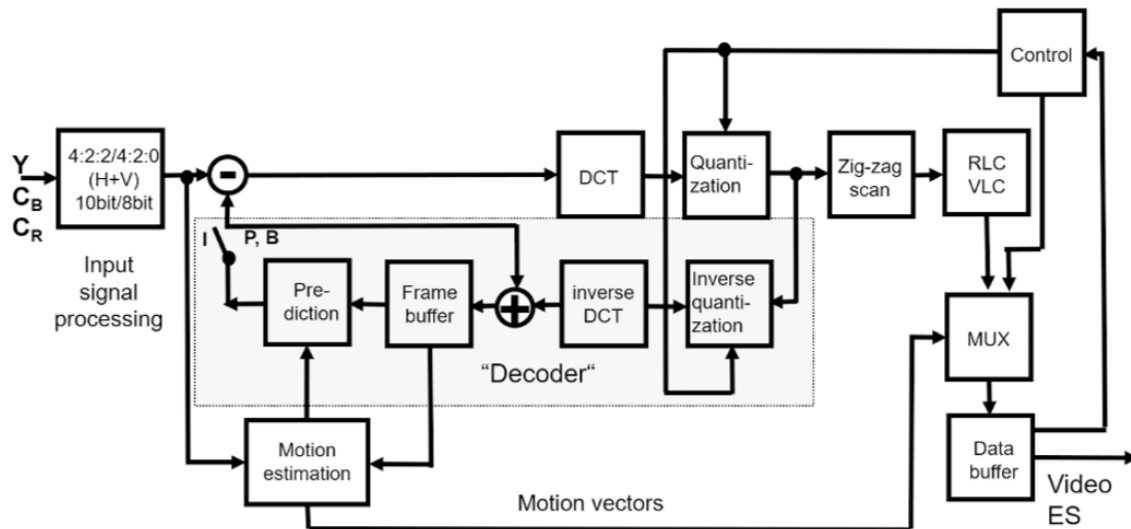
Gambar 7.29. Profil dan level MPEG-2

Definisi Standar (4:2:0) disebut Level Utama Profile@Main (Gbr.7.29.) dan Definisi Standar (4:2:2) disebut Tingat Utama Profile@Main. Namun, standar MPEG juga menerapkan Televisi Definisi Tinggi, baik sebagai sinyal 4:2:0 (Level Utama Profile@High) dan sebagai sinyal 4:2:2 (Level Tinggi Profile@High). Pada lebih dari 800 Mbit/s, kecepatan data awal sinyal HDTV jelas lebih tinggi daripada sinyal SDTV tetapi proses kompresi di HDTV, SDTV dan 4:2:2 dan 4:2:0 sama seperti yang dijelaskan sebelumnya. Sinyal yang dihasilkan hanya berbeda dalam kualitas yang berbeda dan, tentu saja, kecepatan datanya.

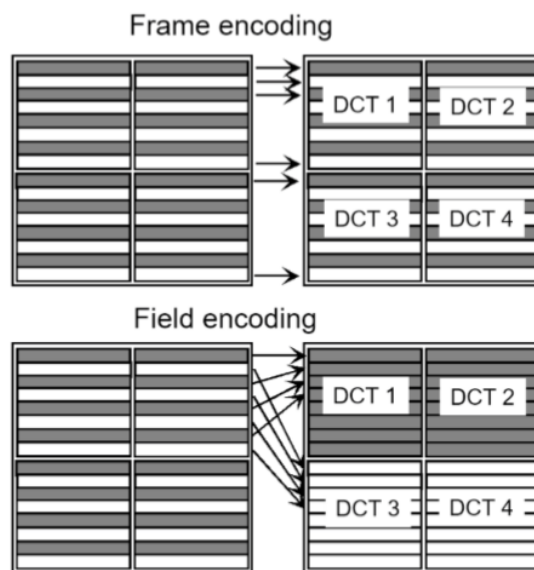
Kualitas sinyal SDTV 6 Mbit/s dalam format 4:2:0 kira-kira sesuai dengan kualitas sinyal TV analog konvensional. Namun, dalam praktiknya, ada kecepatan data yang berkisar antara 2 hingga 7 Mbit/dtk yang tentu saja menentukan kualitas gambar.

Sejalan dengan itu, diperlukan kecepatan data yang tinggi, terutama untuk siaran olahraga.

Kecepatan data aliran video dasar dapat konstan atau dapat bervariasi tergantung pada konten gambar saat ini. Kecepatan data dikendalikan dengan mengubah faktor kuantisasi yang bergantung pada tingkat buffer output encoder MPEG (Gbr.7.30).



Gambar 7.30. Enkoder MPEG-2



Gambar 7.31. Pengkodean bingkai/bidang dari blok makro

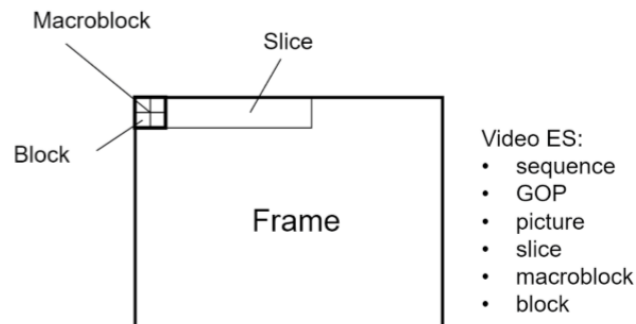
Macroblock dari gambar I, P atau B dapat dikodekan dengan berbagai cara. Varian paling banyak terjadi terutama dalam kasus gambar B di mana macroblock dapat dikodekan dengan cara berikut:

- *Intraframe Coded*/Kode intraframe (benar-benar baru)
- *Forward Coded*/Kode maju
- *Forward and backward coded*/Kode maju dan mundur
- *Skipped*/Dilewati (tidak diberi kode sama sekali)

Jenis pengkodean ditentukan oleh pembuat encode (Gbr.7.30) dengan mengacu pada konten gambar saat ini dan kapasitas channel yang tersedia (kecepatan data).

Berbeda dengan televisi analog, tidak ada bidang yang ditransmisikan tetapi hanya bingkai. Bidang kemudian dibuat ulang di ujung penerima dengan membacakan buffer bingkai dengan cara tertentu.

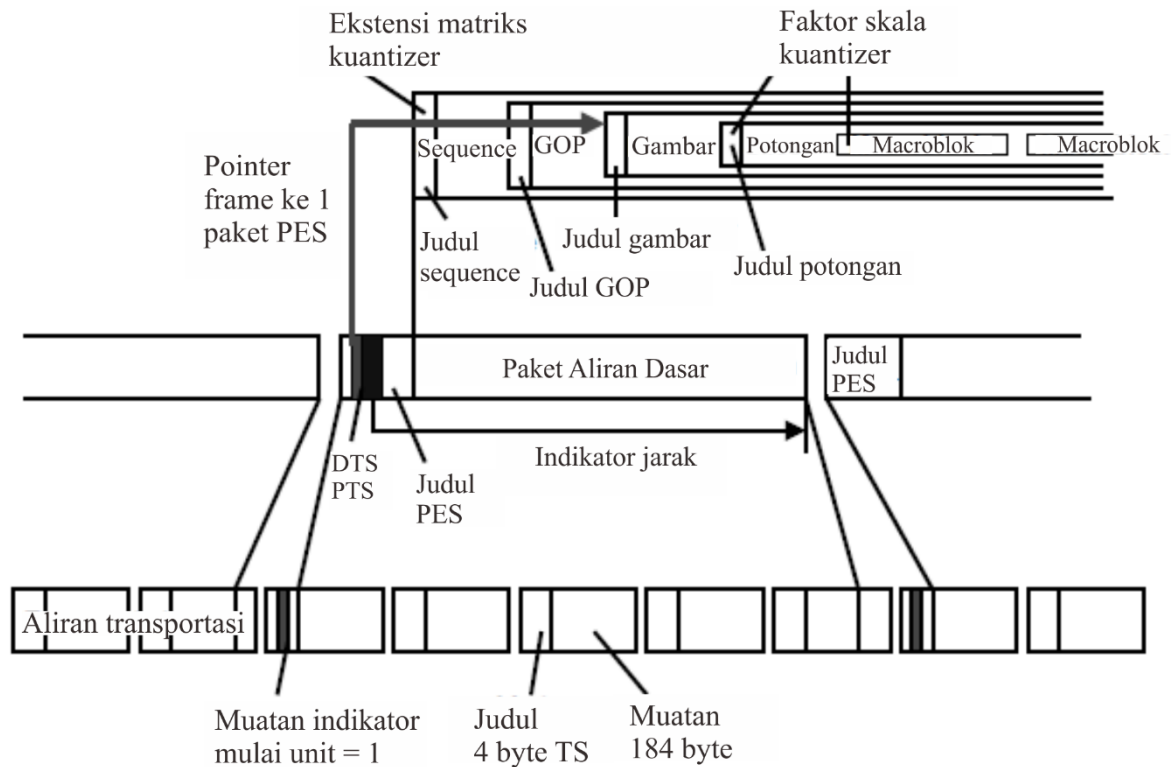
Namun, ada jenis khusus pengkodean DCT yang menghasilkan kualitas gambar yang lebih baik untuk metode pemindaian interlaced. Ini melibatkan pengkodean bingkai dan bidang makroblok (Gbr.7.31.). Dalam metode ini, makroblok pertama kali dikodekan ulang baris demi baris sebelum dikenakan pengkodean DCT.



Gambar 7.32. Blok, blok makro, iris, dan bingkai dalam video MPEG-2

7.10 Struktur Aliran Dasar Video

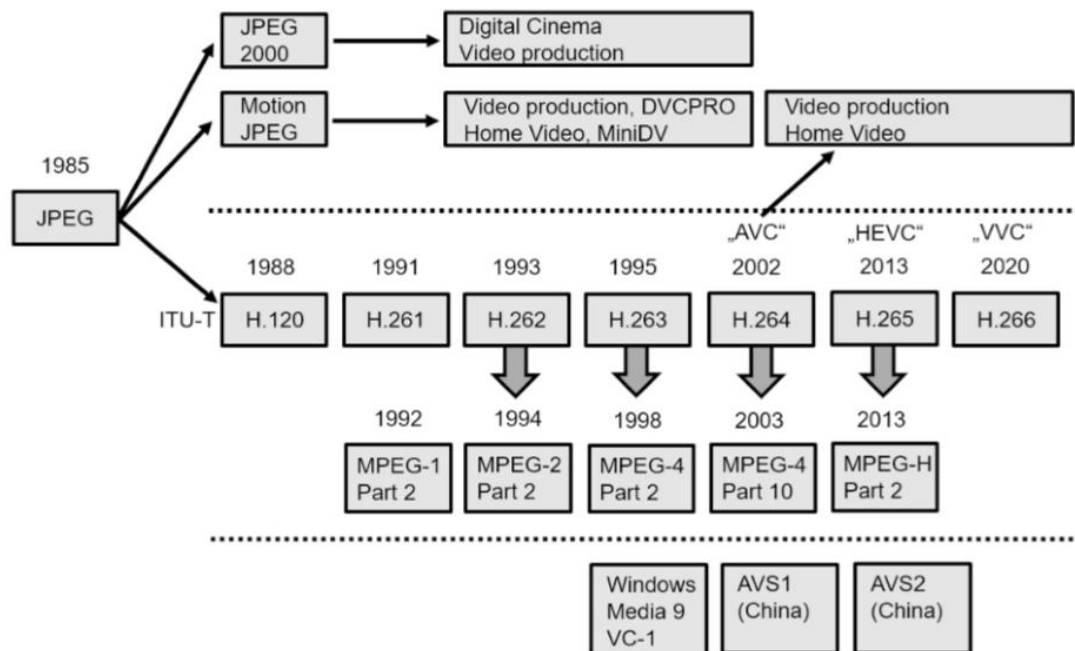
Unit terkecil dari aliran video adalah blok yang terdiri dari 8 x 8 piksel. Setiap blok mengalami Discrete Cosine Transform (DCT) terpisah selama pengkodean. Dalam kasus profil 4:2:0, empat blok luminance dan satu blok CB dan satu blok CR dalam setiap kasus bersama-sama membentuk satu makroblok. Setiap makroblok dapat menunjukkan jumlah kuantisasi yang berbeda, yaitu dikompresi ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil. Untuk tujuan ini, pembuat encode video dapat memilih faktor penskalaan yang berbeda di mana setiap koefisien DCT juga dibagi. Faktor penskalaan quantizer ini adalah "sekrup set" yang sebenarnya untuk kecepatan data aliran video PES. Tabel kuantisasi itu sendiri tidak dapat ditukar dari blok makro ke blok makro. Setiap blok makro dapat berupa pengkodean bingkai atau pengkodean bidang. Ini diputuskan oleh encoder atas dasar kebutuhan dan kesempatan. Salah satu kebutuhan untuk pengkodean bidang muncul dari adanya komponen gerak antara bidang pertama dan kedua dan peluang disajikan oleh kecepatan data yang tersedia.



Gambar 7.33. Struktur aliran dasar video MPEG-2

Bersama-sama, sejumlah makroblok dalam satu baris membentuk irisan (Gbr.7.32.). Setiap irisan dimulai dengan header yang digunakan untuk sinkronisasi ulang, mis. dalam kasus kesalahan bit. Pada tingkat aliran video, penyembunyian kesalahan terutama terjadi pada tingkat irisan, yaitu dalam kasus kesalahan bit, dekoder MPEG menyalin irisan dari bingkai sebelumnya ke dalam bingkai saat ini. Decoder MPEG dapat menyinkronkan ulang dirinya sendiri dengan awal irisan baru. Semakin pendek irisan, semakin rendah gangguan yang disebabkan oleh kesalahan bit.

Banyak irisan bersama-sama kemudian akan membentuk bingkai (gambar). Sebuah bingkai juga dimulai dengan sebuah header, header gambar. Ada berbagai jenis frame, yang disebut frame I (intraframe), frame P (predicted) dan frame B (bidirectionally predicted). Karena pengkodean diferensial dua arah, urutan frame tidak sesuai dengan urutan asli dan header dan terutama header PES, oleh karena itu, membawa cap waktu sehingga urutan asli dapat dipulihkan (DTS = Decoding Time Stamps).



Gambar 7.34. Sejarah perkembangan pengkodean video

Bersama-sama, sejumlah frame yang sesuai dengan pola pengkodean dari pengkodean bingkai I, P dan B yang telah ditentukan sebelumnya oleh encoder, membentuk kelompok gambar /*group of pictures* (GOP). Setiap GOP memiliki header GOP. Dalam penyiaran, GOP yang digunakan sebagai aturan relatif pendek, memiliki panjang sekitar 12 frame, yaitu sekitar setengah detik. Dekoder MPEG hanya dapat mengunci sinyal dan mulai mereproduksi gambar ketika menerima permulaan GOP, yaitu bingkai I pertama. GOP yang lebih panjang dapat dipilih untuk perangkat penyimpanan massal seperti DVD karena mudah untuk memposisikan kepala bacanya pada bingkai I pertama.

Satu atau lebih GOP menghasilkan urutan, yang masing-masing juga dimulai dengan header. Pada tingkat header urutan, dimungkinkan untuk mengubah parameter video penting seperti tabel kuantisasi. Jika encoder MPEG menggunakan tabelnya sendiri yang berbeda dari standar, di sinilah ia akan ditemukan atau, masing-masing, di mana decoder diberitahu tentang hal ini.

Struktur aliran video PES (Gbr. 7.33.) yang dijelaskan di atas tertanam seluruhnya atau sebagian dalam paket video PES. Cara embedment ini dan panjang paket PES ditentukan oleh encoder video. Pada perangkat penyimpanan massal seperti DVD, paket PES juga dimasukkan ke dalam apa yang disebut paket. Paket dan paket PES juga dimulai dengan header.

7.11 Metode Kompresi Video Terbaru

Waktu belum berhenti. Saat ini, metode kompresi yang lebih modern dan lebih canggih seperti MPEG-4 Part 10 Advanced Video Coding (AVC) (H.264), Windows Media 9 (= VC-1) atau HEVC tersedia. Dengan kecepatan data yang lebih rendah dengan faktor 2 hingga 3, kualitas gambar yang lebih baik dibandingkan dengan MPEG-2 dapat dicapai dalam banyak kasus. Meskipun prinsip dasar pengkodean video tidak berubah, perbedaannya terletak pada detailnya. Dengan demikian, ukuran blok transformasi variabel digunakan mis. di H.264. Gambar 7.34. menunjukkan sejarah perkembangan video coding. Seperti yang telah disebutkan beberapa kali, penetapan standar JPEG juga merupakan semacam tonggak untuk pengkodean film. DCT digunakan untuk pertama kalinya dalam JPEG dan hanya digantikan oleh transformasi serupa, transformasi

integer, dalam MPEG-4 Bagian 10 (= H.264). Pengkodean video dikembangkan sebagai bagian dari standar ITU-T H.xxx dan kemudian digabungkan dalam rangkaian metode pengkodean video MPEG sebagai MPEG-1, MPEG-2 dan MPEG-4. MPEG-2 Bagian 2 Video sesuai dengan H-262, MPEG-4 Bagian 2 Video ke H.263 dan MPEG-4 Bagian 10 AVC (Advanced Video Coding), akhirnya, ke ITU-T H.264.

7.12 Pengodean Video Tingkat Lanjut MPEG-4

Dibandingkan dengan MPEG-2, codec video MPEG-4 Part 10 AVC (H.264) yang jauh lebih baik memungkinkan kecepatan data diturunkan sebesar 30 hingga 50%. Ini berarti bahwa sinyal SDTV sekarang dapat dikompresi menjadi kira-kira. 1,5 ... 3 Mbit/s dibandingkan dengan kecepatan data 2 ... 7 Mbit/s, kecepatan data asli yang tidak terkompresi adalah 270 Mbit/s. Menggunakan MPEG-4, sinyal HDTV dapat diperkecil menjadi sekitar 10 Mbit/dtk dari aslinya 1,5 Gbit/dtk. MPEG-2 akan membutuhkan sekitar 20 Mbit/s untuk ini.

$$M_{ab} \longrightarrow a \quad M_{ab} \left[\begin{matrix} \\ \end{matrix} \right] = \cos\left(\frac{(2a+1)b\pi}{16}\right);$$

$\cos(0)$ =1	$\cos(0)$ =1	$\cos(0)$ =1	$\cos(0)$ =1	$\cos(0)$ =1	$\cos(0)$ =1	$\cos(0)$ =1	$\cos(0)$ =1
$\cos(\pi/16)$ =0.9808	$\cos(3\pi/16)$ =0.8315	$\cos(5\pi/16)$ =0.5556	$\cos(7\pi/16)$ =0.1951	$\cos(9\pi/16)$ =-0.1951	$\cos(11\pi/16)$ =-0.5556	$\cos(13\pi/16)$ =-0.8315	$\cos(15\pi/16)$ =-0.9808
$\cos(\pi/8)$ =0.9239	$\cos(3\pi/8)$ =0.3827	$\cos(5\pi/8)$ =-0.3827	$\cos(7\pi/8)$ =-0.9239	$\cos(9\pi/8)$ =-0.9239	$\cos(11\pi/8)$ =-0.3827	$\cos(13\pi/8)$ =0.3827	$\cos(15\pi/8)$ =0.9239
$\cos(3\pi/16)$ =0.8315	$\cos(9\pi/16)$ =-0.1950	$\cos(15\pi/16)$ =-0.9808	$\cos(21\pi/16)$ =-0.5556	$\cos(27\pi/16)$ =0.5556	$\cos(33\pi/16)$ =0.9808	$\cos(39\pi/16)$ =0.1951	$\cos(45\pi/16)$ =-0.8315
$\cos(\pi/4)$ =0.7071	$\cos(3\pi/4)$ =-0.7071	$\cos(5\pi/4)$ =-0.7071	$\cos(7\pi/4)$ =0.7071	$\cos(9\pi/4)$ =0.7071	$\cos(11\pi/4)$ =-0.7071	$\cos(13\pi/4)$ =-0.7071	$\cos(15\pi/4)$ =0.7071
$\cos(5\pi/16)$ =0.5556	$\cos(15\pi/16)$ =-0.9807	$\cos(25\pi/16)$ =0.1951	$\cos(35\pi/16)$ =0.8315	$\cos(45\pi/16)$ =-0.8315	$\cos(55\pi/16)$ =-0.1951	$\cos(65\pi/16)$ =0.9808	$\cos(75\pi/16)$ =-0.5556
$\cos(3\pi/8)$ =0.3827	$\cos(9\pi/8)$ =-0.9239	$\cos(15\pi/8)$ =0.9239	$\cos(21\pi/8)$ =-0.3827	$\cos(27\pi/8)$ =-0.3827	$\cos(33\pi/8)$ =0.9239	$\cos(39\pi/8)$ =-0.9239	$\cos(45\pi/8)$ =0.3827
$\cos(7\pi/16)$ =0.1951	$\cos(21\pi/16)$ =-0.5556	$\cos(35\pi/16)$ =0.8315	$\cos(49\pi/16)$ =-0.9808	$\cos(63\pi/16)$ =0.9808	$\cos(77\pi/16)$ =-0.8315	$\cos(91\pi/16)$ =0.5556	$\cos(105\pi/16)$ =-0.1951

Gambar 7.36. Tabel pencarian matriks kosinus

MPEG-4 Part 10 Advanced Video Coding (H.264) dibedakan oleh fitur-fitur berikut:

- Format 4:2:0, 4:2:2 dan 4:4:4 didukung
- Maksimum hingga 16 bingkai referensi
- Kompensasi gerak yang ditingkatkan (akurasi 1/4 piksel)
- Switching P (SP) dan Switching I (SI) frame
- Akurasi lebih tinggi karena implementasi 16 bit
- Struktur makroblok yang fleksibel (16x16, 16x8, 8x16, 8x4, 4x8, 4x4)
- 52 set tabel kuantisasi yang dapat dipilih
- Transformasi bilangan bulat atau Hadamard alih-alih DCT (ukuran blok 4x4 atau 2x2 piksel, resp.)
- Filter pemblokiran in-loop (menghilangkan artefak pemblokiran)
- Struktur irisan yang fleksibel (kinerja kesalahan bit yang lebih baik)
- Pengkodean entropi; pengkodean panjang variabel (VLC) dan pengkodean aritmatika biner adaptif konteks (CABAC)

Dengan rincian sebagai berikut:

Dalam pengkodean video MPEG-2, makroblok format 4:2:0 terdiri dari 4 blok luminance 8x8 piksel dan satu blok CB dan CR masing-masing berukuran 8x8 piksel. MPEG-4 memberikan lebih banyak fleksibilitas dalam hal ini. Di sini, macroblock memiliki ukuran 16x16, 16x8, 8x16, 8x4, 4x8 atau 4x4 piksel di lapisan luminance. Blok itu sendiri terdiri dari 4x4 atau 2x2 piksel sedangkan selalu tetap pada 8x8 piksel dalam MPEG-2 dan MPEG-1.

Keakuratan kompensasi gerak sekarang menjadi 1/4 piksel, bukan 1/2 piksel dalam MPEG-2. Dalam pengkodean interframe MPEG-2, hanya mungkin menggunakan satu referensi di setiap arah. Dalam MPEG-4, dimungkinkan untuk membentuk beberapa kerangka referensi yang memungkinkan kecepatan data dikurangi secara signifikan.

Dalam MPEG-2, sebuah irisan selalu merupakan kelipatan dari makroblok dalam arah horizontal sedangkan MPEG-4 menyediakan alokasi makroblok yang fleksibel dalam sebuah irisan.

Tetapi terutama di bidang pengkodean transformasi, MPEG-4 menunjukkan perubahan besar.

Pada prinsipnya, pengkodean transformasi MPEG-2 melalui DCT sebenarnya dilakukan dengan perkalian matriks di encoder yang kemudian dibalikkan di decoder. Untuk tujuan ini, tabel pencarian disimpan di perangkat keras. Rumus untuk DCT dua dimensi adalah:

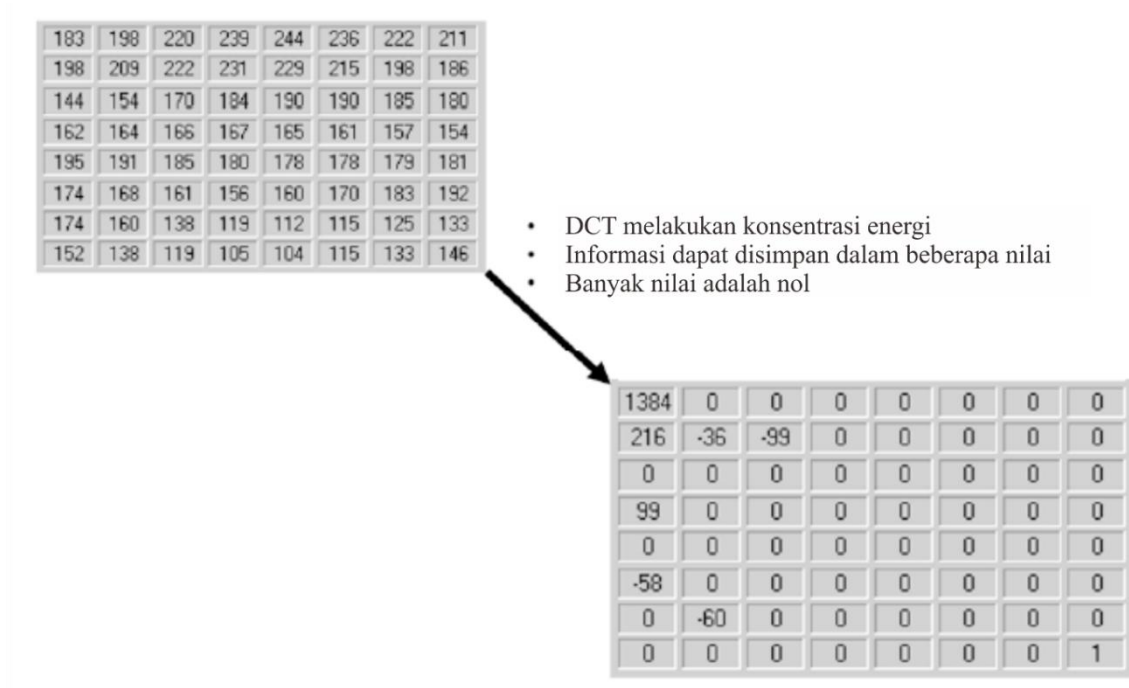
$$F(u, v) = \frac{2}{N} C(u)C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N}$$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{for } u, v = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

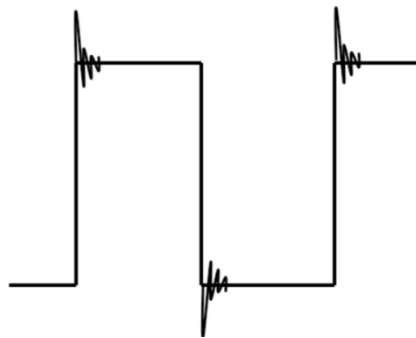
Gambar 7.35. Definisi Transformasi Kosinus Diskrit/*Discrete Cosine Transform* (DCT)

Ini dapat dibagi menjadi perkalian matriks berdasarkan matriks nilai kosinus:

Keuntungan besar dari DCT adalah konsentrasi energi yang besar (Gbr. 7.38.) ke nilai yang sangat sedikit dalam domain spektral, dan penghindaran fenomena Gibbs yang akan menyebabkan overshoot dalam transformasi terbalik dan dengan demikian menjadi pemblokiran yang terlihat jelas. Fenomena Gibbs (Gbr. 7.39.), yang diketahui dari DCT, didasarkan pada komponen sinusoidal dari proses transformasi ini.



Gambar 7.38. Konsentrasi energi DCT



Gambar 7.39. Fenomena Gibbs

Dalam berbagai metode transformasi, hanya Matriks lain yang digunakan, pada prinsipnya, yaitu "fungsi dasar" dari mana ia berusaha untuk mewakili fungsi aslinya adalah yang lain. Dalam kasus DCT, ini adalah pola kosinus.

Dalam MPEG-4, pola dasar ini, atau koefisien matriks M_{ab} , masing-masing, digantikan oleh yang lain. Dalam kasus MPEG-4, ini disebut perkalian matriks bilangan bulat atau juga transformasi Hadamard. Matriks transformasi yang digunakan dalam MPEG-4 AVC adalah sebagai berikut:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Ket :

I = transformasi integer untuk sampel luma dan chroma

H = Transformasi Hadamard untuk koefisien luma DC

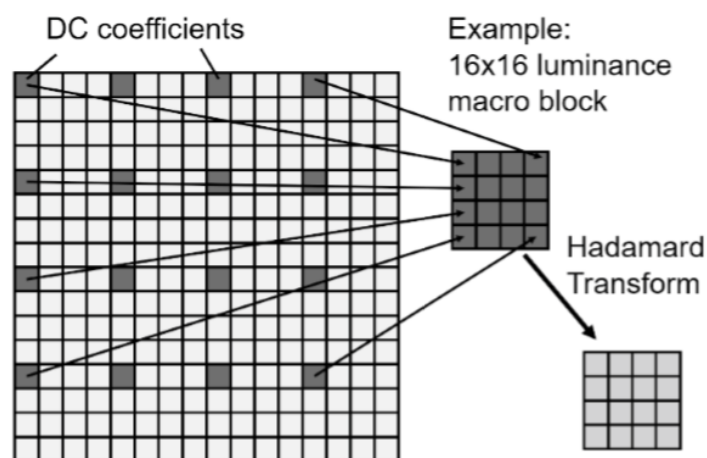
C = Transformasi Hadamard untuk koefisien DC chroma

Gambar 7.40. Matriks transformasi dalam MPEG-4 AVC

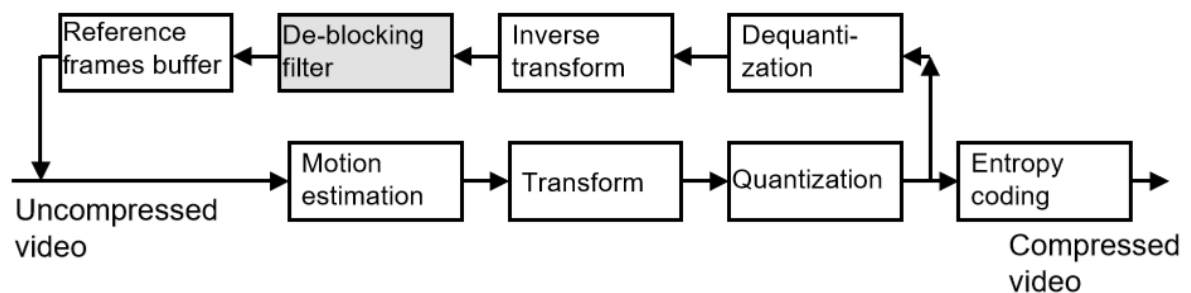
Matriks yang digunakan dalam MPEG-4 AVC memiliki ukuran masing-masing hanya 4x4 atau 2x2 piksel. Dalam kasus luminance, transformasi dilakukan dalam dua langkah. Pada langkah pertama, blok piksel 4x4 asli ditransformasikan ke dalam domain spektral melalui matriks T. Selanjutnya, koefisien DCT dari 16 blok ditransformasikan lagi dengan matriks Hadamard H sehingga dapat dikompresi lebih lanjut (Gambar 7.41.)

Dalam MPEG-2, matriks yang ditentukan dalam Standar yang digunakan, atau ditentukan oleh encoder dan dimodifikasi dan dalam setiap kasus ditransmisikan ke penerima di header urutan di awal urutan. Selain itu, dalam MPEG-2, setiap koefisien dibagi dengan faktor skala kuantizer yang pada akhirnya menentukan kecepatan data aktual. MPEG-4 menggunakan satu set 52 matriks kuantisasi.

MPEG-4 juga menggunakan filter pemblokiran (Gbr. 7.42.) yang dimaksudkan untuk tambahan menekan visibilitas artefak pemblokiran. Ini juga dibantu oleh ukuran blok yang lebih kecil dan variabel makroblok dan ukuran irisan.



Gambar 7.41. Transformasi Hadamard dari koefisien DC dalam MPEG-4 AVC



Gambar 7.42. Deblocking filter di MPEG-4

Seperti MPEG-2, MPEG-4 juga memiliki profil dan level. SDTV (TV definisi standar) sebagian besar sesuai dengan Profil@Main Level 3 (MP@L3). HDTV (TV definisi tinggi) kemudian menjadi Profil@Main Level 4 (MP@L3).

Tabel 7.1 Profil MPEG-4 AVC

Coding Tools	Profil dasar	Profil yang diperluas	Profil utama
I, P irisan	x	x	x
CAVLC	x	x	x
Ketahanan kesalahan	x	x	
Irisan SP dan SI		x	
irisan B		x	x
Pengkodean interlaced		x	x
CABAC		x	x

Tabel 7.2. Level MPEG-4

Nomor tingkat	Ukuran gambar biasa	Maks. kecepatan frame untuk mengetik. ukuran gambar	Maks. kecepatan bit terkompresi	Maks. jumlah kerangka acuan tip. ukuran gambar
1	QCIF	15	64 kbit/s	4
1.1	320 x 240	10	192 kbit/s	3
	QCIF	30	384 kbit/s	9
1.2	CIF	15	768 kbit/s	6
1.3	CIF	30	2 Mbit/s	6
2	CIF	30	4 Mbit/s	6
2.1	HR	30/25	4 Mbit/s	6
2.2	SD	15	10 Mbit/s	5
3	SD	30/25	14 Mbit/s	5
3.1	1280 x 720P	30	20 Mbit/s	5
3.2	1280 x 720P	60	20 Mbit/s	4
4	HD 720p, 1080i	60p/30i	50 Mbit/s	4
4.1	HD 720p, 1080i	60p/30i	50 Mbit/s	4
4.2	1920 x 1080p	60p		4
5	2k x 1k	72	135 Mbit/s	5
5.1	2k x 1k	120	240 Mbit/s	5
	4k x 2k	30		

MPEG-4 Part 10 AVC memungkinkan kompresi gambar yang lebih efektif setidaknya 30% hingga 50%, dengan kualitas gambar yang lebih baik. Laju data SDTV setelah kompresi sekarang kurang dari 3 Mbit/dtk dan laju data HDTV kurang dari 10 Mbit/dtk. MPEG-4 AVC juga memungkinkan penggunaan yang jelas kurang dari 1 Mbit/dtk untuk TV seluler dengan kualitas SDTV.

MPEG-4 AVC digunakan saat ini untuk HDTV di DVB-S2 dan digunakan di TV seluler sebagai bagian dari DVB-H dan T-DMB. MPEG-4 AVC dapat digabungkan tanpa masalah dalam Transport stream MPEG-2. Sebaliknya, tidak ada upaya untuk mengubah apa pun di lapisan transport. Mekanisme sinkronisasi bibir juga sama, dan berasal dari lapisan PES MPEG-1.

7.13 HEVC Pengodean Video Efisiensi Tinggi, UHD TV

Pengkodean video MPEG-2 telah digunakan dengan sangat sukses di televisi digital sejak tahun 1990-an, terutama untuk *Standard Definition Television* (SDTV) dengan kecepatan data sekitar 3 hingga 6 Mbit/s, tetapi juga untuk *High Definition Television* dengan kecepatan data sekitar 20 Mbit/dtk per program. DVD menerapkan pengkodean video MPEG-2. Sejak tahun 2003, MPEG-4 Part 10, *Advanced Video Coding* (AVC) atau H.264 telah mengalami peningkatan penggunaan di semua area aplikasi yang membutuhkan sinyal video terkompresi. H.264 / AVC menghemat sekitar setengah kecepatan data dibandingkan dengan video MPEG-2, memungkinkan SDTV dengan sekitar 1,5 hingga 3 Mbit/dtk dan HDTV dengan kira-kira 10 Mbit/dtk per sinyal video per program. Saat ini, televisi definisi tinggi telah menjadi standar; setidaknya ada satu layar datar di setiap rumah tangga modern, dan diagonal layar telah meningkat dari sekitar 30 inci menjadi 50 atau lebih. Sementara itu, generasi berikutnya HDTV, yang disebut UHD TV (Ultra High Definition Television), muncul dengan resolusi minimal 3840 x 2160 piksel, yaitu setidaknya dua kali lipat dari Full HD. Ini sekali lagi membawa kecepatan data aliran UHD TV terkompresi di atas 30 Mbit/s, sehingga codec video baru diperlukan. Bagian berikut menjelaskan ITU-T H.265, standar untuk Pengodean Video Efisiensi Tinggi (HEVC), juga melihat lebih dekat pada antarmuka video profesional modern.

7.14 Format Gambar

Selama beberapa dekade, TV di rumah memiliki format layar 4:3. "Rasio aspek" atau rasio lebar-ke-tinggi ini merupakan kompromi untuk pembuatan tabung gambar yang mudah secara mekanis. Namun, bidang pandang manusia sebenarnya memiliki bentuk yang berbeda, itulah sebabnya bioskop memiliki ukuran layar yang jauh lebih lebar. Tabel 5.2 di Bab 5 mencantumkan format gambar yang biasa.

PALplus menghadirkan aspek rasio 16:9, yang telah menjadi standar layar datar sejak HDTV muncul. Layar datar dapat diproduksi dalam rasio aspek apa pun. Di televisi analog, bandwidth video biasanya 5 MHz menentukan resolusi gambar dan karenanya ketajaman gambar. Selama beberapa dekade, hanya ada SDTV (TV Definisi Standar), meskipun untuk waktu yang lama tidak menggunakan nama ini; istilah "piksel" juga tidak digunakan di TV analog, meskipun tentu saja memiliki sejarah panjang dalam penggunaan di dunia komputer. Dari tahun 1980-an, upaya berulang kali dilakukan untuk memperkenalkan televisi definisi tinggi, HDTV, yang menjadi kenyataan hanya beberapa dekade kemudian dengan bantuan televisi digital sekitar tahun 2010. SDTV (720 x 576 piksel) kemudian pertama kali berubah menjadi HD-Ready, lalu Full HD, dan terakhir hanya HDTV (1920 x 1080 piksel). Sementara itu, banyak TV layar datar dengan jumlah piksel HDTV empat kali lipat tersedia sebagai perangkat UHD TV. UHD TV, singkatan dari Ultra High Definition Television, menjanjikan lebih banyak detail gambar. Namun, meskipun perangkat UHD TV sudah tersedia, pengguna akhir masih belum ditawarkan konten UHD TV. Tabel 5.1 di Bab 5 mencantumkan resolusi layar dan format sinyal video yang umum.

Sampai film 3D "Avatar" tahun 2008, hampir semua bioskop sudah analog, yaitu memutar film 35 mm yang telah digunakan selama satu abad. Karena film 3D hanya layak secara ekonomi dalam format digital, bioskop semakin bermigrasi ke proyektor digital yang biasanya memberikan resolusi 2K (2048 x 1536 piksel) pada 24 atau 30 bingkai per detik. Karena kecepatan refresh yang rendah di bioskop, apa yang disebut "efek bioskop" masih ada, dan juga menyebabkan gerakan kabur. Namun, frame rate bioskop juga akan meningkat; di masa mendatang, bioskop akan menggunakan resolusi 4K atau 8K pada frekuensi gambar yang jauh lebih tinggi. Format gambar dengan "K"

di akhir berarti format bioskop, meskipun "K" berarti "Kilo". Format TV adalah SDTV, HDTV, UHD-1 dan UHD-2, dan selalu memiliki piksel per baris yang sedikit lebih sedikit daripada resolusi bioskop yang sebanding, mis. HDTV memiliki 1920 bukannya 2048 piksel per baris atau UHD-1 memiliki 3840 bukannya 4096 piksel per baris. Namun, UHD-1 salah diiklankan dengan label "4K".

7.15 Metode Pengodean Video

Dasar-dasar pengkodean video telah disajikan secara rinci dan dibahas dalam hal standar yang paling umum digunakan:

- Pengkodean video MPEG-2, juga dikenal sebagai H.262
- Pengkodean video MPEG-4 Bagian 10, juga dikenal sebagai AVC (Pengodean Video Lanjutan atau H.264)

Video MPEG-2 telah ada dalam teknologi TV digital sejak pertengahan 1990-an, dan juga dalam video DVD, terutama untuk SDTV. Hanya Amerika Serikat (ATSC 1.0), Jepang dan Australia (DVB-T) yang masih menggunakan video MPEG-2 juga untuk HDTV. Video MPEG-4 Part 10/AVC/H.264 muncul sekitar tahun 2005, dan sekarang digunakan untuk SDTV, HDTV, dan semua jenis streaming. H.264 mengurangi kecepatan data video menjadi sekitar setengah dari kecepatan H.262. Kecepatan data video terkompresi yang khas adalah:

- SDTV dalam MPEG-2: sekitar 3 hingga 5 Mbit/dtk
- HDTV dalam MPEG-2: sekitar 18 hingga 20 Mbit/dtk
- SDTV dalam MPEG-4/AVC: sekitar 1,5 hingga 3 Mbit/dtk
- HDTV dalam MPEG-4/AVC: sekitar 8 hingga 12 Mbit/dtk

Sekarang H.265 diatur untuk membagi dua kecepatan data video lagi, dan memberikan ruang untuk format UHD TV di masa mendatang.

7.16 Tempat H.265 di Dunia MPEG

Sejauh ini, standar MPEG-1, MPEG-2, dan MPEG-4 telah ada dan telah dijelaskan dalam dokumen-dokumen berikut:

MPEG-1

ISO/IEC 11172-1 MPEG-1 systems

ISO/IEC 11172-2 MPEG-1 video

ISO/IEC 11172-3 MPEG-1 audio (layers I, II, III)

...

MPEG-2:

ISO/IEC 13818-1 MPEG-2 systems

ISO/IEC 13818-2 MPEG-2 video

ISO/IEC 13818-3 MPEG-2 audio (layers I, II, III)

ISO/IEC 13818-6 DSM-CC (data broadcasting)

ISO/IEC 13818-7 MPEG-2 Advanced Audio Coding

...

MPEG-4:

ISO/IEC 14496-1 MPEG-4 systems

ISO/IEC 14496-2 MPEG-4 Part 2 video

ISO/IEC 14496-3 MPEG-4 AAC audio

ISO/IEC 14496-10 MPEG-4 Part 10 Advanced Video Coding

...

Tidak ada standar "MPEG-3", atau MPEG-5 atau MPEG-6. MPEG-7 memiliki definisi metadata, tetapi karena hampir tidak mempengaruhi dunia penyiaran, itu tidak akan dibahas lebih lanjut di sini. Dengan standar MPEG yang lebih baru, nomenklatur telah diubah, dengan standar MPEG lebih lanjut disertakan sebagai:

MPEG-A ISO/IEC 23000

MPEG-B ISO/IEC 23001

MPEG-C ISO/IEC 23002

MPEG-D ISO/IEC 23003

MPEG-E ISO/IEC 23004

MPEG-V ISO/IEC 23005

MPEG-M ISO/IEC 23006

MPEG-U ISO/IEC 23007

MPEG-H ISO/IEC 23008

MPEG-DASH ISO/IEC 23009

Yang paling penting adalah MPEG-H dan MPEG-DASH.

Seperti apa radio dan, yang paling penting, televisi di masa depan adalah tebakan siapa pun. Saat ini, mendengar istilah "siaran linier" atau "televisi linier" dalam arti bahwa penonton atau pendengar "mengonsumsi" apa yang sedang disiarkan oleh penyiar berdasarkan jadwal programnya. Jika menginginkan sesuatu yang lain, yang bisa dilakukan hanyalah beralih ke channel lain. Pendekatan alternatif disebut VoD (*Video on Demand*) atau televisi nonlinier, dll. Selain jalur penyiaran klasik – terrestrial, kabel, dan satelit –, ada juga opsi streaming melalui IP. Semakin banyak program TV dan radio yang ditransfer melalui Internet. Ini namanya OTT (*Over the Top TV*). OTT menawarkan format streaming video dan audio melalui Internet untuk berbagai perangkat terminal seperti smartphone, tablet, dan PC yang menjalankan sistem operasi berbeda, MPEGDASH memperluas format streaming eksklusif dengan format standar:

MPEG-DASH

”Streaming Adaptif Dinamis melalui HTTP (DASH)” ISO/IEC 23009

Codec video baru yang dibahas di bagian berikut juga dikenal sebagai MPEG-H:

MPEG-H

MPEG-H ISO/IEC 23008

“Pengodean Efisiensi Tinggi dan Pengiriman Media di Lingkungan Heterogen”

MPEG-H bagian 2 ISO/IEC 23008-2 sesuai dengan codec video ITU-T H.265 HEVC

MPEG-H Bagian 1: Digital Container

MPEG-H Bagian 2: Pengodean Video Efisiensi Tinggi

MPEG-H Bagian 3: Audio 3D

MPEG-H Bagian 5: Pengujian Kesesuaian HEVC ...

MPEG-H Bagian 8: ...

Ini adalah ikhtisar singkat tentang standar terkait codec video baru.

7.17 Langkah Pengodean Video di H.265

H.265 adalah standar pengkodean gambar hibrid lainnya yang terdiri dari langkah-langkah pemrosesan berikut:

- Penskalaan sinyal input (8 bit, bukan 10 bit, penghapusan bagian pengosongan horizontal dan vertikal, subsampling warna 4:2:0 alih-alih 4:2:2, dll.)
- Transform coding (DCT, Discrete Cosine Transform, dll.) dengan kuantisasi
- Pengkodean gambar individu (pengkodean intra-frame)
- Pengkodean gambar diferensial (pengkodean antar-bingkai)
- Pengkodean entropi (pengurangan redundansi, pengkodean Panjang Jalan, dll.)
- Pemfilteran de-blocking (dari H.264, untuk menekan artefak pengkodean transformasi)

Algoritma kompresi gambar menggunakan

- Pengkodean intra-frame (pengkodean komponen gambar diam), dan
- Pengkodean antar bingkai (pengkodean perbedaan gambar video).

Istilah seperti GOP (Grup Gambar), gambar I, P, dan B sama sekali tidak ada di H.265; sebagai gantinya, referensi dibuat untuk irisan kode intra-, prediktif, dan dua arah. Dalam MPEG-2, sebuah irisan adalah serangkaian blok makro horizontal; di H.264 dan H.265, irisan dapat dibentuk di atas gambar yang relatif sewenang-wenang, dan juga dapat diproses oleh encoder yang berjalan secara paralel. Istilah baru di H.265 adalah Coding Trees, Coding Quadrees, Coding Tree Units, Coding Tree Blocks, Transform Unit, dan Transform Blocks. HEVC menentukan profil, level, dan tingkatan.

Semua metode pengkodean video pertama-tama membagi gambar menjadi blok makro, kemudian blok makro menjadi unit yang lebih kecil hingga blok. Setiap blok terdiri dari $N \times N$ piksel. Bagaimana macroblock dibagi menjadi beberapa blok tergantung pada metodenya; di sini H.262, H.264 dan H.265 beroperasi secara berbeda. Macroblock selalu menggambarkan elemen gambar yang terdiri dari komponen luminance (Y) dan chrominance (Cb, Cr). Beberapa makroblok membentuk irisan untuk memudahkan menemukan titik awal baru untuk decoding jika terjadi kesalahan bit, dan juga untuk

mengaktifkan pengkodean video yang diparalelkan. Di sini sekali lagi, metode kompresi video berbeda.

Pengkodean gambar diferensial dilakukan pada level blok makro, sedangkan pengkodean transformasi dilakukan pada level blok. Selama prosedur terakhir, sebuah blok atau perbedaan blok perkiraan gerak ditransformasikan dari domain asli ke domain frekuensi, menggunakan mis.

- DCT (Transformasi Kosinus Diskrit) dalam MPEG-2
- Transformasi Hadamard
- Transformasi Wavelet Pendek dalam JPEG2000
- di H.265, juga DST (Discrete Sine Transform)

Ukuran blok selalu

- 8 x 8 pixels in H.262/MPEG-2
- 4 x 4 pixels and 2 x 2 pixels in H.264/MPEG-4 AVC
- 64 x 64, 32 x 32, 16 x 16, 8 x 8, and 4 x 4 in H.265/HEVC

Transformasi dilakukan untuk semua blok komponen luminance dan chrominance.

Pengkodean diferensial (prediksi) selama pengkodean intra-frame terjadi

- hanya untuk koefisien DC di MPEG-2/H.262
- juga antara partisi macroblock di MPEG-4 AVC/H.264
- dalam rentang quadtree pengkodean di H.265, menggunakan DCT atau DST

Pengkodean diferensial digunakan oleh semua metode kompresi video ketika perbedaan antara frame diproses, yaitu selama pengkodean antar-bingkai jika diaktifkan. Ini melibatkan penghitungan perbedaan antara bingkai berurutan di depan, belakang, atau kedua arah, dengan:

- MPEG-2/H.262 menghitung perbedaan hanya untuk satu gambar di depan, belakang, atau kedua arah
- MPEG-4/AVC/H.264 melibatkan hingga 9 gambar dalam pengkodean diferensial
- Perbedaan pengkodean H.265/HEVC hanya dalam irisan pada sejumlah gambar yang sebanding dengan yang ada di H.264; ada irisan yang diintrakodekan, irisan P, dan irisan B

Mengenai subdivisi lebih lanjut dari macroblocks:

- MPEG-2-Video/H.262 membagi macroblock menjadi beberapa blok dengan 8 x 8 piksel untuk luminance dan chrominance
- MPEG-4/AVC/H.264 membagi macroblock menjadi beberapa partisi dengan 4 x 4 piksel untuk luminance dan 2 x 2 piksel untuk chrominance
- H.265/HEVC: pengertian "macroblock" diganti dengan "coding tree unit", terdiri dari "coding tree block" dengan subdivisi yang semakin halus sesuai dengan konten gambar saat ini menjadi "coding quadtree", serta down ke "blok pengkodean" yang lebih kecil atau lebih besar dan "blok transformasi" dari N x N piksel (32 x 32, 16 x 16, 8 x 8, dan 4 x 4)

7.18 HEVC secara Detail

Bagian ini akan menjelaskan esensi HEVC (*High Efficiency Video Coding*, juga dikenal sebagai H.265). Tabel di bawah ini adalah perbandingan H.261, H.262, H.264, dan H.265. Fitur utama dari HEVC adalah:

- Resolusi hingga 8K
- Struktur *Coding Tree Unit* (CTU), *Coding Tree Block* (CTB), *Coding Unit* (CU), *Coding Block* (CB), *TransformUnit* (TU), *Transform Block* (TB)
- Beberapa Gambar Referensi
- Pensinyalan Vektor Gerak Lanjut
- Kompensasi gerak pada akurasi yang lebih tinggi
- Segmen Irisan Dependen
- DCT – Transformasi Kosinus Diskrit blok piksel 4x4, 8x8, 16x16, dan 32x32 piksel
- Peningkatan intra-prediksi dengan menggeser blok dalam satu gambar ke 34 kemungkinan arah
- DST – Transformasi Sinus Diskrit untuk residual intra-prediksi luminansi 4x4
- De-blocking-filter
- Profil 8-bit dan 10-bit ("ruang warna yang dalam")

HEVC/H.265 mendefinisikan tingkatan, level, dan profil. Dua tingkatan HEVC disebut Main tier dan High tier, resp. Tingkat Utama ditujukan untuk penggunaan standar, sedangkan Tingkat Tinggi ditujukan untuk aplikasi profesional. Ada tiga profil: Profil Utama, Profil 10 Utama, dan Profil Gambar Diam Utama. Profil Utama dan Profil 10 Utama berbeda dalam kemungkinan resolusi, yaitu 8 bit, atau 8, 9, dan 10 bit, resp. Level menggambarkan resolusi maksimum yang mungkin, kecepatan refresh, dan kecepatan data. "Tingkat tinggi" tidak ditentukan di semua level.

Tabel 7.3 Berbandingan H.261, H.262, dan H.265

	H.261	Video H.262 MPEG-2	H.264/AVC	H.265/HEVC
Resolusi (piksel)	QCIF (174x144), CIF (352x288)	hingga 1920 x 1080	hingga 4096x2304	hingga 8192x4320
Warna sub- sample	4:2:0:0	4:2:0, 4:2:2, 4:4:4	4:2:0, 4:2:2, 4:4:4	4:2:0, (4:2:2), (4:4:4)
Jalanan	TIDAK	YA	YA	Sampai saat ini TIDAK
Ukuran Blok	16 x 16	16 x 16	16 x 16	8x8, 16x16, 32x32, 64x64
Ukuran intra- partisi	16 x 16	16 x 16	16x16, 8x8, 4x4	4x4, 8x8, 16x16, 32x32
Filter dalam lingkaran	TIDAK	TIDAK	De-blocking	De-blocking, lanjutan
Transformasi	8 x 8 DCT	8 x 8 DCT	4x4, 8x8 ditetger DCT	4x4, 8x8, 16x16, 32x32 DCT Integer, DST 4x4- Integer, Transform Lewati
Pengodean Entropi	scan Zig-Zag, VLC	scan Zig-Zag, VLC	scan Zig-Zag, CAVLC, CABAC	Pemindaian vertikal dan diagonal horizontal, CABAC

Tabel 7.4 Profil HEVC

Profil	Deskripsi
Profil Utama	4:2:0-bit
10 Profil Utama	4:2:0, 8 to 10 bits
Profil Gambar Diam Utama	4:2:0, 8-bit

Standar HEVC tidak memuat istilah "Group of Pictures" (GOP), I-, P- dan B-pictures yang ada dalam standar sebelumnya, tetapi istilah GOP digunakan lagi dalam bahasa "sehari-hari" dari berbagai publikasi. Datastream H.265 atau GOP H.265 dimulai dengan apa yang disebut IDR (Refresh Decoding Instan) atau CRA (Clean Random Access); pada titik ini, gambar intra-kode ditransmisikan, di mana dekoder dapat diatur ulang (misalnya ketika pengguna beralih dari satu program ke program berikutnya).

Dalam HEVC, setiap gambar didekomposisi menjadi irisan yang lebih besar atau lebih kecil (dengan fleksibilitas yang sama seperti pada H.264). Sebuah slice memungkinkan pengkodean video paralel dan juga memfasilitasi sinkronisasi ulang selama decoding; itu didekomposisi menjadi Unit Pohon Pengkodean yang pada gilirannya terdiri dari Blok Pohon Pengkodean komponen Y, CB, CR. Istilah "Coding Tree Unit" menggantikan istilah "Macroblock" dari standar sebelumnya. Pengkodean video di H.265 diatur dalam irisan; ia memiliki irisan intra, irisan diprediksi, dan irisan dua arah. Unit Pohon Pengkodean terdiri dari hingga 64x64 piksel dan merupakan kelipatan persekutuan terkecil untuk ketiga lapisan: pencahayaan, CB, dan CR. Unit Pohon Pengkodean terdiri dari Blok Pengkodean. Setiap Coding Block terdiri dari N x N piksel. Dan pada titik ini – ketika Coding Block dipecah menjadi Transform Blocks dan piksel – di mana H.265/HEVC menyimpang dari standar pendahulunya H.262 (video MPEG-2) dan H.264 (MPEG-4 AVC).

Dalam H.265, "Satuan" selalu merupakan kombinasi dari semua Lapisan Komponen, dan "Blok" di H.265 menggambarkan rentang piksel N x M atau N x N dalam Lapisan Komponen (Y, CB, CR), yaitu "Unit" terdiri dari "Blok".

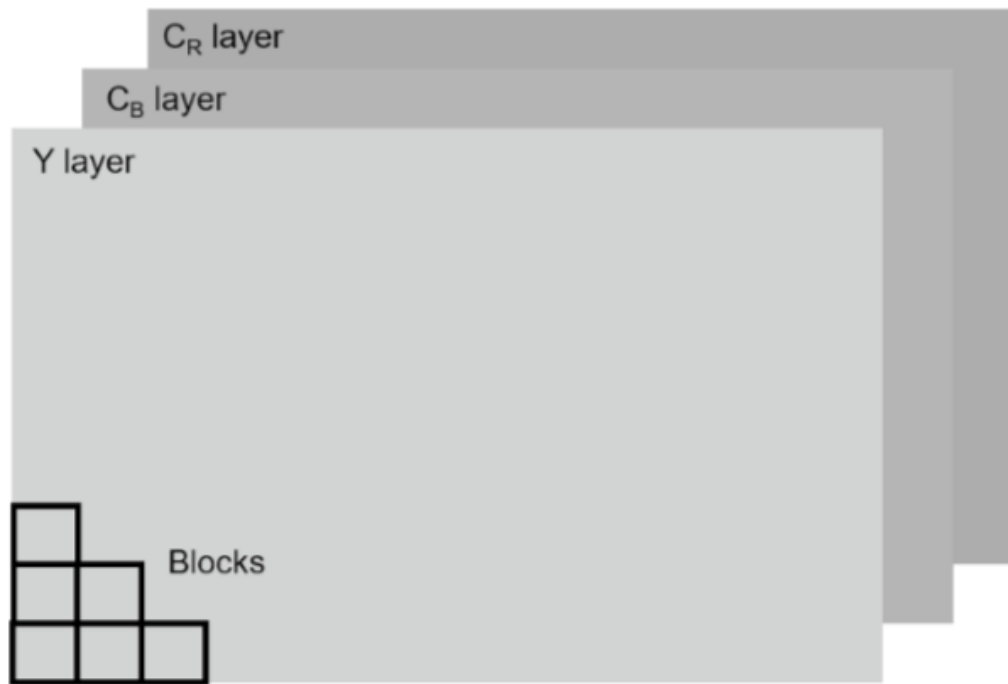
Dalam H.265/HEVC, Blok Pohon Pengkodean kemudian didekomposisi lebih lanjut menjadi "Ubin" yang lebih kecil sesuai dengan konten gambar parsial saat ini, menggunakan apa yang disebut prosedur Coding Quadtree. Subdivisi ini dilakukan untuk semua lapisan (luminance dan chrominance) dan mengarah ke Prediction Blocks (PB), Coding Blocks (CB), dan Transform Blocks (TB) dengan ukuran yang berbeda. Pengkodean intra dan antar-frame dilakukan pada level Blok Prediksi, sedangkan pengkodean transformasi dilakukan pada level Blok Transform. Ukuran maksimal dan minimal dari Transform Block adalah 32 x 32 piksel dan 4 x 4 piksel, resp. Ukuran maksimal Blok Prediksi adalah 64 x 64 piksel.

Level	Resolution [pixels, n x m]	Maximal refresh rate [1/s]	Main Tier Max. data rate [Mbit/s]	High Tier Max. data rate [Mbit/s]
1	128x96 176x144	33.7 15	0,128	--
2	176x144 352x288	100 30	1.5	--
2.1	352x288 640x360	60 30	3	--
3	640x360 720x576 960x540	67.5 37.5 30	6	--
3.1	720p HD	33	10	-
4	720p HD 1080p HD	68 32	12	30
4.1	720p HD 1080p HD	136 64	20	50
5	720p HD 1080p HD 3840x2160	272 128 32	25	100
5.1	720p HD 1080p HD 3840x2160	300 256 64	40	160
5.2	1080p HD 3840x2160	300 128	60	240
6	3840x2160 7680x4320	256 32	60	240
6.1	3840x2160 7680x4320	300 64	120	480
6.2	7680x4320	128	240	800

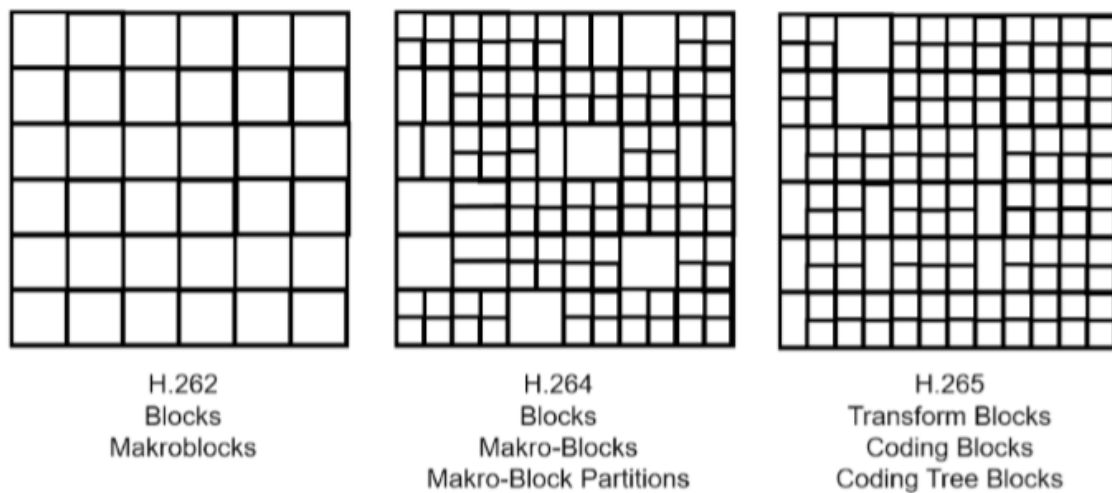
Tabel 7.5 Level HEVC

Transisi dari H.262/MPEG-2 melalui H.264/MPEG-4 ke H.265/HEVC dapat dilihat sebagai subdivisi yang semakin halus dari struktur blok makro – dengan “blok makro” yang disebut “Unit Pohon Pengkodean” di HEVC –, yang bertujuan untuk semakin menyesuaikan "sesuai kebutuhan" dengan konten gambar saat ini yang akan dikodekan. Oleh karena itu, pembuat kode video HEVC dapat menerapkan blok makro di mana ada beberapa detail gambar, dan memilih struktur yang lebih halus di mana lebih banyak detail gambar perlu dikodekan (lihat juga Gambar 7.43. dan 7.49.). Pada H.262, tingkat detail terendah adalah blok atau makroblok; di H.264, macroblock didekomposisi

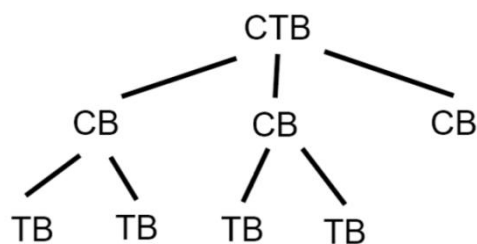
menjadi partisi macroblock sesuai kebutuhan; dan di H.265, Coding Tree Block didekomposisi bersama yang disebut Coding Quadtrees sesuai kebutuhan.



Gambar 7.43. Pembentukan blok pada ketiga lapisan pada H.262 sampai dengan H.265; dalam H.265, istilah “Blok” diganti dengan pengertian “Blok Pohon Pengkodean”, “Blok Transformasi”, dll. dan memiliki subdivisi yang lebih terperinci.



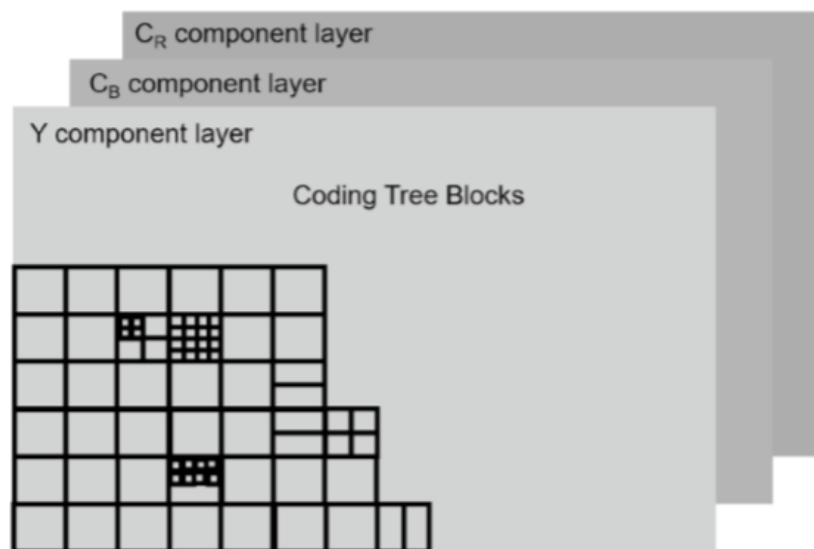
Gambar 7.44. Pembagian blok di H.262, H.264 dan H.265



Gambar 7.45. Subdivisi, menyempurnakan Coding Tree Block (CTB) menjadi Coding Blocks (CB) dan Transform Blocks (TB)

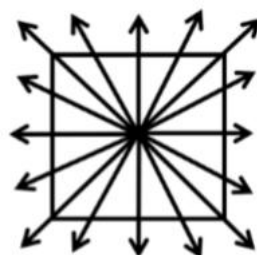
HEVC/H.265 menggunakan hierarki blok berikut:

- CTU (Coding Tree Unit, terdiri dari Coding Tree Block dari komponen Y, CB, CR)
- CU (Unit Pengkodean)
- PU (Prediction Unit, unit 64 x 64, ... 4 x 4 piksel di mana intra- atau antar-prediksi dilakukan)
- TU (Transform Unit, beberapa Blok Transform dengan jenis pengkodean transformasi yang sama)
- CTB (Blok Pohon Pengkodean)
- CB (Blok Pengkodean)
- PB (Blok Prediksi)
- TB (Blok Transformasi, blok N x N yang dikenai pengkodean transformasi)

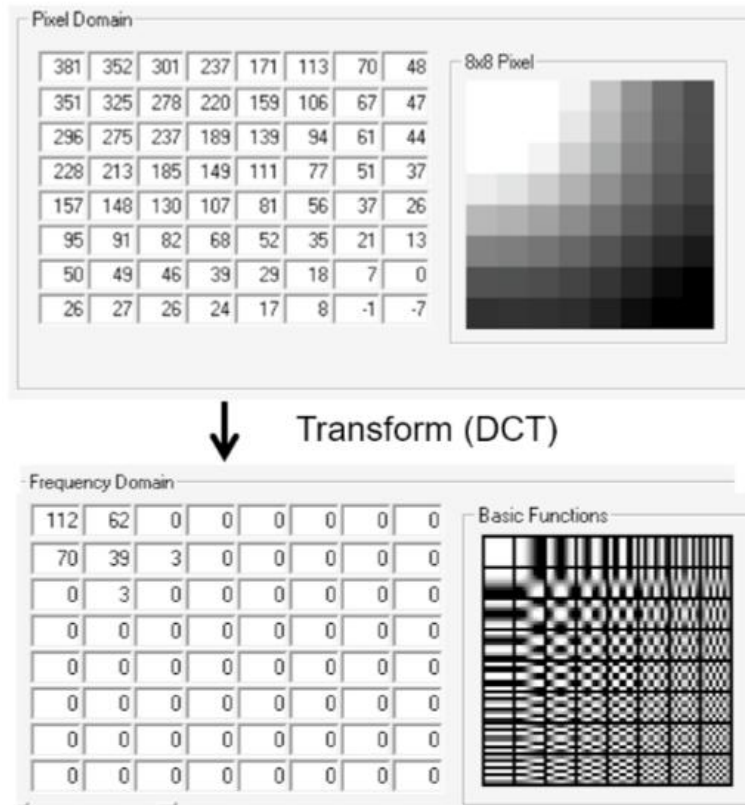


Gambar 7.46. Penyempurnaan Blok Pohon Pengkodean di sepanjang pengkodean struktur quadtree

Pada akhirnya, Blok Transform (blok N x N dengan ukuran tertentu) ditetapkan untuk setiap lapisan komponen (Y, CB, CR), yang kemudian dikenai pengkodean transformasi (Gbr. 7.48.) untuk mengubahnya menjadi domain frekuensi. Konsentrasi energi ke beberapa nilai dan kuantisasi dilakukan dalam domain yang terakhir ini. Pengkodean transformasi (Gbr. 7.48.) menggunakan DCT (Discrete Cosine Transform), dimana ukuran blok maksimal adalah 32 x 32 piksel dan ukuran blok minimal adalah 4 x 4 piksel. Selama intra-coding, DST (Discrete Sine Transform) juga dimungkinkan. Transform diikuti oleh kuantisasi, langkah lossy pertama (reduksi tidak relevan). Entropy coding kemudian dilakukan menggunakan CABAC (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding) untuk mengurangi redundansi.



Gambar 7.47. Intra-coding dengan menggeser blok dalam gambar di H.264 (8 mode) dan H.265 (34 mode)



Gambar 7.48 Transform coding, Gambar atas : Transform blok dalam domain piksel, Gambar bawah : Transform blok dalam domain frekuensi.

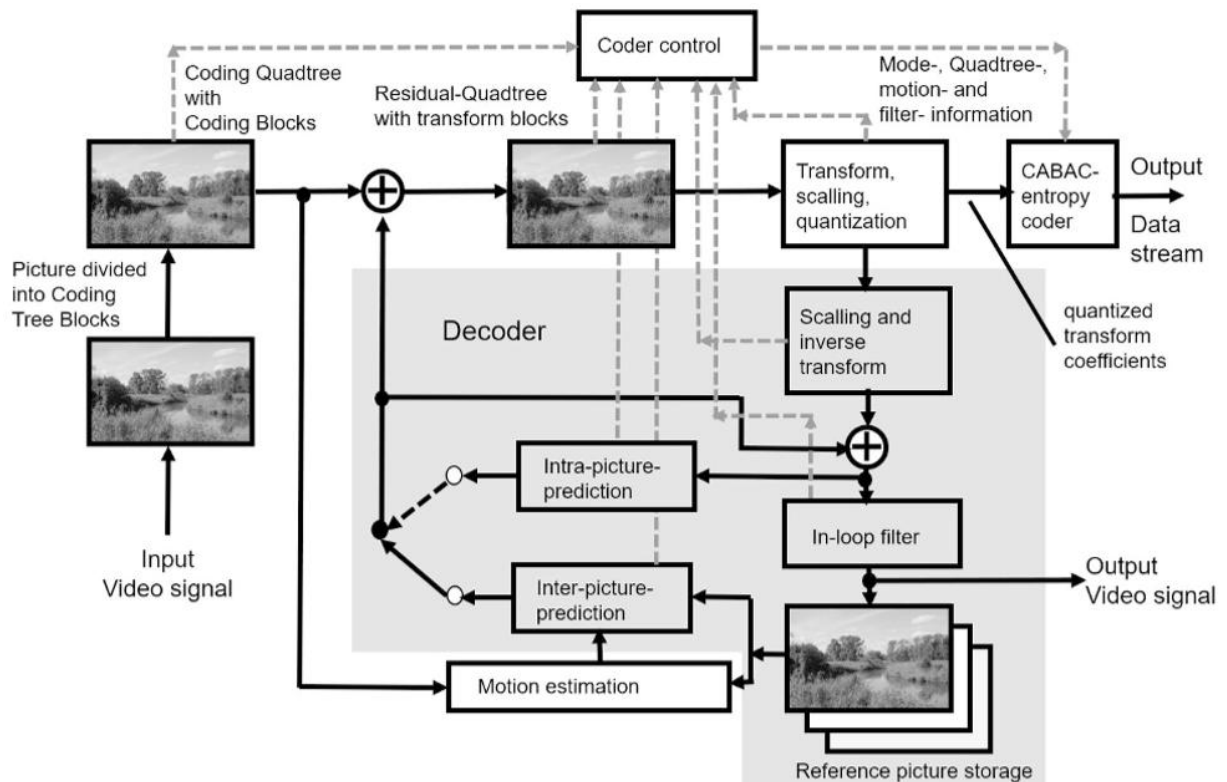
Dalam H.262, pengkodean diferensial hanya ada pada tingkat gambar diferensial, yaitu selama pengkodean antar-bingkai. Sementara sebagian besar tidak disebutkan, pengkodean diferensial antara blok yang berdekatan dilakukan juga untuk koefisien DC dalam video H.262/MPEG-2. Ini berarti bahwa pengkodean intra-frame (pengkodean komponen gambar di dalam gambar) dilakukan di H.262 menggunakan pengkodean transformasi DCT dan pengkodean diferensial dari nilai DC dari blok yang ditransformasi.

Dalam H.264, intra-coding (yaitu pengkodean frame individu) diperluas dalam arti bahwa sebuah blok juga dapat dikodekan dengan menggeser blok dan menggambarkannya dengan vektor shift (Gbr. 7.47.); perbedaannya kemudian diberi kode DC.

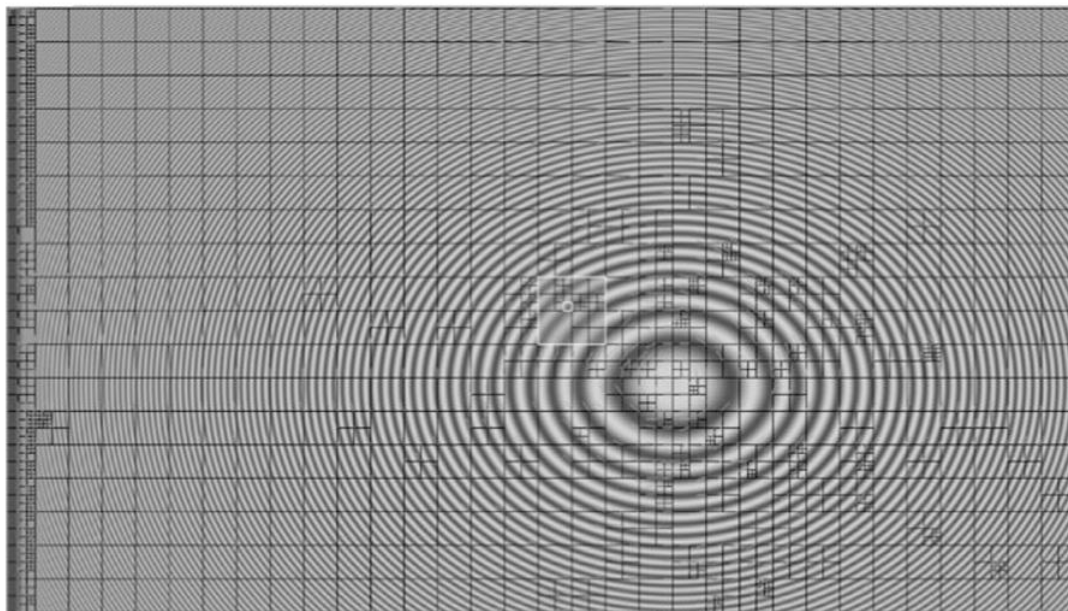
H.265 menyediakan vektor pergeseran blok yang lebih granular secara signifikan (34 sudut arah alih-alih 8 dalam standar pendahulunya H.264) untuk intra-coding (Gbr. 7.47.). Selain itu, DST (Discrete Sine Transform) sekarang juga dapat digunakan untuk mengkode blok yang berdekatan dalam satu gambar jika ini mengarah pada hasil yang lebih efisien. Menggunakan DST di sini masuk akal, karena mungkin lebih baik dalam deskripsi pola dalam satu gambar (latar belakang gambar). Ini tidak bertentangan dengan fenomena Gibbs yang dijelaskan sebelumnya.

Filter pemblokiran berikut memiliki tugas untuk menghaluskan artefak pemblokiran yang akhirnya disebabkan oleh pengkodean transformasi. Filter pemblokiran melakukan pencarian yang ditargetkan untuk tepi yang awalnya tidak ada dalam gambar, dan menghilangkannya sebaik mungkin.

Gambar 7.48. menunjukkan diagram blok encoder video HEVC hybrid. Seperti yang dapat dilihat, encoder HEVC juga menyertakan dekoder HEVC.



Gambar 7.49. Diagram blok encoder HEVC dengan dekoder terintegrasi



Gambar 7.50. Contoh pengkodean struktur pohon di HEVC

7.19 Ringkasan, Pandangan, dan Jalan menuju UHDTV

HEVC adalah peningkatan dan penyempurnaan atas metode pengkodean gambar hibrid (Gbr. 7.48.) dari AVC standar pendahulunya, sehingga memungkinkan untuk mengurangi kecepatan data sekitar 50 persen lagi. Sementara pengkodean intra-frame di H.262 hanya diterapkan pada pengkodean transformasi blok dan pengkodean diferensial dari nilai DC, H.264 memperluas ini ke pengkodean diferensial blok. H.265 membawa

evolusi lebih lanjut. Sementara macroblock dibagi menjadi blok di H.262, macroblock di H.264 terdiri dari partisi macroblock terdiri dari blok, dan H.265 menggantikan istilah "macrobock" dengan "Coding Tree Unit" dan selanjutnya membaginya di atas coding quadtrees.

Tren yang jelas untuk secara signifikan meningkatkan diagonal layar perangkat TV dari standar selama beberapa dekade, sering dikombinasikan dengan dimensi yang sangat tipis dalam hal kedalaman, membuat perangkat sangat mudah untuk diintegrasikan ke dalam ruang tamu. Namun, ini juga berarti persyaratan yang lebih tinggi dalam hal kualitas gambar. UHD TV (Ultra High Definition Television) bertujuan untuk memenuhi harapan tersebut; namun, kecepatan data UHD TV dari materi video yang tidak terkompresi sekarang sekitar 12 Gbit/dtk dan akan terus meningkat seiring kecepatan refresh yang semakin meningkat. Hal ini disertai dengan kebutuhan akan kompresi gambar yang lebih baik, yang saat ini dapat dipenuhi dengan H.265 (HEVC). Pada saat yang sama, HEVC dapat digunakan untuk menurunkan kecepatan data video dari sinyal SDTV terkompresi hingga di bawah 1 Mbit/dtk dan kecepatan data video sinyal HDTV hingga di bawah 4 Mbit/dtk.

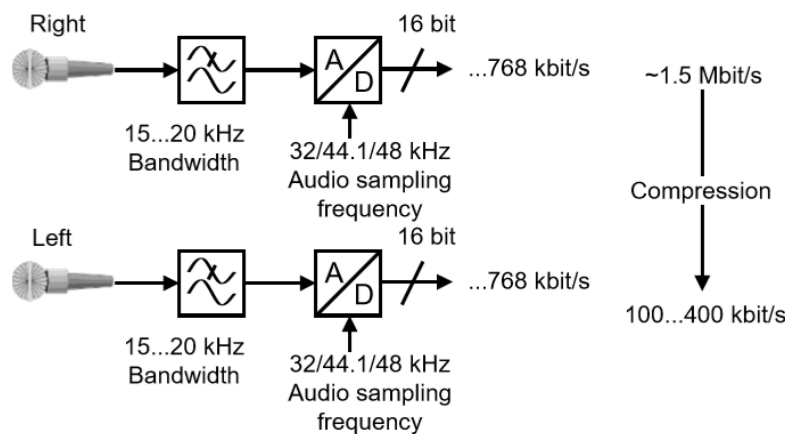
Segara setelah menyelesaikan standar pengkodean HEVC, pengembangan codec video generasi berikutnya dimulai; namanya adalah "VVC" = "Versatile Video Coding" dan nama standarnya adalah "H.266". Penerbitan diharapkan sekitar tahun 2020.

BAB 8

AUDIO CODING

8.1. Sinyal Sumber Audio Digital

Telinga manusia memiliki jangkauan dinamis sekitar 140 dB dan bandwidth pendengaran hingga 20 kHz. Oleh karena itu, sinyal audio berkualitas tinggi harus sesuai dengan karakteristik ini. Sebelum sinyal audio analog diambil sampelnya dan didigitalkan, sinyal tersebut harus dibatasi pita melalui filter low-pass. Kemudian konversi analog-ke-digital dilakukan pada laju sampling 32 kHz, 44,1 kHz atau 48 kHz (dan sekarang juga pada 96 kHz), dan dengan resolusi minimal 16 bit. Sampling rate 44,1 kHz sesuai dengan CD audio, 48/96 kHz adalah kualitas studio. Sementara frekuensi sampling 32 kHz masih disediakan dalam standar MPEG, sebenarnya sudah usang. Sampling rate 48 kHz pada resolusi 16 bit menghasilkan data rate 768 kbit/s per channel, yang berarti kira-kira 1,5 Mbit/s untuk sinyal stereo (Gbr. 8.1.).



Gambar 8.1. Sinyal sumber audio digital

Tujuan kompresi audio adalah untuk mengurangi kecepatan data 1,5 Mbit/s menjadi antara sekitar 100 kbit/s dan 400 kbit/s. File audio MP3, yang sangat banyak digunakan saat ini, seringkali memiliki kecepatan data di bawah 64 kbit/s. Sama halnya dengan kompresi video, ini dicapai dengan cara pengurangan redundansi dan pengurangan ketidakrelevanan. Dalam pengurangan redundansi, informasi yang berlebihan dihilangkan begitu saja; tidak ada kehilangan informasi. Sebaliknya, dalam pengurangan yang tidak relevan, informasi dihilangkan yang tidak dapat dirasakan di ujung penerima, dalam hal ini telinga manusia. Semua metode kompresi audio didasarkan pada model psikoakustik, yaitu mereka menggunakan "ketidaksempurnaan" telinga manusia untuk menghilangkan informasi yang tidak relevan dari sinyal audio. Telinga manusia tidak mampu merasakan peristiwa suara yang dekat dengan denyut suara yang kuat dalam frekuensi atau waktu. Ini berarti bahwa, bagi telinga, kejadian suara tertentu akan menutupi kejadian suara lain yang amplitudonya lebih rendah.

8.2. Sejarah Pengkodean Audio

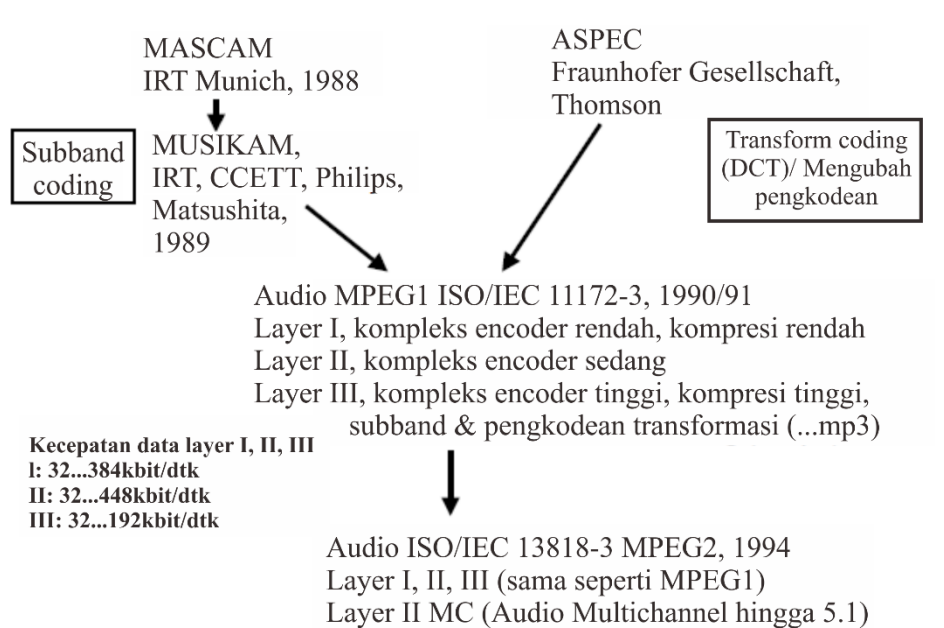
Pada tahun 1988, metode MASCAM dikembangkan di Institut für Rundfunktechnik (IRT) di Munich sebagai persiapan untuk sistem penyiaran audio digital (DAB). Dari MASCAM, metode MUSICAM (masking pattern universal subband integrated coding and multiplexing) dikembangkan pada tahun 1989 bekerja sama dengan CCETT, Philips dan Matsushita.

Sinyal audio berkode MUSICAM digunakan di DAB. MASCAM dan MUSICAM keduanya didasarkan pada pengkodean subband. Sinyal audio dibagi menjadi sejumlah besar subband, yang masing-masing mengalami pengurangan yang tidak relevan ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil.

Pada saat yang sama dengan metode pengkodean subband dikembangkan, Fraunhofer Gesellschaft bersama dengan Thomson merancang metode ASPEC (Adaptive Spectral Perceptual Entropy Coding), yang didasarkan pada pengkodean transformasi. Sinyal audio diubah dari waktu ke domain frekuensi menggunakan DCT (Discrete Cosine Transform), dan kemudian komponen sinyal yang tidak relevan dihilangkan.

Baik subband-coding MUSICAM dan metode ASPEC pengkodean transformasi disertakan dalam metode kompresi audio MPEG-1, yang dibuat pada tahun 1991 (standar ISO/IEC 11172-3). Audio MPEG-1 terdiri dari tiga kemungkinan lapisan: lapisan II pada dasarnya menggunakan pengkodean MUSICAM, dan lapisan III pada prinsipnya menggunakan pengkodean ASPEC. File audio MP3 dikodekan ke MPEG-1 layer III. MP3 sering disalahartikan sebagai MPEG-3. MPEG-3 awalnya ditujukan untuk mengimplementasikan HDTV (televisi definisi tinggi), tetapi HDTV sudah terintegrasi dalam standar MPEG-2, sehingga MPEG-3 dilewati dan ditinggalkan sama sekali. Oleh karena itu standar MPEG-3 tidak ada.

Dalam audio MPEG-2, tiga lapisan audio MPEG-1 diambil alih, dan lapisan II diperluas untuk membentuk lapisan II MC (multichannel). Standar audio ISO/IEC 13818-3 MPEG-2 diadopsi pada tahun 1994.



Gambar 8.2. Pengembangan audio MPEG

Bersamaan dengan audio MPEG, standar audio digital Dolby (juga dikenal sebagai audio AC-3) dikembangkan oleh Dolby Labs di AS. Standar ini ditetapkan pada tahun 1990 dan pertama kali ditampilkan kepada publik dalam film "Star Trek VI" yang ditayangkan pada bulan Desember 1991. Saat ini, banyak film menggunakan teknik digital Dolby. Di AS, siaran TV terestrial digital ke ATSC menggunakan pengkodean audio AC-3 secara eksklusif. Beberapa negara lain juga memperkenalkan audio AC-3 selain audio MPEG. Penggunaan audio AC-3 dan audio MPEG sangat berarti, jika hanya karena fakta bahwa ini tidak menghilangkan pengodean ulang film. Dari segi kualitas, praktis tidak ada perbedaan antara audio MPEG dan Dolby digital. Oleh karena

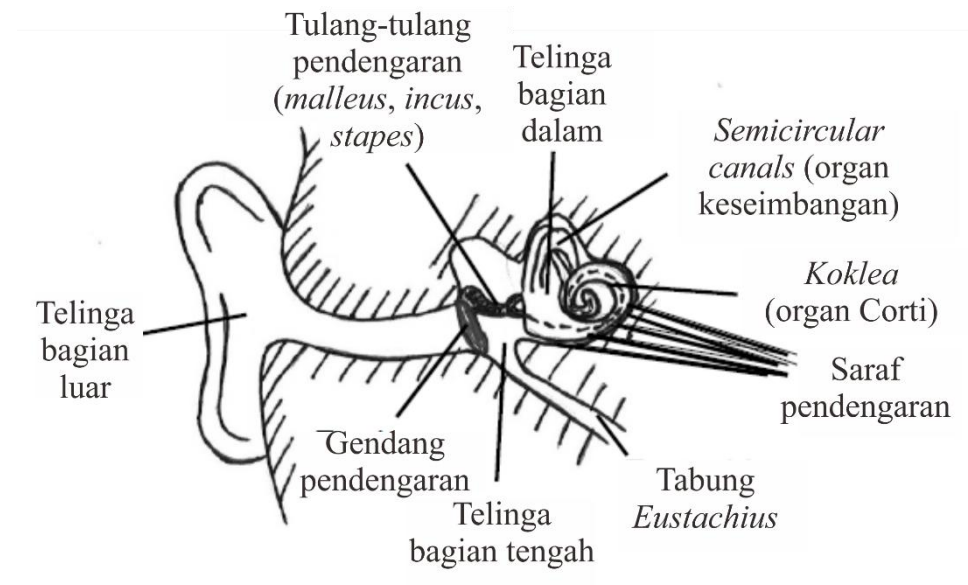
itu, chip dekoder MPEG modern mendukung kedua metode tersebut. Disk video DVD juga dapat menggunakan audio AC-3 digital Dolby selain audio PCM dan audio MPEG. Di bawah ini adalah gambaran singkat tentang perkembangan Dolby digital:

- 1990 Dolby digital AC-3 audio
- 1991 Pertunjukan film pertama dengan kode audio AC-3
- Desember 1991 "Star Trek VI" dikodekan dalam audio AC-3

Hari ini:

- Audio AC-3 digunakan sebagai standar di banyak film, di ATSC dan, selain audio MPEG, dalam Transport stream MPEG-2 di seluruh dunia, dan di DVD.
- Pengkodean transformasi audio Dolby AC-3 berdasarkan Modified Discrete Cosine Transform (MDCT); 5.1 channel audio (kiri, tengah, kanan, surround kiri, surround kanan, subwoofer), 128 kbit/s per channel.

MPEG juga telah menemukan metode pengkodean audio baru:



Gambar 8.3. Anatomi telinga manusia

8.3. Model Psikoakustik Telinga Manusia

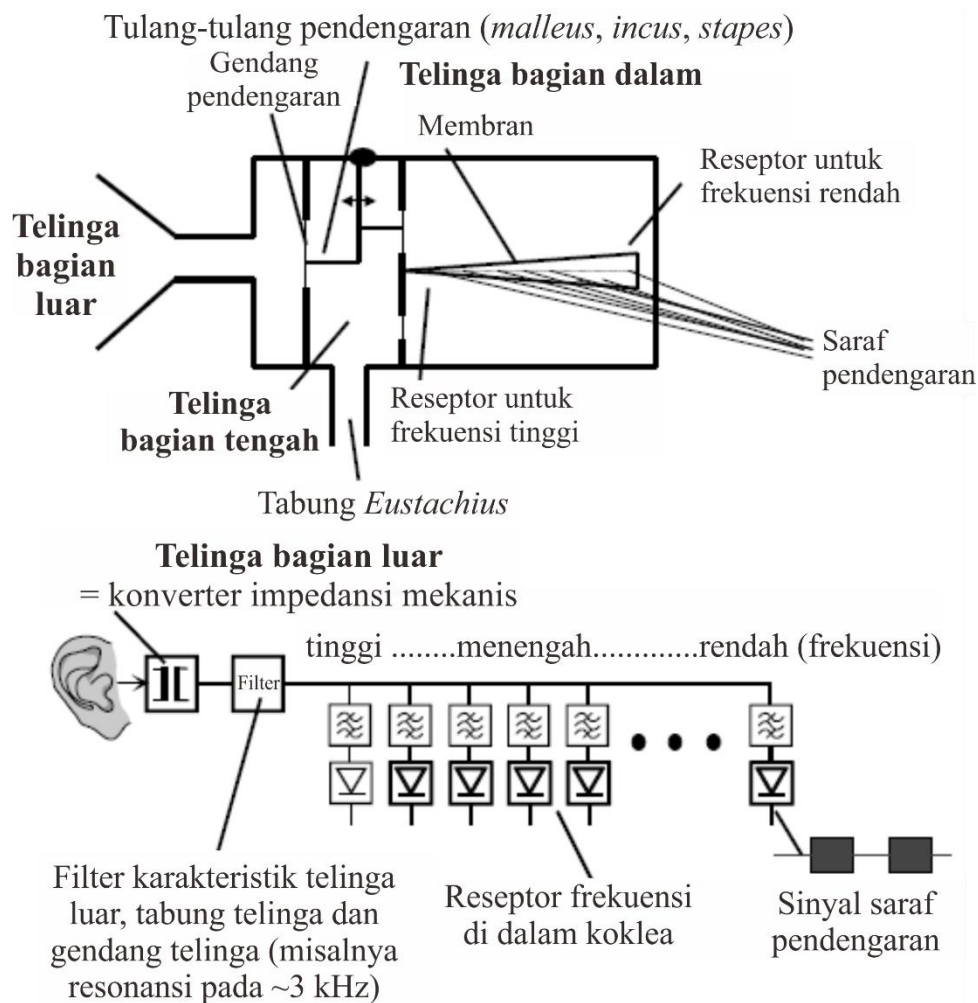
Pada bagian berikut, proses kompresi audio akan dibahas. Pengurangan redundansi (lossless) dan pengurangan ketidakrelevanan (lossy) menurunkan kecepatan data sinyal audio asli sekitar 90%. Pengurangan ketidakrelevanan bergantung pada model psikoakustik telinga manusia, yang pada dasarnya kembali ke Profesor Zwicker, mantan pemegang jabatan profesor untuk elektroakustik di Technical University of Munich. Jenis reduksi ini didasarkan pada apa yang disebut sebagai perceptual coding. Ini berarti bahwa komponen audio yang tidak dirasakan oleh telinga manusia tidak ditransmisikan.

Mari lihat dulu anatomi telinga manusia (Gbr. 8.3., 8.4.). Telinga terdiri dari tiga bagian utama: telinga luar, telinga tengah, dan telinga dalam. Telinga luar melakukan fungsi pencocokan impedansi, transmisi suara melalui udara, dan bertindak sebagai filter dengan sedikit peningkatan resonansi di wilayah 3 kHz. Di wilayah yang sama, yaitu dari 3 kHz hingga 4 kHz, telinga manusia menunjukkan sensitivitas maksimumnya. Gendang telinga atau membran timpani mengubah gelombang suara menjadi getaran mekanis, yang ditransmisikan melalui maleus, inkus, dan stapes ke jendela membran yang mengarah ke telinga bagian dalam sensorik. Tekanan udara

harus sama, di depan dan di belakang gendang telinga. Ini dipastikan dengan tabung yang menghubungkan daerah di belakang gendang telinga dengan faring; tabung itu disebut tabung Eustachius. Semua orang tahu masalah tekanan yang menumpuk di telinga saat mendaki ketinggian yang besar. Dengan menelan, selaput lendir dalam tabung Eustachius memberikan kompensasi tekanan.

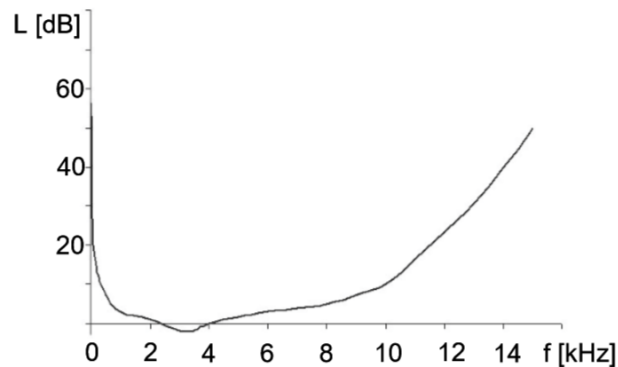
Di telinga bagian dalam menemukan organ keseimbangan, yang terdiri dari beberapa lengkungan berisi cairan, dan koklea. Koklea adalah organ pendengaran yang sebenarnya (organ Corti) dimana suara secara langsung dirasakan. Jika koklea harus dibuka, sensor untuk frekuensi tinggi akan ditemukan di pintu masuknya, kemudian sensor untuk frekuensi menengah, dan di ujung koklea akan menjadi sensor untuk frekuensi rendah.

Koklea terdiri dari channel spiral di mana terletak bagian spiral membran yang lebih kecil yang menjadi lebih lebar dari depan ke belakang. Pada membran bagian dalam terletak sensor pengumpul suara selektif frekuensi dari mana saraf pendengaran meluas ke otak. Saraf pendengaran mengangkut sinyal listrik dengan amplitudo kira-kira 100 mVpp. Tingkat pengulangan denyut listrik berada di urutan 1 kHz. Informasi yang terkandung dalam tingkat ini adalah volume nada pada frekuensi tertentu. Semakin keras nadanya, semakin tinggi tingkat pengulangannya. Setiap sensor frekuensi berkomunikasi dengan otak melalui jalur saraf terpisah. Selektivitas frekuensi sensor tertinggi pada frekuensi rendah dan menurun menuju frekuensi yang lebih tinggi.



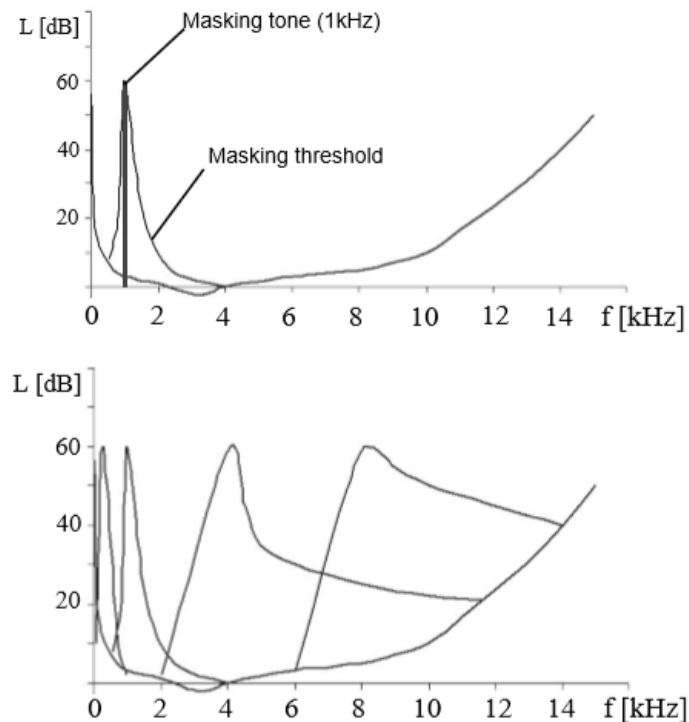
Gambar 8.4. Model teknis telinga manusia

Pada bagian berikut, kami ingin menyelidiki karakteristik telinga manusia yang menarik untuk pengkodean audio. Pertama-tama, sensitivitas telinga sangat bergantung pada frekuensi. Sinyal suara di bawah 20 Hz dan di atas 20 kHz praktis tidak terdengar. Sensitivitas maksimum telinga berada pada kisaran sekitar 3 kHz hingga 4 kHz; di luar rentang ini sensitivitas menurun terhadap frekuensi yang lebih tinggi atau lebih rendah. Suara dengan tingkat di bawah ambang batas tertentu (disebut sebagai ambang batas pendengaran) tidak dirasakan oleh telinga manusia. Ambang pendengaran bergantung pada frekuensi. Setiap komponen sinyal audio yang levelnya di bawah ambang batas audibilitas tidak perlu ditransmisikan; mereka tidak relevan untuk telinga manusia. Gambar 8.5. menggambarkan hubungan umum ambang pendengaran versus frekuensi.



Gambar 8.5. Ambang pendengaran

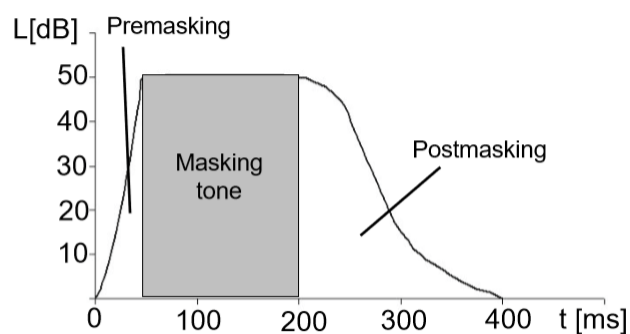
Karakteristik telinga manusia berikutnya yang penting untuk pengkodean audio adalah karakteristik yang dikenal sebagai masking. Misalnya, pembawa sinusoidal pada 1 kHz dengan amplitudo konstan diterapkan ke telinga orang yang diuji, dan wilayah sekitar 1 kHz diselidiki dengan menerapkan pembawa sinusoidal lain, frekuensi dan amplitudonya bervariasi. Akan ditemukan bahwa sinyal uji lainnya tidak terdengar di bawah ambang batas level yang bergantung pada frekuensi tertentu sekitar 1 kHz. Ini dikenal sebagai ambang masking (Gbr. 8.6.). Bentuk ambang masking tergantung pada frekuensi sinyal masking. Semakin tinggi frekuensi sinyal masking, semakin lebar jangkauan masking.



Gambar 8.6. Masking di domain frekuensi

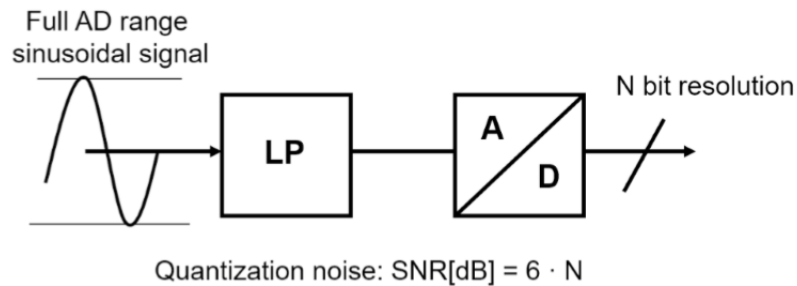
Karakteristik telinga ini dikenal sebagai masking dalam domain frekuensi (Gbr. 8.6.). Faktor yang relevan untuk pengkodean audio adalah fakta bahwa komponen audio di bawah ambang batas penyembunyian yang ditentukan tidak perlu ditransmisikan.

Namun, masking tidak hanya terjadi pada domain frekuensi tetapi juga pada domain waktu (Gbr. 8.7.). Denyut yang kuat dalam domain waktu menutupi sinyal suara sebelum dan sesudah denyut, asalkan level sinyal ini di bawah ambang batas tertentu. Efek ini, dan khususnya premasking, sulit dibayangkan tetapi dapat dijelaskan dengan sangat baik. Hal ini disebabkan oleh resolusi waktu yang terbatas dari telinga manusia dalam hubungannya dengan cara sinyal diangkut ke otak melalui saraf pendengaran.

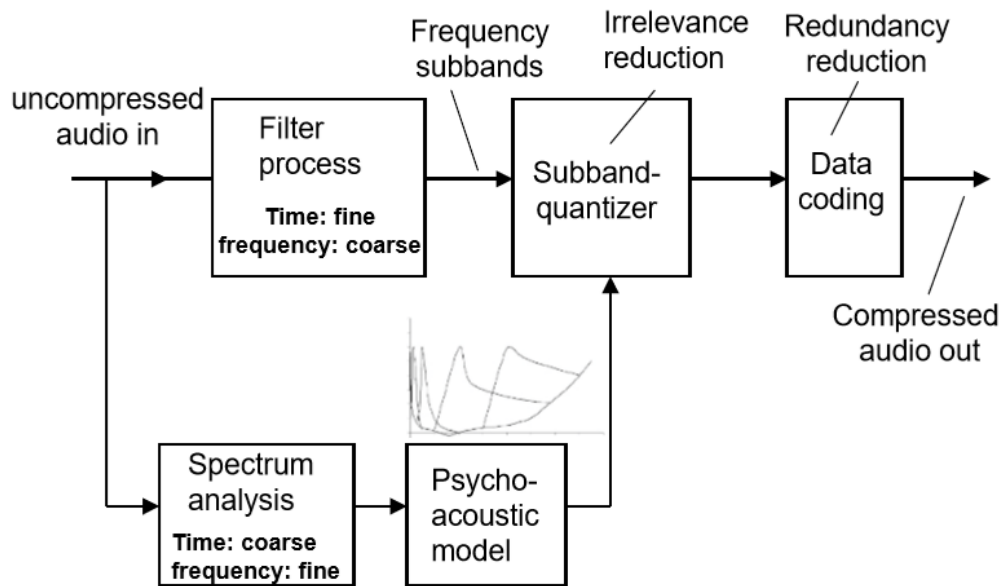


Gambar 8.7. Masking dalam domain waktu

Metode kompresi audio yang dikenal sejauh ini menggunakan masking hanya dalam domain frekuensi, teknik yang digunakan sangat mirip dalam semua kasus.



Gambar 8.8. Kuantisasi noise



Gambar 8.9. Prinsip pengkodean audio berdasarkan pengkodean persepsi

8.4. Prinsip Dasar Pengkodean Audio

Sebelum membahas prinsip pengurangan tidak relevan untuk sinyal audio, noise kuantisasi akan diperiksa secara singkat. Jika konverter analog-ke-digital didorong ke modulasi penuh dengan sinyal sinusoidal, rasio sinyal terhadap noise (SNR) sekitar $6 \cdot N$ dB (aturan praktis) diperoleh untuk resolusi N bit karena noise kuantisasi (Gbr. 8.8.). Ini berarti bahwa kira-kira 48 dB diperoleh untuk resolusi 8 bit dan 96 dB untuk resolusi 16 bit. Sinyal audio biasanya disampel dengan 16 bit atau lebih. Namun resolusi 16 bit masih belum sesuai dengan rentang dinamis telinga manusia, yaitu sekitar 140 dB.

Sekarang mari bahas prinsip dasar pengkodean audio (Gbr. 8.9.). Sinyal sumber audio digital dibagi menjadi dua cabang di pembuat kode, disaring dan dibawa ke penganalisis frekuensi. Penganalisis frekuensi melakukan analisis spektrum melalui transformasi Fast Fourier (FFT) dan menentukan komponen sinyal audio dengan resolusi waktu rendah dan resolusi frekuensi tinggi.

Berdasarkan pengetahuan tentang model psikoakustik (efek penyamaran), komponen frekuensi yang tidak relevan dari sinyal saat ini dapat diidentifikasi.

Bersamaan dengan analisis spektrum, sinyal audio mengalami penyaringan yang membaginya menjadi banyak subband. Mungkin terjadi bahwa subband lengkap ditutupi oleh sinyal dari subband lain, yaitu tingkat sinyal di subband ini di bawah ambang batas masking. Jika hal ini terjadi, subband yang bersangkutan tidak perlu ditransmisikan; informasi yang dibawa dalam pita ini sama sekali tidak relevan dengan

telinga manusia. Proses penyaringan dimana sinyal audio disebarkan ke subband harus menggunakan resolusi waktu yang sangat tinggi sehingga tidak ada informasi dalam domain waktu yang akan hilang. Berbeda dengan domain frekuensi, resolusi kasar akan dilakukan. Sejauh menyangkut pengurangan ketidakrelevanan, ada kemungkinan lain. Terkadang, sinyal di subband berada di atas ambang batas, tetapi hanya dengan sedikit margin. Dalam kasus seperti itu, kuantisasi di subband yang bersangkutan dikurangi sejauh noise kuantisasi di band ini di bawah ambang batas masking dan karena itu tidak terdengar.

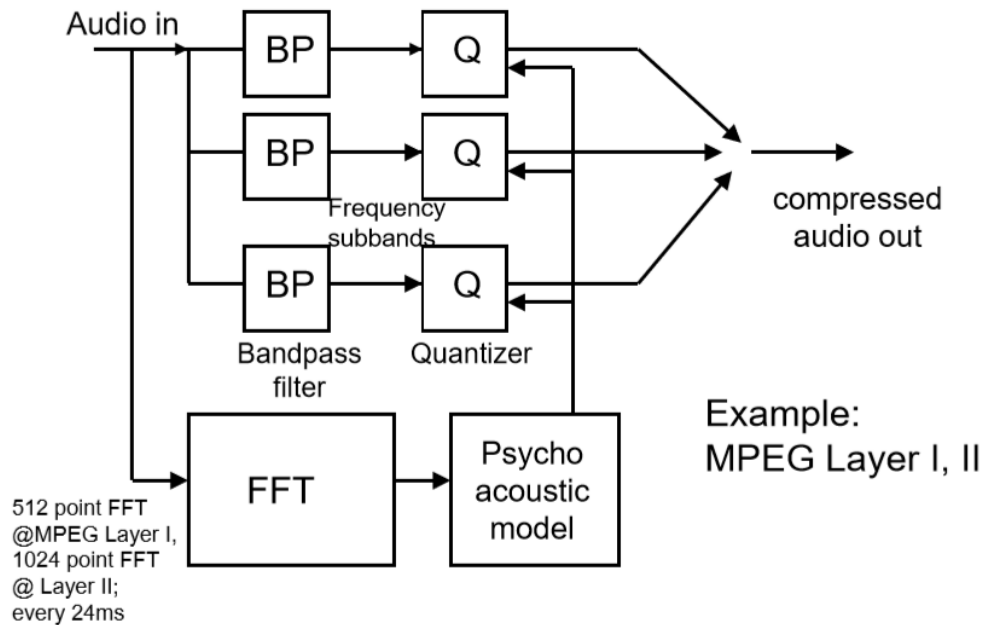
Demikian juga, sinyal di bawah ambang batas audibilitas tidak perlu ditransmisikan. Di sini juga, kuantisasi yang lebih kasar atau lebih halus dapat dipilih tergantung pada ambang batas audibilitas yang berbeda dari subband sehingga derau kuantisasi yang dihasilkan selalu tetap di bawah ambang batas. Resolusi bit yang lebih rendah dimungkinkan terutama pada frekuensi yang lebih tinggi.

Keputusan apakah subband akan ditekan sepenuhnya, atau jika kuantisasi lebih kasar atau lebih halus akan diterapkan dibuat dalam blok "model psikoakustik", yang diumpankan dengan informasi dari blok analisis spektrum. Kuantisasi ditekan atau dikendalikan dengan menggunakan subband quantizer. Ini mungkin diikuti oleh pengurangan redundansi, yang dipengaruhi oleh pengkodean data khusus. Setelah proses ini selesai, sinyal audio terkompresi tersedia.

Pengkodean perseptual dapat diimplementasikan dengan berbagai cara. Ada pengkodean subband murni dan pengkodean transformasi, dan ada bentuk campuran yang disebut sebagai pengkodean hibrida.

8.5. Pengkodean Subband (*Subband Coding*) Sesuai dengan MPEG Layer I, II

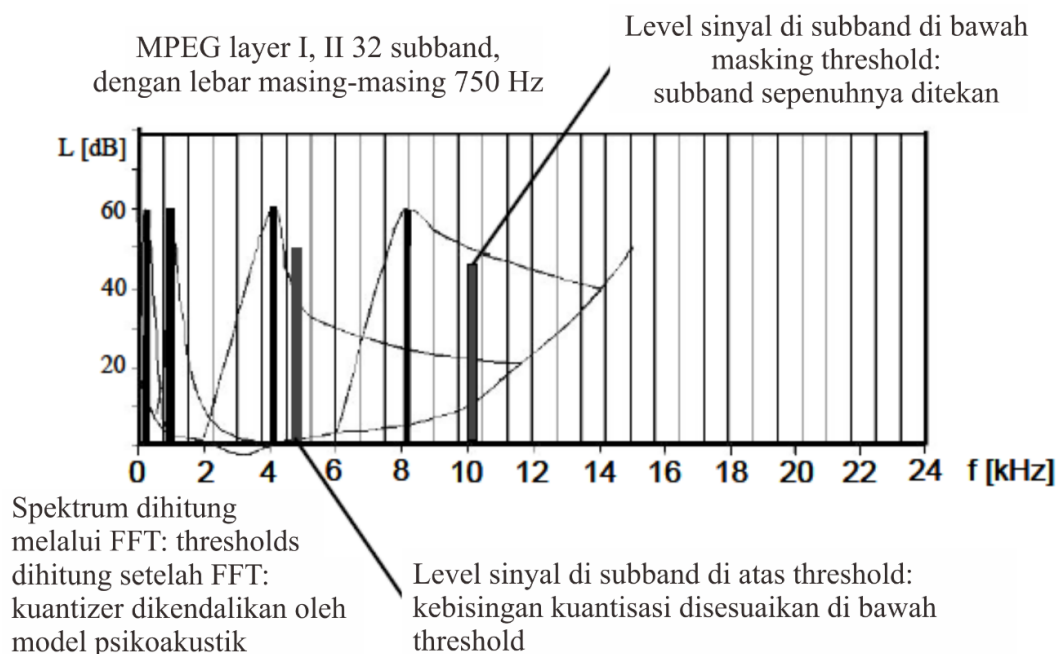
Pertama metode pengkodean subband akan dibahas. Sesuai dengan MPEG lapisan I dan II (Gbr. 8.10.), sinyal audio dilewatkan melalui bank filter dari 32 filter yang membagi sinyal menjadi subband frekuensi 750 Hz. Untuk setiap subband ada kuantizer terpisah yang dikendalikan oleh blok FFT dan model psikoakustik. Quantizer baik sepenuhnya menekan subband yang bersangkutan atau mengurangi jumlah langkah kuantisasi. Dalam kasus pengkodean lapisan II, FFT dilakukan setiap 24 milidetik pada 1024 sampel. Ini berarti bahwa informasi yang diumpankan ke model psikoakustik berubah setiap 24 milidetik. Selama interval 24 ms, subband mengalami reduksi yang tidak relevan sesuai dengan informasi yang diterima dari blok model psikoakustik. Dengan kata lain, sinyal diperlakukan seolah-olah komposisinya tidak diubah selama 24 ms.



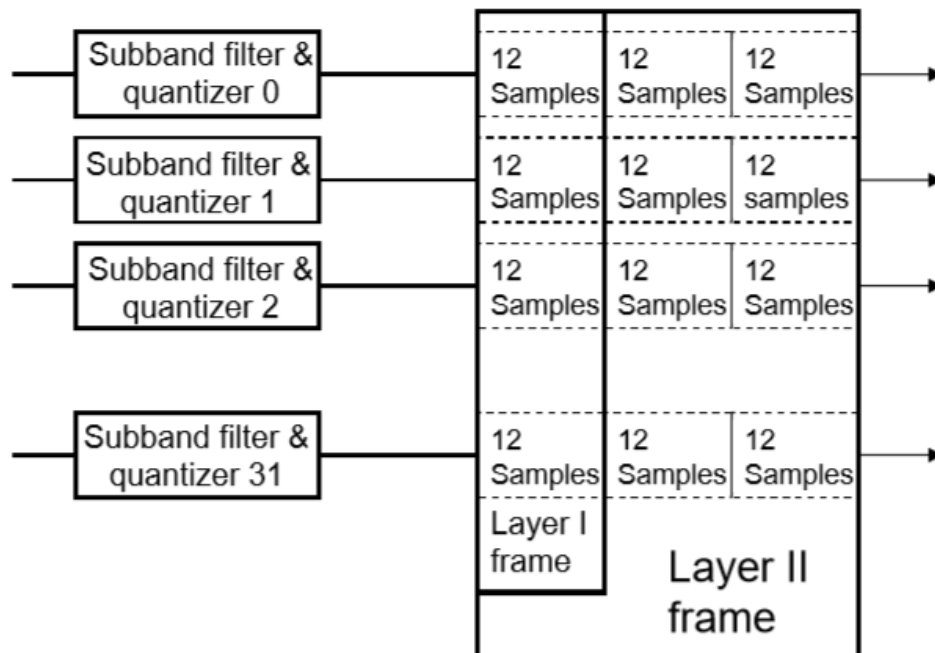
Gambar 8.10. Pengkodean subband menggunakan 32 filter bandpass pada MPEG-1 dan MPEG-2 layer I, II

Karena ambang batas pendengaran yang berbeda, alokasi bit dan dengan demikian kuantisasi berbeda untuk subband yang berbeda. Kuantisasi harus terbaik pada frekuensi rendah; itu dapat dikurangi menuju frekuensi yang lebih tinggi.

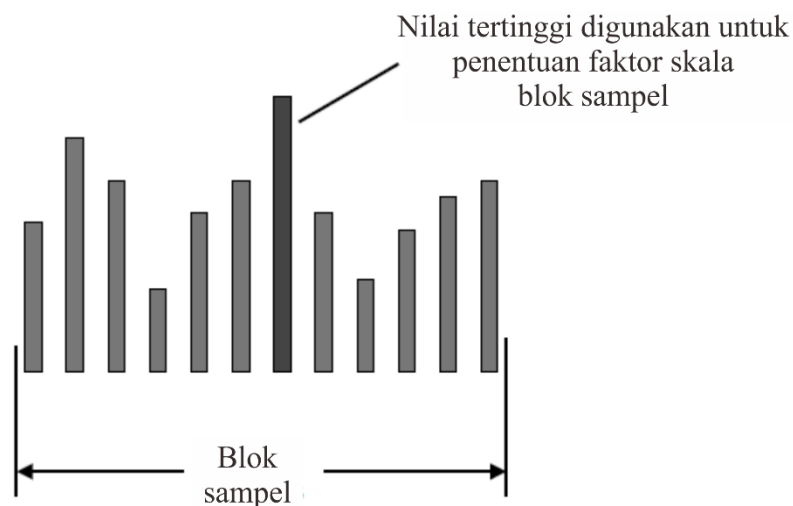
Gambar 8.11. mengilustrasikan prinsip pengurangan ketidakrelevanan dalam transmisi audio melalui dua contoh. Dalam satu subband, ada sinyal sekitar 5 kHz dengan tingkat di atas ambang batas masking. Dalam kasus subband ini, hanya jumlah langkah kuantisasi yang dapat dikurangi. Di subband lain, kami menemukan sinyal sekitar 10 kHz dengan level di bawah ambang batas masking. Ini berarti bahwa subband ini sepenuhnya ditutupi oleh sinyal dari subband tetangga dan oleh karena itu dapat ditekan sepenuhnya.



Gambar 8.11. Pengurangan ketidakrelevanan menggunakan efek masking



Gambar 8.12. Struktur data MPEG-2 lapisan I, II



Gambar 8.13. Pengurangan redundansi ke MPEG-2 layer I, II

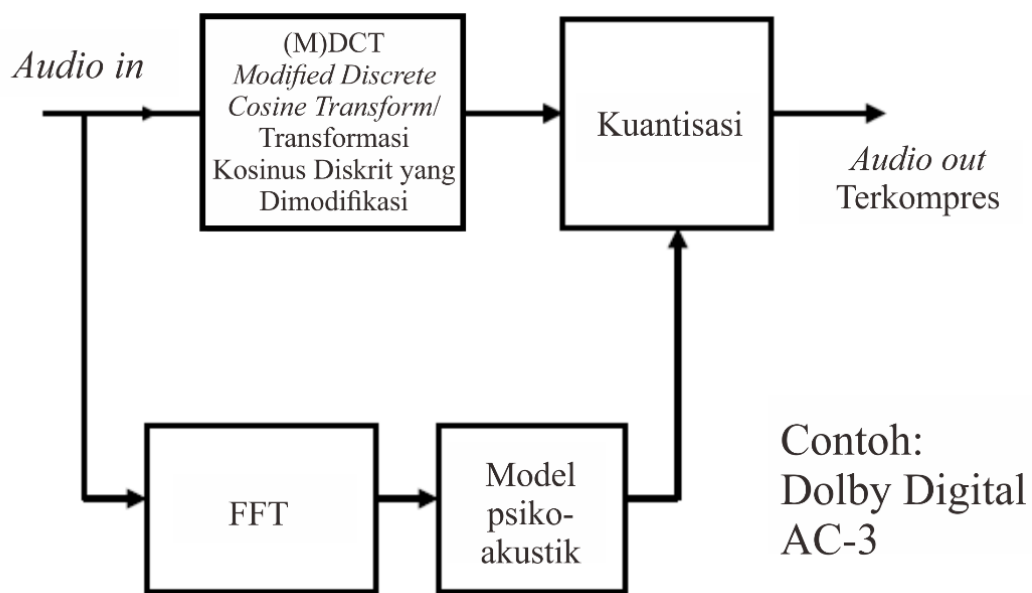
Dalam reduksi irrelevance, subband juga dievaluasi apakah mengandung harmonik sinyal milik subband yang lebih rendah, yaitu apakah sinyal bertopeng adalah komponen tonal (harmonik) atau non-tonal. Hanya sinyal bertopeng non-tonal yang dapat sepenuhnya ditekan.

Dalam pengkodean MPEG, sejumlah sampel selalu digabungkan ke dalam bingkai. Sebuah bingkai lapisan I dibentuk dengan 12 sampel untuk setiap subband. Sebuah bingkai lapisan II dibentuk dengan 3 x 12 sampel untuk setiap subband (Gbr. 8.12.).

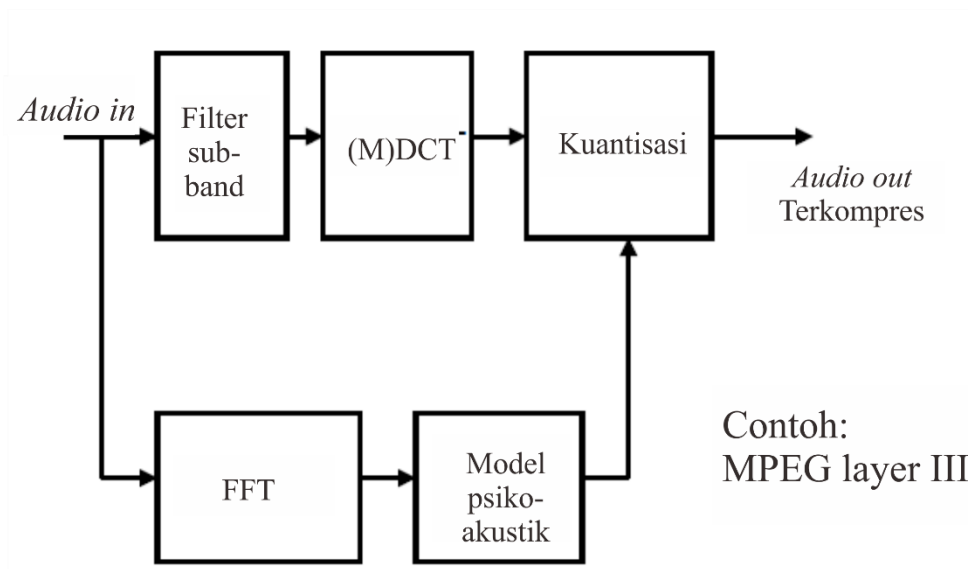
Untuk setiap blok 12 sampel, sampel tertinggi ditentukan. Sampel ini digunakan sebagai faktor penskalaan yang diterapkan ke semua 12 sampel blok untuk memberikan pengurangan redundansi (Gbr. 8.13.).

8.6. Transformasi Coding untuk MPEG Layer III dan Dolby Digital

Pengkodean transformasi, berbeda dengan pengkodean subband, tidak menggunakan bank filter untuk penyaringan subband; pemisahan informasi audio dalam domain frekuensi dipengaruhi oleh variasi Transformasi Fourier Diskrit. Menggunakan *Discrete Cosine Transform* (DCT) atau *Modified Discrete Cosine Transform* (MDCT), sinyal audio diproses untuk memberikan 256 atau 512 nilai daya spektral. Pada saat yang sama, dengan cara yang sama seperti pengkodean subband, *Fast Fourier Transform* (FFT) dilakukan dengan resolusi yang relatif tinggi dalam domain frekuensi. Dikendalikan oleh model psikoakustik yang dibuat dari data output FFT, nilai daya sinyal audio yang diperoleh melalui MDCT dikenai kuantisasi yang lebih kasar atau lebih halus atau ditekan sepenuhnya. Keuntungan dari metode ini dibandingkan pengkodean subband adalah bahwa ia menawarkan resolusi frekuensi yang lebih tinggi untuk proses pengurangan yang tidak relevan. Jenis pengkodean ini digunakan, misalnya, dalam Dolby Digital AC-3 Audio (Gbr. 8.14.) (AC-3 singkatan dari pengkodean audio 3).

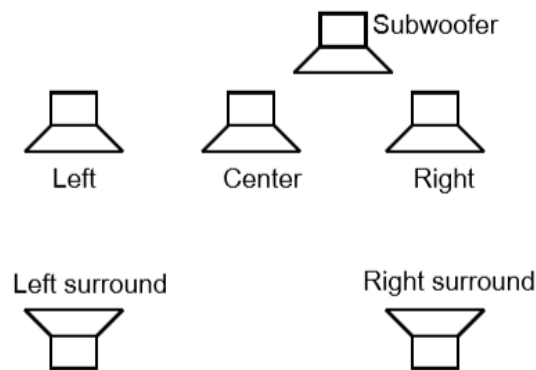


Gambar 8.14 Transform Coding



Gambar 8.15. Subband hybrid dan transformasi pengkodean

Ada juga pengkodean subband campuran dan pengkodean transformasi, yang dikenal sebagai pengkodean hibrid. Misalnya, dalam pengkodean MPEG layer III, penyaringan subband dilakukan sebelum (M)DCT (Gbr. 8.15.). Ini berarti bahwa pertama-tama terjadi pemisahan kasar menjadi subband, kemudian (M)DCT diterapkan ke setiap subband untuk mendapatkan resolusi yang lebih halus. Setelah (M)DCT, data mengalami reduksi ketidakrelevanan yang dikendalikan oleh model psikoakustik, yang pada gilirannya diberi informasi dari Fast Fourier Transform. Data audio yang dikodekan ke MPEG layer III biasanya disebut sebagai file audio MP3 dan digunakan di seluruh dunia saat ini.



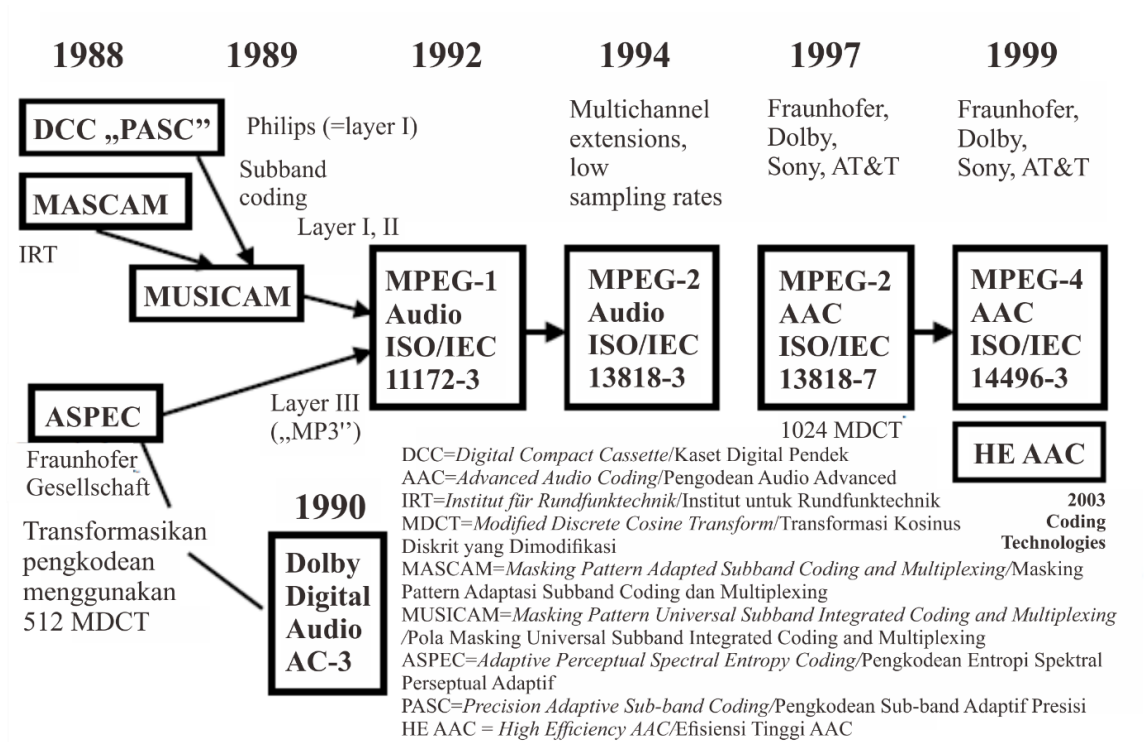
Gambar 8.16. Audio multichannel

8.7. Suara Multichannel

Dalam pengkodean audio multichannel, ketidakrelevanan antara channel dapat ditentukan dan dihilangkan dalam transmisi. Ini berarti bahwa channel diselidiki untuk komponen berkorelasi yang tidak berkontribusi pada kesan pendengaran spasial. Prosedur ini digunakan, misalnya, dalam MPEG layer II MC dan Dolby digital 5.1 surround. Dalam audio 5.1, channel berikut ditransmisikan: kiri, tengah, kanan, surround kiri, surround kanan, dan channel peningkatan frekuensi rendah (LFE) untuk subwoofer.

Gambar 8.16. menunjukkan konfigurasi loudspeaker untuk audio multichannel 5.1.

Struktur yang lebih rinci dari metode pengkodean audio ini tidak relevan dalam hal aplikasi praktis dan tidak akan dibahas lebih lanjut di sini. Untuk informasi lebih lanjut, lihat literatur yang relevan dan standar.



Gambar 8.17. Sejarah perkembangan pengkodean audio

MPEG-1 Part 3	MPEG-2 Part 3	MPEG-4 Part 3
Layer I (Philips, DCC, PASC)	Layer I	(includes MPEG-2 AAC)
Layer II (DAB, MUSICAM)	Layer II	AAC LC
Layer III (ASPEC, Fraunhofer, MP3)	Layer III (all layers: low sampling rates and multichannel 3/2 +LFE)	AAC LTP
		AAC scalable
		Twin VQ
		CELP
		HVXC
		TTSI
		BSAC
		HE AAC = AAC+
	MPEG-2 Part 7 AAC	

Gambar 8.18. Struktur codec audio dalam MPEG

8.8. Perkembangan Baru - MPEG-4

Waktu juga tidak berhenti di bidang kompresi audio. MPEG-4 Advanced Audio Coding - MPEG-4 AAC - adalah standar yang berisi sejumlah codec audio yang baru dikembangkan. Gambar 8.17. menunjukkan sekali lagi sejarah perkembangan lengkap kompresi audio termasuk MPEG-4 AAC. MPEG-4 AAC = ISO/IEC 14493-3, yaitu MPEG-4 Bagian 3 mencakup codec MPEG-2 AAC sebelumnya dan berbagai codec audio MPEG-4 baru hingga MPEG-4 HE (High Efficiency) AAC, yaitu setara dengan AAC+ yang dikembangkan oleh Coding Technologies di Nuremberg. AAC+ memungkinkan kualitas audio tipe penyiaran pada kecepatan data 64 kbit/dtk, yaitu 1/3 kecepatan data dibandingkan dengan MPEG-1 Layer II.

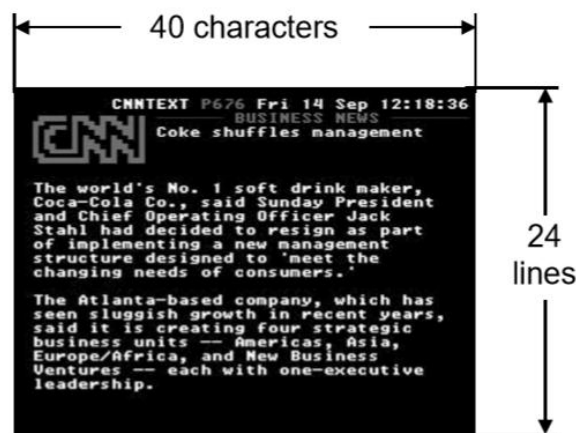
Kata ajaib dari metode pengkodean audio terbaru adalah "Spectral Band Replication" (SBR), yaitu transmisi efektif dan pemulihan komponen audio frekuensi tinggi. Metode kompresi audio ini digunakan oleh semua standar TV seluler. DAB+ dan DRM juga

menggunakan algoritma MPEG-4 AAC terbaru. Gambar 8.18. sekali lagi menunjukkan struktur audio dari semua standar MPEG. Metode pengkodean audio selalu dijelaskan di Bagian 3 dari masing-masing standar MPEG. DVB menggunakan Audio MPEG-1 Layer II saat ini dengan kecepatan data 192 kbit/s dalam banyak kasus. Ekstensi MPEG-2 tidak memberikan keuntungan apa pun di DVB. Kemampuan multichannel diimplementasikan melalui Dolby Digital Audio yang ditransmisikan secara paralel. Dan DVB tidak memerlukan tingkat pengambilan sampel yang lebih rendah yang disediakan oleh MPEG-2 Layer II Audio. Pemutar audio sebagian besar mendukung Audio MPEG-1 Layer III, MPEG-2 Layer III Audio atau MPEG-4 AAC. Perangkat ini, yang disebut pemutar MP3 dalam banyak kasus, diketahui semua orang sekarang dan juga menggantikan hampir semua perangkat perekaman dan pemutaran ulang audio lainnya.

BAB 9

TELETEXT, SUBTITLE DAN VPS UNTUK DVB

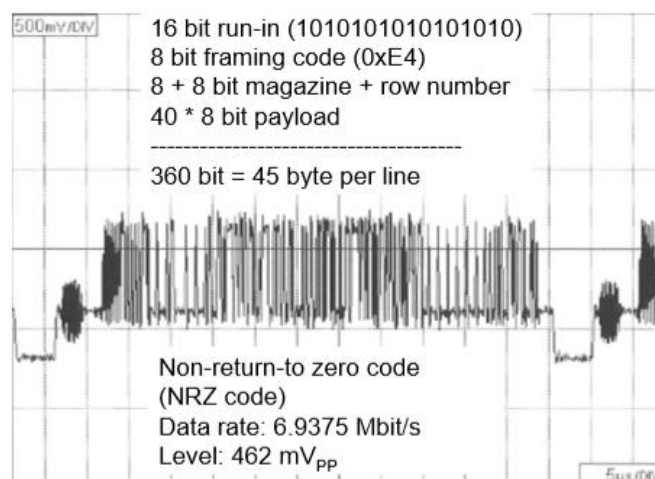
Di televisi analog, teleteks, subtitle dan VPS (Sistem Program Video untuk kontrol VCR) telah banyak digunakan sebagai layanan tambahan selama bertahun-tahun. Selain mampu membuat layanan yang benar-benar baru dan sebanding di DVB, standar juga ditetapkan untuk memungkinkan layanan yang sudah dikenal ini untuk digabungkan secara kompatibel dalam datastream MPEG-2 yang sesuai dengan DVB. Pendekatannya adalah agar penerima DVB memasukkan layanan ini kembali ke interval pengosongan vertikal pada output video komposit CVBS. Ini tidak mempengaruhi layanan data DVB paralel seperti EPG (Panduan Program Elektronik) atau MHP (Platform Rumah Multimedia).



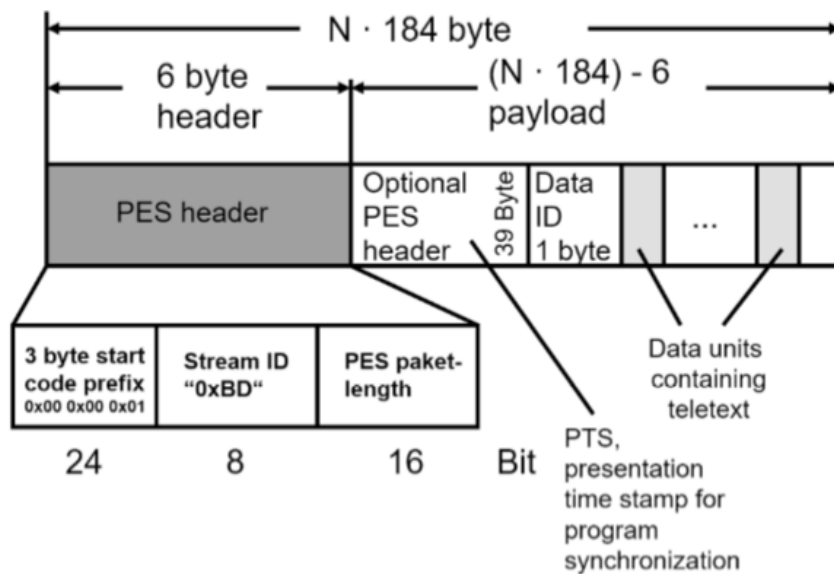
Gambar 9.1. halaman teleteks

9.1. Teleteks dan Subtitle

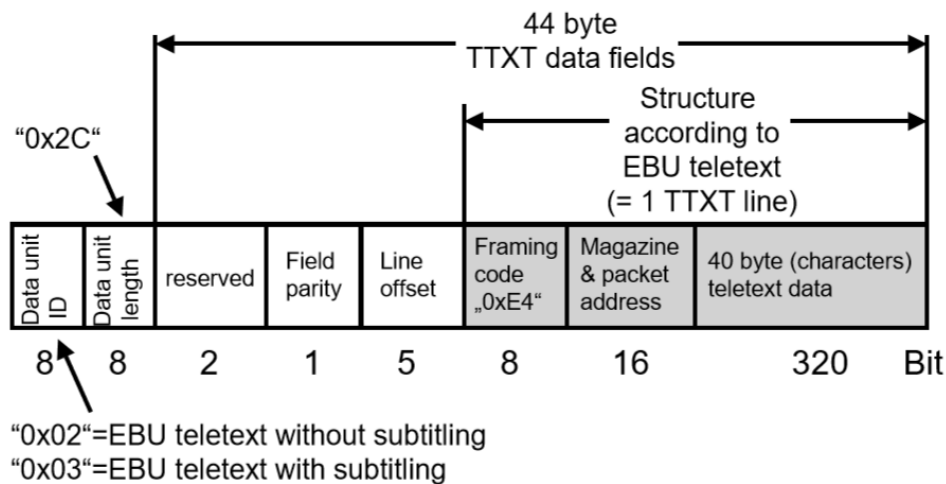
Di TV analog, teleteks (Gbr. 9.1.) dimasukkan dengan penyaringan roll-off sebagai sinyal tambahan berkode NRZ (non-return-to-zero) ke dalam interval pengosongan vertikal. Di DVB, sebaliknya, aliran dasar teleteks secara sederhana dimultipleks langsung ke Transport stream MPEG-2. Data teleteks diproses untuk memberikan majalah dan garis, yaitu struktur yang sama seperti dalam teleteks Inggris, dan digabungkan untuk membentuk aliran dasar yang dikemas. Sebuah halaman teleteks menurut standar Inggris atau EBU terdiri dari 24 baris masing-masing 40 karakter. Data setiap baris ditransmisikan dalam garis teleteks dalam interval pengosongan vertikal.



Gambar 9.2. Teleteks TV analog dalam interval pengosongan vertikal



Gambar 9.3. Paket PES dengan teleteks



Gambar 9.4. Blok data teleteks dalam paket PES

Channel teleteks TV analog ditunjukkan pada Gambar 9.2. dimulai dengan run-in 16-bitlong (urutan 1010) diikuti oleh kode pembangkitan sepanjang 1-byte dengan nilai 0xE4. Ini menandai awal dari teleteks aktif. Ini diikuti oleh majalah dan nomor baris masing-masing 1 byte. Setelah itu, 40 karakter payload yang terdiri dari 7 bit payload dan 1 bit parity ditransmisikan. Jumlah total data per baris adalah 360 bit (= 45 byte) dan kecepatan data fisik adalah 6,9375 Mbit/s; tetapi kecepatan data teleteks rata-rata hanya sekitar 260 kbit/s. Dalam teleteks DVB (ETS 300472), data teleteks dimasukkan ke dalam paket PES setelah kode pembangkitan (Gbr. 9.3.). Header PES 6 byte dimulai dengan kode awal 3 byte (0x00 0x00 0x01) yang diikuti oleh ID streaming 0xBD yang sesuai dengan "Private_Stream_1". Berikutnya adalah indikator panjang 16-bit (= 2-byte) yang dalam hal teleteks selalu disetel sehingga total panjang PES sesuai dengan kelipatan integral 184 byte.

Kemudian muncul header PES opsional 39 byte sehingga panjang header PES keseluruhan untuk teleteks adalah 45 byte. Informasi teleteks yang sebenarnya dibagi menjadi blok-blok 44 byte. 43 byte terakhir identik dengan struktur garis teleteks dari EBU TTX setelah run-in-code. Byte ini termasuk majalah dan informasi baris serta 40 byte sebenarnya dari karakter teleteks per baris. Halaman teleteks terdiri dari 24 baris 40 karakter dan pengkodeannya identik dengan EBU atau teleteks Inggris.

Teleteks, diproses untuk membentuk paket PES panjang, dibagi menjadi paket Transport stream pendek yang terdiri dari muatan 184 byte dan header Transport stream 4 byte, dan digandakan ke Transport stream untuk transmisi yang sama seperti data video dan audio.

STD Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x11	
Descriptor length	8 bit	1	
reserved	7 bit	0x7F	
Leak valid flag	1 bit	1	
Stream type			
reserved	8 bit	0x06	
Elementary PID	3 bit	7	
reserved	13 bit	0x0082	
ES info length	4 bit	15	
ES info length	12 bit	51	
Teletext Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x56	
Descriptor length	8 bit	5	
Teletext Loop			
ISO 639 language code	3 char	deu	
Teletext type	5 bit	0x01	
Teletext magazine number	3 bit	1	
Teletext page number	8 bit	0	
Subtitling Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x59	
Descriptor length	8 bit	8	
Subtitling Loop			
ISO 639 language code	3 char	deu	
Subtitling tone	8 bit	0x11	

Gambar 9.5. Masuknya layanan teleteks dalam Tabel Peta Program (PMT)

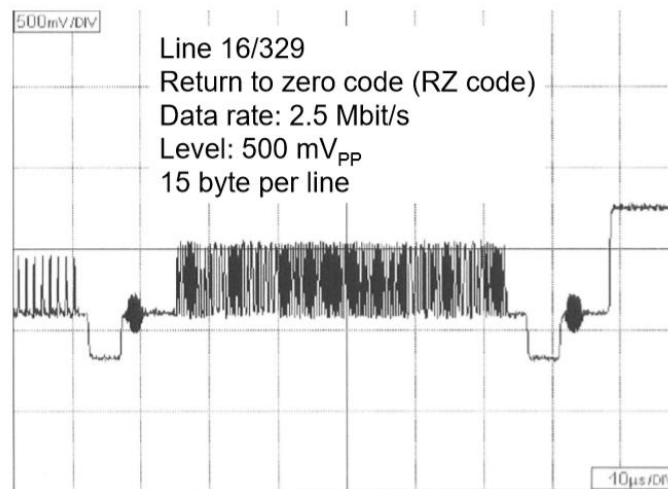
Pengidentifikasi paket (PID) dari paket Transport stream yang berisi teleteks disertakan sebagai PID untuk aliran pribadi dalam tabel peta program (PMT) dari masing-masing program (Gbr. 9.5.).

TS header		PES header	
0	47 40 82 16 00 00 01 BD 05 02 84 80 24 29 F0 51 B9 DF FF FF	0	00 00 01 BD 05 02 84 80 24 29 F0 51 B9 DF FF FF
20	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF	20	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
40	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF	40	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
60	50 41 DF 01 67 85 B4 C2 47 91 AD C1 75 61 43 20 4D 42 27 E4	60	50 41 DF 01 67 85 B4 C2 47 91 AD C1 75 61 43 20 4D 42 27 E4
80	94 29 EF F7 6F FA DCAE FF 7E A6 FE 77 B7 01 00 02 2C E8 E4	80	94 29 EF F7 6F FA DCAE FF 7E A6 FE 77 B7 01 00 02 2C E8 E4
100	31 A8 20 B9 E0 04 58 23 62 2F A7 1F 2F 04 04 40 B9 20 04 04	100	31 A8 20 B9 E0 04 58 23 62 2F A7 1F 2F 04 04 40 B9 20 04 04
120	04 04 C8 0E F7 4F 2F 04 86 D6 2F AE A7 37 37 04 04 04 04	120	04 04 C8 0E F7 4F 2F 04 86 D6 2F AE A7 37 37 04 04 04 04
140	04 04 02 2C E9 E4 92 40 20 B9 E0 04 04 C8 0E F7 4F 2F 04 04	140	04 04 02 2C E9 E4 92 40 20 B9 E0 04 04 C8 0E F7 4F 2F 04 04
160	04 E0 04 04 04 04 04 62 AE 7F 46 86 37 37 B5 AB A2 62 83 B5	160	04 E0 04 04 04 04 04 62 AE 7F 46 86 37 37 B5 AB A2 62 83 B5
180	C2 AE 0E 04 04 04 04 04	180	C2 AE 0E 04 04 04 04 04

Gambar 9.6. Paket Transport stream dengan konten teleteks

PID ini kemudian dapat digunakan untuk mengakses paket Transport stream yang berisi teleteks. Paket Transport stream yang berisi header PES dapat dikenali dari bit indikator awal muatannya yang disetel. Unit muatan paket ini berisi header PES 45 byte dan paket teleteks pertama. Paket teleteks selanjutnya mengikuti paket Transport stream berikutnya yang memiliki PID yang sama. Panjang paket PES teleteks disesuaikan sehingga jumlah integral dari banyak paket Transport stream akan menghasilkan satu paket PES lengkap. Setelah paket PES teleteks terkirim seluruhnya, maka akan ditransmisikan ulang atau paket baru dikirim jika ada perubahan pada teleteks. Segera sebelum data teleteks dalam paket PES, paritas bidang dan offset garis menunjukkan

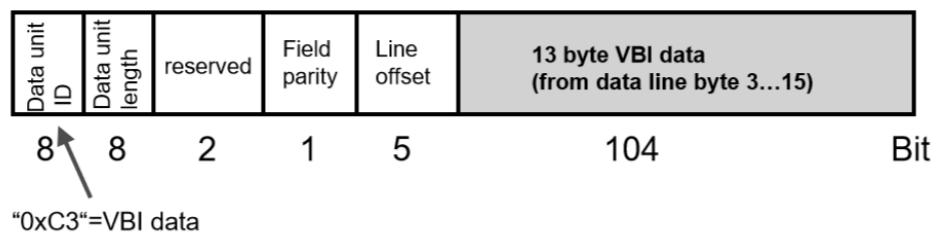
bidang dan garis di mana data teleteks akan dimasukkan kembali ke sinyal video komposit oleh penerima DVB.



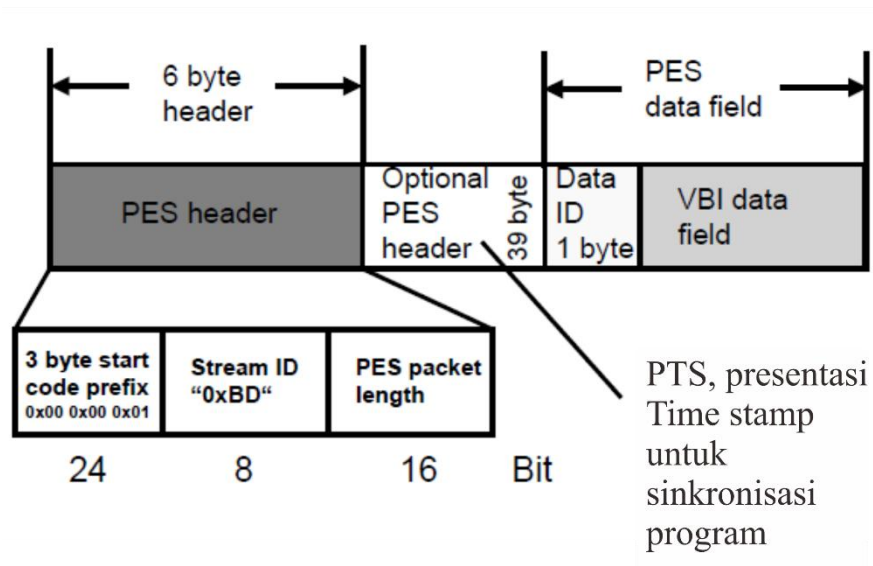
Gambar 9.7. Jalur data TV analog dalam interval pengosongan vertikal

9.2. Sistem Program Video

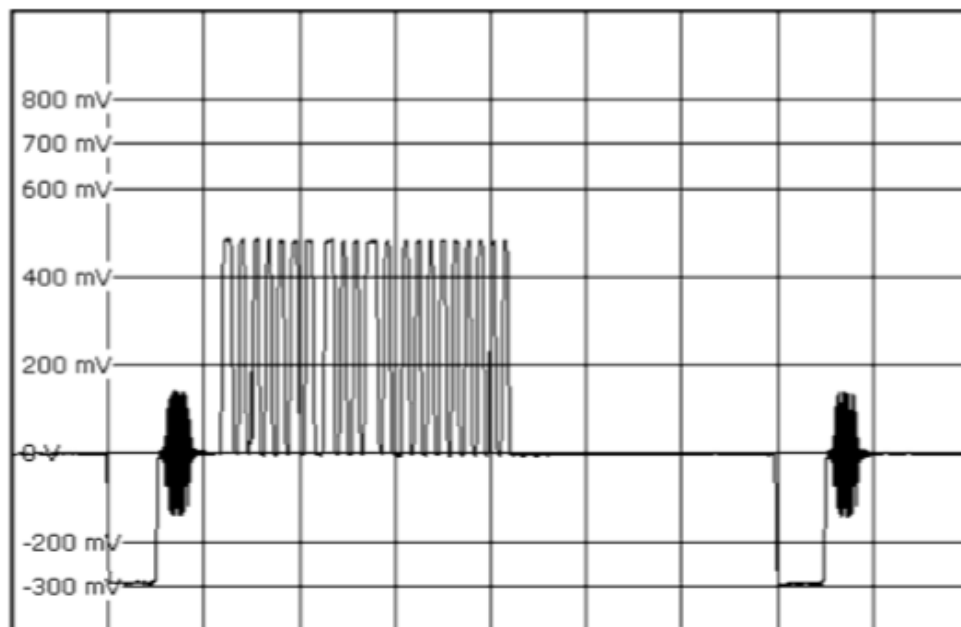
VPS, sistem program video untuk mengontrol perekam video, telah lama dikenal dan digunakan dalam siaran TV layanan publik, terutama di Eropa. Ini dapat digunakan untuk mengontrol perekaman dalam perekam video melalui jalur data, sebagian besar jalur 16 di bidang pertama. Pada jalur data (Gbr. 9.7.), 15 byte ditransmisikan dalam pengkodean RZ (kembali ke nol), termasuk informasi VPS. Menurut ETSI ETS 301775, byte 3 hingga 15 dari jalur data hanya dimasukkan ke dalam bagian muatan paket PES, mirip dengan teleteks DVB (Gbr. 9.8. dan 9.9.). ID unit data diatur ke 0xC3 dalam hal ini, sesuai dengan VBI (interval pengosongan vertikal) menurut DVB. Seperti dalam teleteks DVB, ini diikuti oleh Panjang Satuan Data, ID bidang dan nomor baris di bidang.



Gambar 9.8. Paket PES dengan data VBI



Gambar 9.9. bidang data VBI



Gambar 9.10. Sinyal WSS pada baris 23 dari sinyal TV analog

Baris data (Gbr. 9.7.) berisi informasi berikut:

- Byte 1: Jalankan di 10101010
- Byte 2: Mulai kode 01011101
- Byte 3: ID Sumber
- Byte 4: Transmisi teks ASCII serial (sumber)
- Byte 5: Monaural/stereo/binaural
- Byte 6: ID konten video
- Byte 7: Transmisi teks serial ASCII
- Byte 8: Remote control (perutean)
- Byte 9: Remote control (perutean)
- Byte 10: Remote control
- Byte 11 hingga 14: Sistem Program Video
- Byte 15: dipesan

5th Stream			
Stream type	8 bit	0x06 (6)	Private PES
reserved	3 bit	0x7	
Elementary PID	13 bit	0x0C8F (3215)	
reserved	4 bit	0xF	
ES info length	12 bit	10	
Teletext Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x56 (86)	
Descriptor length	8 bit	5	
Teletext Loop			
ISO 639 language code	3 char	ger	
Teletext type	5 bit	0x01	initial teletext page
Teletext magazine number	3 bit	1	
Teletext page number	8 bit	0	
Stream Identifier Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x52 (82)	
Descriptor length	8 bit	1	
Component tag	8 bit	0x04 (4)	

Gambar 9.12. Deklarasi teleteks dalam PMT

4 byte data VPS (byte 11 hingga 14):

- Hari (5 bit)
- Bulan (4 bit)
- Jam (5 bit)
- Menit (6 bit)
- Negara (4 bit)
- ID sumber program (6 bit)



Gambar 9.11. Sinyal WSS terlihat di layar TV (atas, sisi kiri)

4th Stream			
Stream type	8 bit	0x06 (6)	Private PES
reserved	3 bit	0x7	
Elementary PID	13 bit	0x0C8E (3214)	
reserved	4 bit	0xF	
ES info length	12 bit	19	
VBI Data Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x45 (69)	
Descriptor length	8 bit	6	
Data service id	8 bit	0x04 (4)	VPS
Data service descriptor length	8 bit	1	
reserved	2 bit	0x3	
Field parity	1 bit	1	
Line offset	5 bit	16	
Data service id	8 bit	0x05 (5)	WSS
Data service descriptor length	8 bit	1	
reserved	2 bit	0x3	
Field parity	1 bit	1	
Line offset	5 bit	23	
User Defined Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0xC3 (195)	
Descriptor length	8 bit	6	
Descriptor Data (hex)	6 byte	04 01 F0 05 01 F7	
Stream Identifier Descriptor			
Descriptor tag	8 bit	0x52 (82)	
Descriptor length	8 bit	1	
Component tag	8 bit	0x06 (6)	

Gambar 9.13. Deklarasi VBI dan AMPL dalam PMT

9.3. WSS – Wide Screen Signalling /Pensinyalan Layar Lebar

Sejak PALplus disebut *wide screen signaling* (WSS) dapat disediakan dalam video line 23. WSS menginformasikan monitor atau tampilan tentang format tampilan saat ini 4:3 atau 16:9. Untuk tujuan ini sinyal kontrol digital dapat dimasukkan ke bagian pertama dari channel 23 (Gbr. 9.10.). Sinyal WSS juga dapat disalurkan melalui DVB dalam paket PES pribadi. Prinsipnya sama dengan teletexts dan VPS. Untuk alasan teknis, sinyal ini terlihat pada beberapa layar TV di bagian atas sisi kiri gambar (Gbr. 9.11.).

Packetized Elementary Stream (PES)			
Packet Start Code Prefix	24 bit	0x000001	
Stream Id	8 bit	0xBD	private
PES packet length	16 bit	1282	
PES header data			
...			
PES data			
Data identifier	8 bit	0x10	EBU data
data_unit_id	8 bit	0x02	EBU Teletext
data_unit_length	8 bit	44	
txt_data_field (includes one line of text)			
reserved_future_use	2 bit	3	
field_parity	1 bit	1	first video
line_offset	5 bit	7	video line
framing_code	8 bit	0xE4	bit reverse
magazine_and_packet_address	16 bit	0xD91C	magazine
data_block		0xE0234F75E337F746'	
data block in bit reverse		0x07 D r . G I o	
data_unit_id	8 bit	0x02	EBU Teletext
data_unit_length	8 bit	44	
txt_data_field (includes one line of text)			

Gambar 9.14. Transmisi teletexts dalam paket PES pribadi

Contoh praktis

Dalam bab ini, cuplikan layar dari penganalisis MPEG menunjukkan beberapa contoh praktis dari teletexts, VBI dan tunneling WSS dalam MPEG-2 transport stream yang sesuai dengan DVB (Gbr. 9.12., 9.13., 9.14., 9.15.).

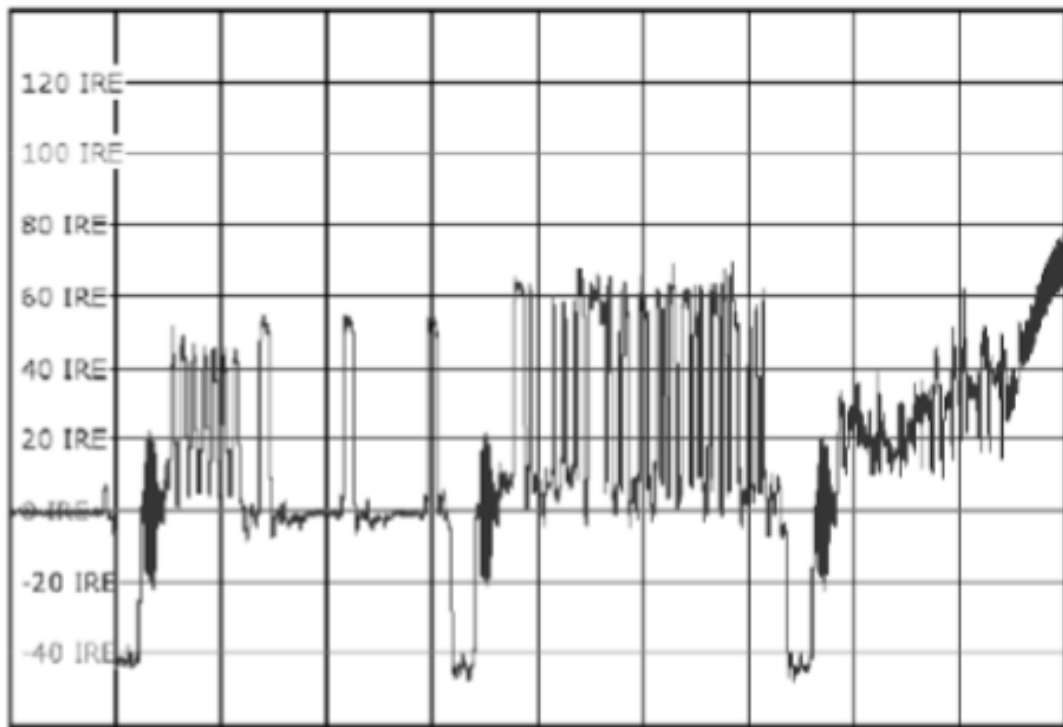
9.4. Data Terkait Program Lebih Lanjut

Saat ini TV layar datar modern diiklankan dengan menggunakan logo "HbbTV" atau "Smart TV". Layar datar tersebut memungkinkan fungsionalitas atau aplikasi lebih lanjut. Itu akan dijelaskan dalam bab-bab selanjutnya nanti. Untuk itu "Smart TV" aplikasi program lebih lanjut data terkait juga perlu diangkut.

txt_data_field (includes one line of text)			
reserved_future_use	2 bit	3	
field_parity	1 bit	1	first video field
line_offset	5 bit	8	videoline 8
framing_code	8 bit	0xE4	bit reverse 0x
magazine_end_packet_address	16 bit	0x7AF4	magazine: 3
data_block		0xE0234F75B3864F2F977604CB	
data_block in bit reverse		0x07 <i>Dr. Martin</i>	
data_unit_id	8 bit	0x02	EBU Teletext n
data_unit_length	8 bit	44	
txt_data_field (includes one line of text)			
reserved_future_use	2 bit	3	
field_parity	1 bit	1	first video field
line_offset	5 bit	9	videoline 9
framing_code	8 bit	0xE4	bit reverse 0x
magazine_end_packet_address	16 bit	0xD9F4	magazine: 3
data_block		0xE00B4FF7677504CB97B6F776	
data_block in bit reverse		0x07 <i>Prof. Simc</i>	
data_unit_id	8 bit	0x02	EBU Teletext n
data_unit_length	8 bit	44	
vps_data_field (includes one line of vertical blanking)			
reserved_future_use	2 bit	3	
field_parity	1 bit	1	first video field
line_offset	5 bit	16	videoline 16
not_relevant	8 bit	0xB1	
not_relevant	8 bit	0x62	
PCS	8 bit	0xA0	
not_relevant	8 bit	0x00	
not_relevant	8 bit	0x00	
not_relevant	8 bit	0x00	
not_relevant	8 bit	0x00	
not_relevant	8 bit	0x00	
Net or provider bin	2 bit	0x3	
Day	5 bit	24	
Month	4 bit	8	
Hour	5 bit	10	
Minute	6 bit	30	
Country	4 bit	0xD	
Net or provider bin	6 bit	0x01	
Program type bin	8 bit	0xFF	
stuffing_bytes all	8 bit	0xFF	
wss_data_field			
reserved_future_use	2 bit	3	
field_parity	1 bit	1	
line_offset	5 bit	23	
Aspect ratio	4 bit	0xE	
Film bit	1 bit	0x0	
Colour coding bit	1 bit	0x1	
Helper bit	1 bit	0x0	
reserved bit	1 bit	0x0	
Subtitles within Teletext bit	1 bit	0x0	
Subtitling mode	2 bit	0x0	
Surround sound bit	1 bit	0x0	
Copyright information	2 bit	0x0	
reserved_future_use	2 bit	3	
stuffing_bytes all	8 bit	0xFF	
data_unit_id	8 bit	0x02	
data_unit_length	8 bit	44	

Gambar 9.15. Blok data teletexts, VBI dan WSS dalam paket PES

Di teleteks AS tidak diketahui tetapi ada layanan serupa seperti subtitle Eropa. Mereka disebut "Penangkapan Tertutup" dan mereka harus ditawarkan oleh hukum. Data "Penangkapan Tertutup" langsung diangkut dalam aliran dasar video. Pada TV analog AS, data "Closed Capturing" diangkut dalam baris 21 (menurut EIA-608-A) dari interval pengosongan vertikal (Gbr. 9.16.) dan Gbr. 9.17.). Standar yang relevan untuk transmisi "Closed Capturing" di dalam ATSC adalah EIA-708-B.



Gambar 9.16. Data "Penangkapan Tertutup" pada baris 21 dari sinyal TV analog Std.M



Gambar 9.17. Jendela teks "Closed Capturing" (contoh dari AS)

BAB 10

SINYAL ANTARMUKA AV FISIK

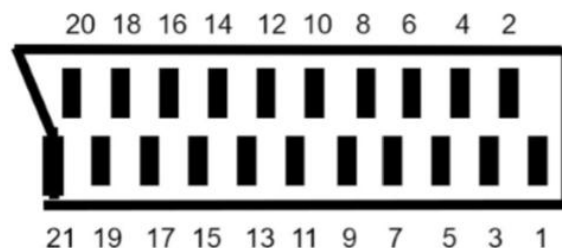
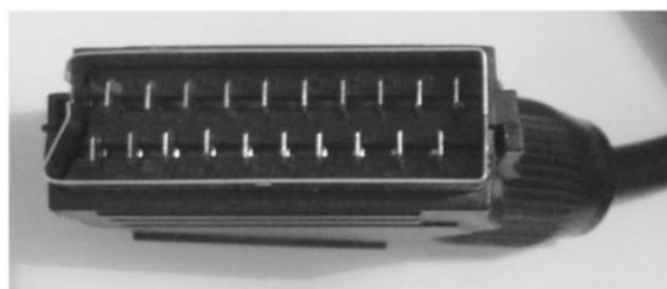
Sinyal video analog SDTV (Standard Definition Television) memiliki bandwidth sekitar 4,2 MHz hingga 6 MHz dan ditransfer melalui kabel koaksial 75 Ohm. Di era profesional dan segmen elektronik konsumen yang lebih canggih, ini biasanya kabel berjaket hijau yang dilengkapi dengan colokan BNC. Ketika diakhiri dengan tepat 75 Ohm, sinyal video analog memiliki amplitudo 1 Vpp. Sinyal video analog ditemui dalam berbagai format, yaitu:

- sinyal video komposit yang dikodekan secara inheren, juga disebut FBAS atau CVBS, CCVS di PAL, SECAM dan NTSC,
- Sinyal video komponen berkode RGB, atau
- sinyal YUV.

Pertanyaan yang sering diajukan adalah mengapa teknologi video menggunakan sistem 75 Ohm. Pasalnya, kabel koaksial dengan impedansi 75 Ohm memiliki redaman yang lebih rendah. Di mana pun redaman penting, kabel dengan impedansi 75 Ohm digunakan di seluruh teknologi radio, yang juga berlaku untuk kabel video dan antena (baik terrestrial, broadband, atau satelit). Di segmen konsumen, semua antarmuka input dan output video dan audio dilengkapi dengan soket dan colokan RCA tanpa kecuali, atau sinyal ditransfer melalui apa yang disebut antarmuka SCART.



Gambar 10.1. Soket RCA, untuk sinyal video komponen dalam contoh ini



Gambar 10.2. Pinout dari colokan SCART

Tabel 10.1. Pinout dari colokan SCART

Pin	Sinyal
1	Audio output, right
2	Audio input, right
3	Audio output, left/mono
4	Audio ground
5	RGB - blue ground (ground for pin 7)
6	Audio input left/mono
7	RGB Blue, S-Video down, Component PB up
8	Status dan aspek rasio hingga 0...0.4V – off 5...8V – on/16:9 9.5...12V on/4:3
9	RGB Green ground (ground for pin 11)
10	Clock / Data 2 / Control bus
11	RGB Green Component Y
12	Reserved / Data 1
13	RGB Red ground (ground for pin 15)
14	Data signal ground (ground for pins 8, 10, 12)
15	RGB Red up S-Video C up Component PR up
16	Blanking signal up RGB-selection voltage up 0...0.4V composite 1...3V RGB
17	Gabungan video ground (ground for pins 19, 20)
18	Blanking signal ground (ground for pin 16)
19	Gabungan video output S-Video Y output
20	Gabungan video input S-Video Y input
21	Shell/Chassis

Sinyal audio analog biasanya memiliki level sinyal 0dBu (1 mW pada 600 Ohm) atau +6 dBu (perhatikan huruf kecil "u") dan tersedia di

- Colokan XLR dan soket XLR (segmen profesional), atau
- Colokan RCA dan soket RCA (segmen konsumen).

Impedansi input antarmuka berada dalam kisaran 600 Ohm hingga 100 kOhm.

10.1. Antarmuka Fisik untuk Sinyal Video Digital

Antarmuka pertama untuk sinyal TV digital diimplementasikan sebagai antarmuka paralel menggunakan konektor D-sub 25-pin yang familiar dari antarmuka printer PC. Karena ketebalan noise, sinyal ditransfer sebagai Sinyal Diferensial Tegangan Rendah (LVDS) melalui kabel pasangan terpilin. Saat ini teknologi coax 75-Ohm digunakan secara eksklusif di area ini juga. Sinyal video digital ditransmisikan sebagai informasi serial pada kecepatan data 270 Mbit/s melalui kabel koaksial 75 Ohm yang dipasang dengan colokan BNC yang populer dan kuat. Kedua sinyal video tidak terkompresi sesuai standar 601 dan sinyal video terkompresi ditransmisikan dengan cara yang sama. Jalur distribusi di studio sama, seperti kabel, amplifier, dan equalizer kabel. Teknik gaul sering menyebut ini SDI atau TS-ASI. TS-ASI dan SDI menggunakan antarmuka fisik yang sama, hanya kontennya yang berbeda. SDI (Serial Digital Interface) membawa sinyal video digital serial yang tidak terkompresi sesuai standar 601 pada kecepatan data 270 Mbit/s. TS-ASI (*Transport Stream - Asynchronous Serial Interface*) adalah MPEG-

2 transport stream pada antarmuka serial. Antarmuka secara fisik identik dengan antarmuka SDI, tetapi alih-alih SDI, antarmuka ini membawa Transport stream pada kecepatan data yang jauh lebih rendah daripada yang mungkin melalui jalur transmisi fisik serial ini; maka "asinkron". Dalam hal kecepatan data, Transport stream tidak sinkron dengan kecepatan data konstan 270 Mbit/s pada antarmuka TS-ASI. Misalnya, jika kecepatan data Transport stream adalah 38 Mbit/s, sisa kecepatan data 270 Mbit/s diisi dengan informasi berhenti. Bekerja dengan kecepatan data 270 Mbit/s yang konstan memberikan keuntungan nyata bahwa studio dapat menggunakan jalur distribusi yang seragam untuk sinyal 601 dan Transport stream MPEG-2. Sementara itu, antarmuka video digital lebih lanjut seperti HD-SDI, DVI dan HDMI juga telah muncul. Antarmuka fisik yang digunakan untuk sinyal TV digital adalah sebagai berikut:

- antarmuka paralel untuk sinyal video digital terkompresi
- antarmuka SDI
- Antarmuka HD-SDI
- Antarmuka 3G/HD/SDI
- Antarmuka paralel TS
- Antarmuka paralel TS-ASI
- SMPTE310
- Antarmuka BCMUX (ISDB-T)
- antarmuka DVI
- antarmuka HDMI

10.2. "CCIR 601" Antarmuka Paralel dan Serial

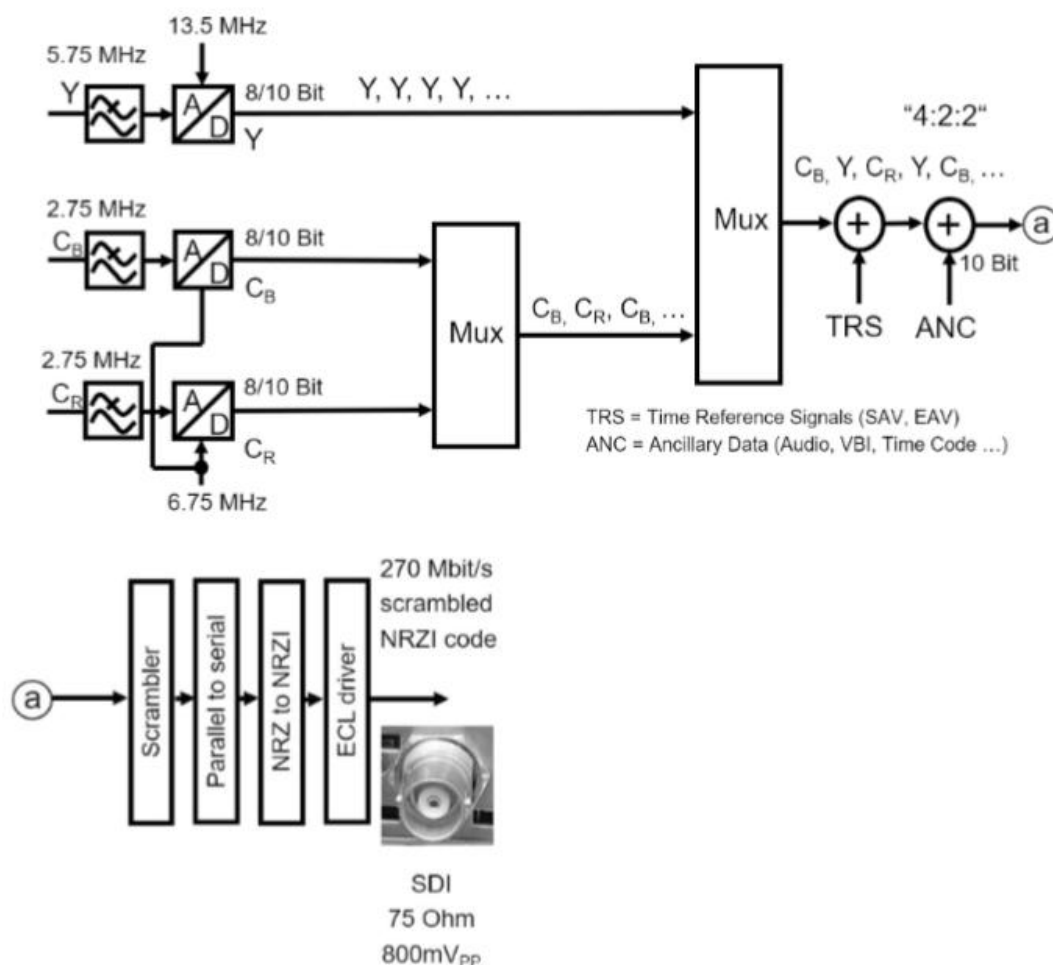
Tabel 10.2. CCIR 601 paralel dan antarmuka Transport Stream

Pin	Signal	Pin	Signal
1	Clock	14	Clock inverted
2	System ground	15	System ground
3	601 data bit 9 (MSB) TS data bit 7 (MSB)	16	601 data bit 9 (MSB) inverted TS data bit 7 (MSB) inverted
4	601 data bit 8 TS data bit 6	17	601 data bit 8 inverted TS data bit 6 inverted
5	601 data bit 7 TS data bit 5	18	601 data bit 7 inverted TS data bit 5 inverted
6	601 data bit 6 TS data bit 4	19	601 data bit 6 inverted TS data bit 4 inverted
7	601 data bit 5 TS data bit 3	20	601 data bit 5 inverted TS data bit 3 inverted
8	601 data bit 4 TS data bit 2	21	601 data bit 4 inverted TS data bit 2 inverted
9	601 data bit 3 TS data bit 1	22	601 data bit 3 inverted TS data bit 1 inverted
10	601 data bit 2 TS data bit 0	23	601 data bit 2 inverted TS data bit 0 inverted
11	601 data bit 1 TS data valid	24	601 data bit 1 inverted TS data valid inverted
12	601 data bit 0 TS packet sync	25	601 data bit 0 inverted TS packet sync inverted
13	Shell/Chassis		

Sinyal video SDTV yang tidak terkompresi memiliki kecepatan data 270 Mbit/s dan didistribusikan secara paralel melalui kabel pasangan terpilin, atau secara serial melalui kabel koaksial 75-Ohm. Antarmuka paralel adalah soket D-Sub 25-pin yang dikenal, antara lain, port printer PC. Sinyal memiliki format LVDS (Low Voltage Differential Signalling), yang berarti bahwa alih-alih level tegangan TTL, level ECL (800 mVpp) digunakan. Selain itu, setiap bit data ditransmisikan bersama dengan nilai terbalikannya untuk menjaga tingkat noise pada pasangan terpilin seminimal mungkin. Tabel 10.2 menunjukkan pinout dari port paralel 25-pin, bersama dengan pinout dari antarmuka transport stream MPEG-2 paralel meskipun sebagian besar telah digantikan oleh jalur serial "CCIR 601", juga dikenal sebagai SDI (Serial Digital Interface). Konektor yang terakhir ini adalah soket BNC 75-Ohm dengan level tegangan 800 mVpp, digunakan dengan kabel video 75-Ohm biasa. Berbeda dengan antarmuka paralel, sinyal dapat didistribusikan pada jarak yang lebih jauh menggunakan equalizer kabel.

10.3. Antarmuka Transport stream Paralel Sinkron (TS PARALLEL)

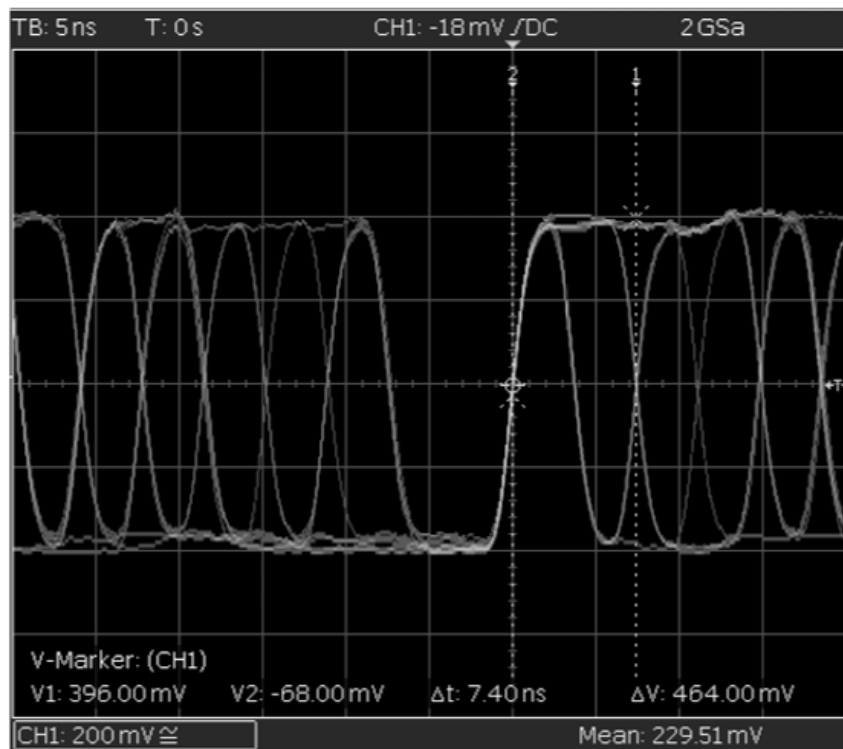
Antarmuka Transport stream MPEG-2 paralel dirancang agar sepenuhnya kompatibel dengan antarmuka "CCIR 601". Di sini juga, sinyal LVDS (Low Voltage Differential Signalling) digunakan pada level ECL (Emitter Coupled Logic) dan ditransfer sebagai sinyal seimbang melalui pasangan bengkok. Konektor sekali lagi merupakan konektor D-sub 25-pin, dan pinout-nya kompatibel dengan antarmuka "CCIR 601". Pinout dari sinyal data, yang hanya berisi 8 bit berbeda dengan sinyal "CCIR 601", ditunjukkan pada Tabel 10.2 pada bagian sebelumnya (Tabel 10.2.).



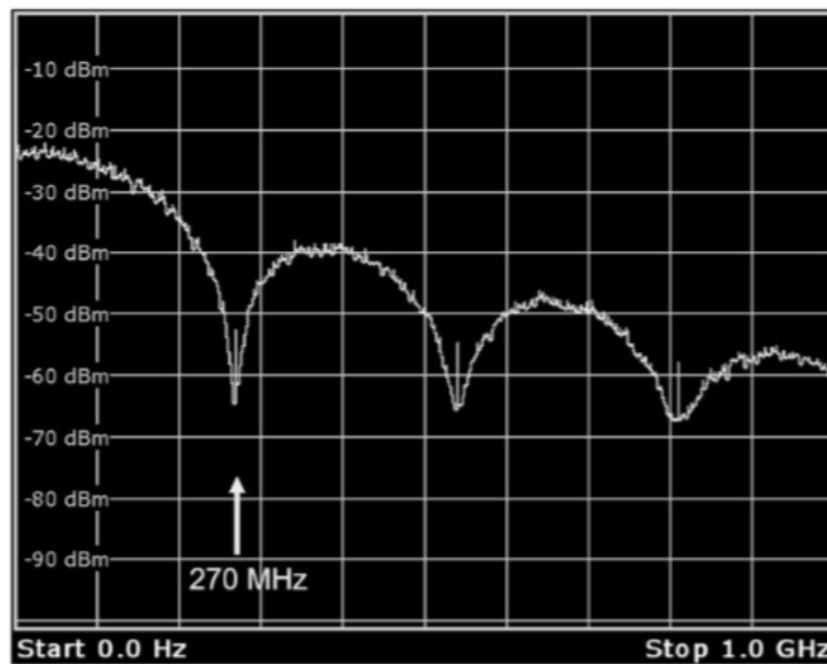
Gambar 10.3. Antarmuka SDI, diagram blok (kode NRZI acak, level ECL); NRZI = Non-Return-to-Zero Inverted.

Datastream yang ditransmisikan melalui antarmuka Transport stream paralel ini (lihat Gambar 10.3, 10.4, dan 10.5) selalu disinkronkan dengan Transport stream MPEG-2 yang akan ditransmisikan, yaitu jika Transport stream memiliki kecepatan data mis. 38 Mbit/s, maka kecepatan data antarmuka TS paralel juga akan menjadi 38 Mbit/s. Transport stream tetap tidak berubah.

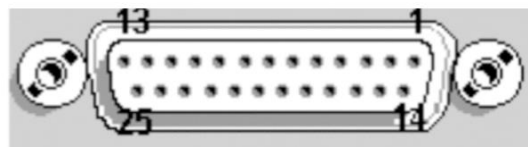
Namun, ukuran paket yang didukung oleh antarmuka Transport Stream bisa 188, 204 atau 208 byte. Ukuran paket 204-byte atau 208-byte berasal dari perlindungan kesalahan Reed-Solomon yang digunakan dalam link transmisi sinyal DVB dan ATSC, masing-masing. Setiap data yang dikirim melalui antarmuka aliran transmisi selain 188 byte dianggap sebagai byte tiruan dan kontennya dapat diabaikan. Banyak perangkat dapat dikonfigurasi ke berbagai ukuran paket ini atau mendukung semua format.



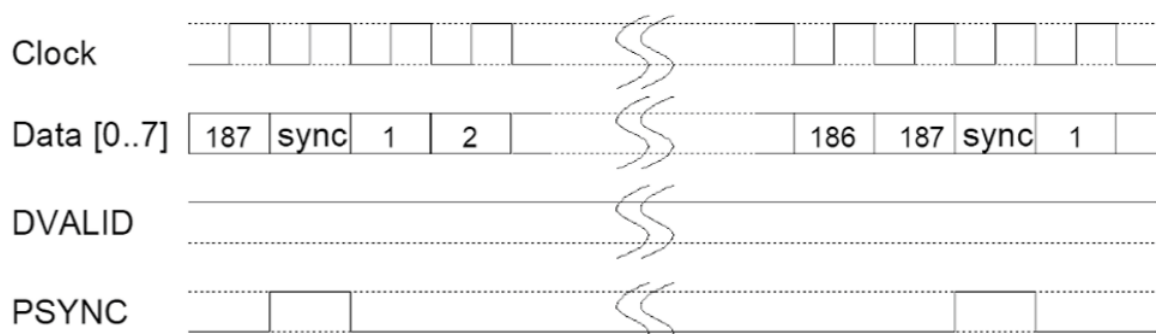
Gambar 10.4. Sinyal SDI dalam domain waktu (kode NRZI)



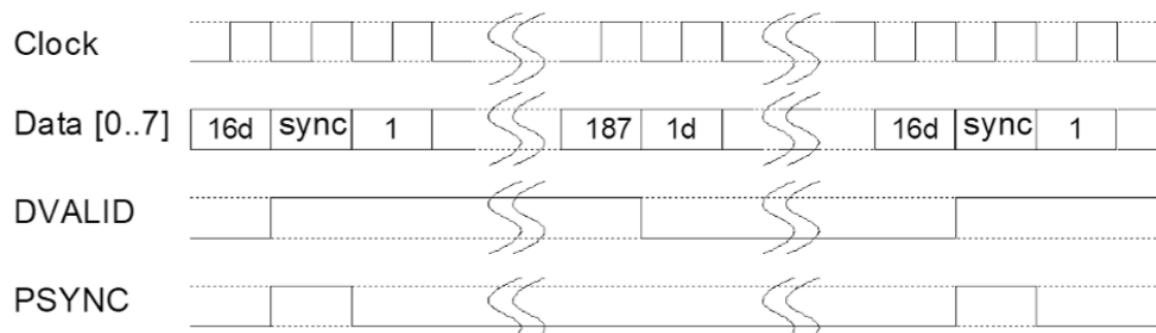
Gambar 10.5. spektrum SDI; fungsi $\sin(x)/x$ dengan nol pada kelipatan 270 MHz



Gambar 10.6. Antarmuka Transport stream paralel



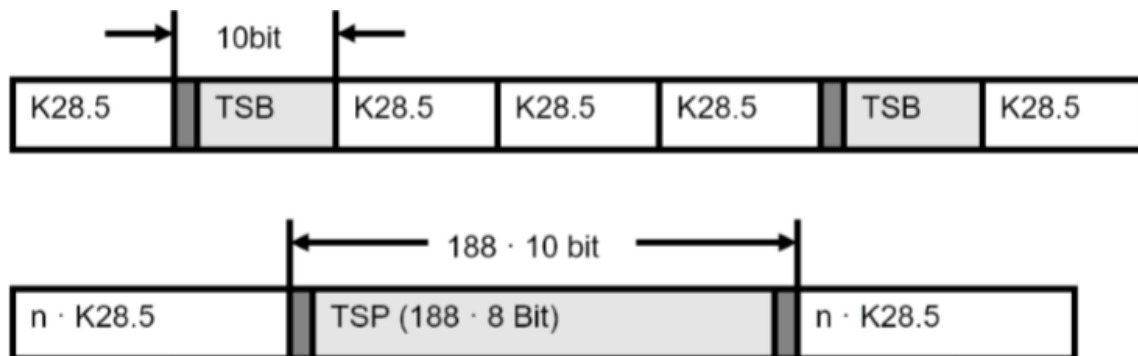
Gambar 10.7. Format transmisi antarmuka paralel TS menggunakan paket 188-byte



Gambar 10.8. Format transmisi menggunakan paket 188-byte dan 16 byte dummy



Gambar 10.9. Konektor TS-ASI (75 Ohm, BNC)



Karakter spesial K28.5

0011111010

1100000101

TSB = *Transport Stream Byte*

TSP = *Transport Stream Packet*

Gambar 10.10. TS-ASI dalam mode single-byte (atas) dan mode burst (bawah)

188 byte dari paket Transport Stream dapat diperpanjang dengan 16 byte informasi tambahan, seperti halnya ISDB-T saat menggunakan format BCMUX. ISDB-T menggunakan 16 byte ini untuk mengidentifikasi multiplexing, yaitu lapisan yang digunakan.

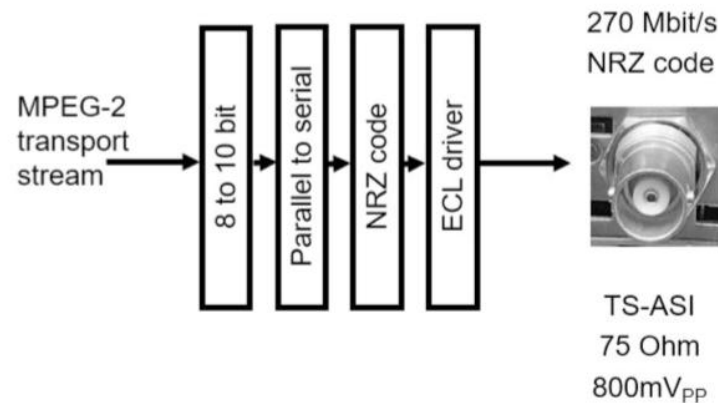
10.4. Antarmuka Transport stream Serial Asinkron (TS-ASI)

Antarmuka aliran transport serial asinkron (Gbr. 10.9.) memiliki kecepatan data konstan 270 Mbit/dtk dan dapat mengirimkan (8-bit) byte data hingga 27 MB/dtk. Karena kecepatan data tetap 270 Mbit/s dari antarmuka ini, antarmuka ini tidak sinkron dengan MPEG-2 transport stream yang sebenarnya. Namun kelebihanannya adalah TS-ASI dapat menggunakan sistem distribusi yang sama dengan SDI. Setiap byte dilengkapi dengan dua bit tambahan berdasarkan tabel standar. Mereka berfungsi di satu sisi untuk mengidentifikasi byte data (byte dummy) yang digunakan untuk mengisi kecepatan data 27 MB/s, dan, di sisi lain, untuk mencegah komponen tegangan DC dalam sinyal serial.

Konektor yang digunakan adalah soket BNC 75 Ohm dengan level 800 mVpp (+/-10%).

Antarmuka TS-ASI dapat dioperasikan dalam dua mode: mode burst atau single byte (Gbr. 10.10.). Dalam mode burst, paket TS tetap tidak berubah dan paket dummy

dimasukkan untuk mencapai data rate 270 Mbit/s, sedangkan dalam mode single-byte, dummy byte dimasukkan sebagai "padding" untuk mencapai output data rate 270 Mbit/s. .



Gambar 10.11. Antarmuka TS-ASI, diagram blok (tanpa pengacak, kode NRZ, level ECL)

a. SMPTE310 Antarmuka

Jenis khusus dari jalur TS-ASI adalah antarmuka SMPTE310 yang ditentukan untuk ATSC. Ini adalah antarmuka data sinkron serial yang beroperasi pada kecepatan data tetap 19,39 Mbit/s dari standar ATSC dan menggunakan konektor BNC.

b. Antarmuka DVI

DVI (Digital Visual Interface) adalah standar antarmuka yang, untuk saat ini, menggantikan antarmuka VGA yang digunakan dengan tampilan di dunia PC. Muncul dalam dua versi: DVI-I (Terintegrasi) dan DVI-D (Digital). Antarmuka DVI-I tambahan berisi komponen VGA analog, yaitu dapat dikonversi ke antarmuka VGA menggunakan colokan adaptor pasif. Antarmuka DVI-D hanya berisi sinyal monitor digital. Jalur DVI memiliki kecepatan data 1,65 Gbit/s. Ini dapat digunakan untuk mentransfer sinyal dari monitor HD Ready atau beamer (proyektor).

c. ISDB-T BCMUX

Standar ISDB-T Jepang mendefinisikan tiga lapisan fisik untuk mentransfer tiga Transport stream yang berbeda, masing-masing dengan parameter fisik yang berbeda (koreksi kesalahan, metode modulasi). Format BCMUX telah ditetapkan untuk memungkinkan ketiga Transport stream ini dikirimkan ke lokasi pemancar sebagai sinyal tunggal (lihat juga Bab 25, ISDB-T). Untuk mencapai ini, 16 byte lebih lanjut ditambahkan ke 188 byte dari paket Transport stream untuk memberi sinyal pada lapisan yang dimiliki oleh paket Transport stream yang diberikan.

Tabel 10.3. Pinout dari antarmuka DVI

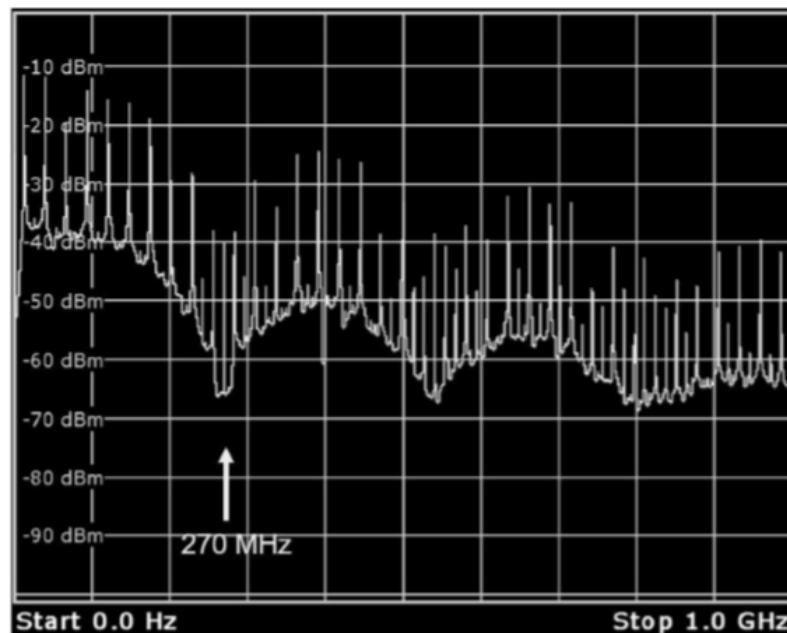
Pin	Signal
01	TMDS Data 2-
02	TMDS Data 2+
03	TMDS data 2/4 shield
04	TMDS Data 4-
05	TMDS Data 4+
06	DDC clock
07	DDC data
08	Analog vertical sync
09	TMDS Data 1-
10	TMDS Data 1+
11	TMDS data 1/3 shield
12	TMDS Data 3-
13	TMDS Data 3+
14	+5 V
15	+5 V ground
16	Hot plug detect
17	TMDS Data 0-
18	TMDS Data 0+
19	TMDS data 0/5 shield
20	TMDS Data 5-
21	TMDS Data 5+
22	TMDS clock shield
23	TMDS clock+
24	TMDS clock-
C1	Analog Red
C2	Analog Green
C3	Analog Blue
C4	Analog horizontal sync
C5	Analog ground

TMDS = *Transmission Minimized Digital Signalling*/Transmisi Sinyal Digital yang Diminimalkan

DDC = *Display Data Channel*/Tampilkan Channel Data

d. Antarmuka HD-SDI

HD-SDI (High Definition Serial Digital Interface) adalah "kakang" dari antarmuka SDI. Ini digunakan untuk mendistribusikan video HD yang tidak terkompresi pada kecepatan data 1,485 Gbit/s dan resolusi 10 bit, atau untuk memasok sinyal ke encoder HD MPEG. Media transfer yang sesuai dapat berupa channel 75-Ohm / 800 mV koaksial dengan konektor BNC atau tautan optik. Antarmuka HD-SDI 3G mendukung kecepatan data hingga 3 Gbit/dtk. Tabel 10.4. daftar semua format SDI fisik yang saat ini digunakan.



Gambar 10.12. Spektrum TS-ASI

distribusi spektrum berbeda dibandingkan SDI karena kode NRZ tidak diacak; karena kode NRZ murni, sinyal TS-ASI harus memiliki polaritas yang tepat.



Gambar 10.13. Antarmuka DVI (kiri: DVI-D; kanan: DVI-I)

Tabel 10.4. Format SDI fisik

Standar	Singkatan	Tingkat data	Contoh
SMPTE259M	SD-SDI	270 Mbit/s	576i, 480i
SMPTE344M	ED-SDI	540 Mbit/s	576p, 480p
SMPTE292M	HD-SDI	1.485 Gbit/s	720p, 1080i
SMPE372M	Dual Link HD-SDI	2.970 Gbit/s	1080p
SMPTE424M	3G-SDI	2.970 Gbit/s	1080p
SMPTE ST 2081	6G-UHD-SDI	6 Gbit/s	4K
SMPTE ST 2082	12G-UHD-SDI	12 Gbit/s	4K

e. antarmuka DVB-IP

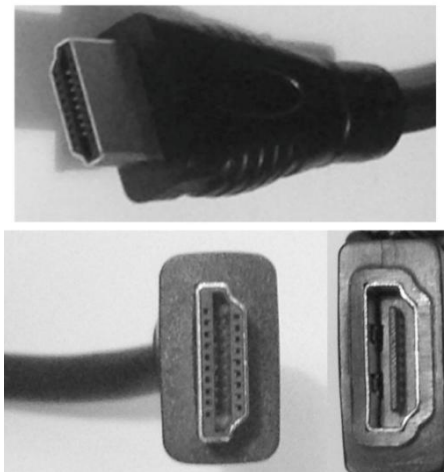
Dalam peningkatan jumlah aplikasi, antarmuka TS-ASI yang menangani Transport stream MPEG-2 digantikan oleh antarmuka Gigabit Ethernet (kabel CAT6, konektor RJ45). Antarmuka DVB-IP ini akan sepenuhnya menggantikan TS-ASI dalam jangka menengah. Ini dapat digunakan untuk mendistribusikan beberapa Transport stream melalui satu antarmuka, dengan pengalamatan aliran berdasarkan "soket" (dikenal dari dunia PC), yang terdiri dari nomor port dan alamat IP.

10.5. SDI melalui IP, AVB

Sinyal video tidak terkompresi di luar HD (4K, UHD-1) saat ini sebagian besar ditransmisikan melalui empat kabel 3G HD-SDI paralel yang masing-masing mengangkut satu kuadran. Dua alternatif lain menawarkan solusi yang lebih praktis:

- 802.AVB (Jembatan Audio Video)
- SDI melalui IP – SMPTE2022

Keduanya mengandalkan struktur kabel IP. 802.AVB menggantikan semua lapisan ISO/OSI dengan protokolnya sendiri, sementara SDI over IP, yaitu SMPTE2022, membiarkan lapisan ISO/OSI terendah tidak tersentuh.



Gambar 10.14. Antarmuka HDMI

a. HDMI – Antarmuka Multimedia Definisi Tinggi

Di era televisi analog, SCART (Gbr. 10.2) adalah antarmuka yang paling banyak digunakan untuk menghubungkan perangkat eksternal ke perangkat TV dan mendistribusikan sinyal video – sebagai sinyal CVBS yang dikodekan secara inheren (video komposit) atau sebagai video komponen (RGB) –, dan sinyal audio (kiri, kanan). VGA (Video Graphics Array) dan antarmuka DVI, keduanya dikenal dari dunia PC, hanya membawa sinyal video. DVI (Digital Visual Interface) dikembangkan sebagai stand-in digital untuk antarmuka VGA analog. Antarmuka HDMI (Gbr. 10.14.), yang kompatibel dengan sinyal dengan DVI, muncul sekitar tahun 2003. Colokan adaptor pasif murni dapat digunakan untuk mengkonversi antara DVI dan HDMI. Di era HDTV (TV resolusi tinggi), antarmuka HDMI adalah koneksi utama antara TV layar datar dan sumber video dan audio eksternal seperti pemutar DVD, pemutar Blu-ray, atau penerima AV. Persyaratan industri film untuk mekanisme perlindungan salinan dipenuhi dengan HDCP (Perlindungan Konten Digital Bandwidth Tinggi) yang diterapkan di HDMI. Bagian berikut membahas fitur penting dan protokol data antarmuka HDMI.

b. HDMI – Jalur Pengembangan dan Versi

Ketika standar HDMI diterbitkan pada tahun 2003, HDTV masih dalam masa pertumbuhan. Semua perangkat saat ini dilengkapi dengan setidaknya antarmuka HDMI v1.4, dan produk untuk segmen UHD TV sudah dikirimkan dengan HDMI V2.0.

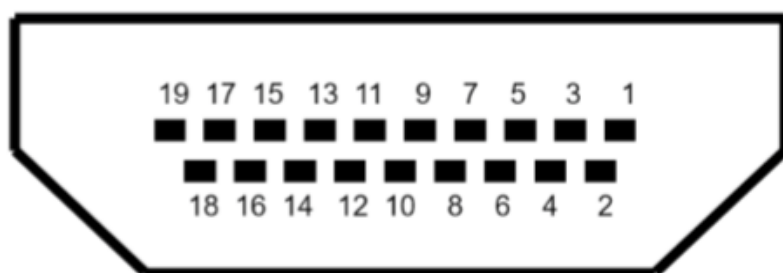
Berbagai versi HDMI mendukung fungsionalitas yang berbeda, kecepatan data, dan jenis konektor seperti yang tercantum di bawah ini:

- HDMI versi 1.0, diterbitkan pada tahun 2002: hingga 3,96 Gbit/dtk, konektor tipe A
- HDMI versi 1.1, diterbitkan pada tahun 2004: hingga 3,96 Gbit/dtk dengan konektor tipe A dan hingga 7,92 Gbit/dtk dengan konektor tipe B, DVD-Audio
- HDMI versi 1.2, diterbitkan pada tahun 2005: konektor dan kecepatan data seperti pada 1.1, tetapi sekarang juga audio SACD
- HDMI versi 1.2a, diterbitkan pada tahun 2005: sebagai 1.2, tetapi sekarang juga mendukung CEC
- HDMI versi 1.3, diterbitkan pada tahun 2006: hingga 8,16 Gbit/dtk, konektor tipe C ditambahkan (mini-HDMI), sekarang juga audio Dolby Digital Plus
- HDMI versi 1.3abc, diterbitkan pada tahun 2006: hingga 8,16 Gbit/s, pertama yang mendukung 3D
- HDMI versi 1.4, diterbitkan pada tahun 2009: hingga 8,16 Gbit/dtk, konektor tipe D ditambahkan (mikro-HDMI), sekarang juga resolusi 4K/2K, channel Ethernet HDMI, Channel Pengembalian Audio
- HDMI versi 1.4a, diterbitkan pada 2010: standarisasi 3D lebih lanjut (Berdampingan, Atas-dan-Bawah, dll.)
- HDMI versi 2.0, diterbitkan pada tahun 2014: kecepatan data hingga 14,4 Gbit/dtk, mendukung 4Kp50/60
- HDMI versi 2.0a, diterbitkan pada tahun 2015: mendukung HDR (Jangkauan Dinamis Tinggi)
- HDMI versi 2.0b, diterbitkan pada tahun 2016: Fungsi HDR diperluas dengan HLG
- HDMI versi 2.1, diterbitkan pada tahun 2017: kecepatan data hingga 42,6 Gbit/dtk, diperluas dengan Display Stream Compression, mendukung semua format gambar 4K dan seterusnya

Evolusi standar HDMI menghasilkan pengenalan berbagai jenis konektor, peningkatan kecepatan data, dan channel pengembalian audio dalam kabel HDMI yang diterapkan khusus untuk penerima AV.

10.6. Implementasi Mekanis

Antarmuka HDMI dapat ditemukan di TV layar datar dan perangkat eksternal terhubung khususnya, serta di ponsel, kamera video, kamera aksi, kendaraan, dll. Konektor harus memenuhi berbagai batasan beban aplikasi ini, atau hanya harus cukup kecil atau bahkan kompatibel secara mekanis dengan format antarmuka lainnya. Oleh karena itu, konektor HDMI hadir dalam berbagai bentuk dan ukuran fisik agar sesuai dengan aplikasi tertentu.

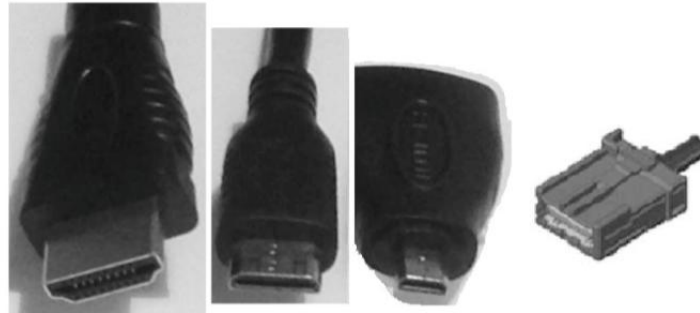


Gambar 10.15. Pinout dari konektor HDMI tipe A standar

Konektor HDMI tersedia dalam format berikut:

- Tipe standar A dengan 19 kabel sinyal, konektor yang secara fisik relatif besar
- Tipe B (29-pole, belum merambah pasar)
- Tipe C "mini" (19 tiang)
- Tipe D "mikro" (19 kutub)
- Tipe E "otomotif"

Mini dan mikro terutama digunakan di ponsel, PC tablet, dan kamera. Tipe E telah dirancang untuk aplikasi otomotif.



Gambar 10.16. Jenis colokan HDMI (dari kiri): tipe A ("standar"), tipe C ("mini"), tipe D ("mikro") dan tipe E ("otomotif")

Tabel 10.5. Pin keluar HDMI

Pin #, Plug Type A	Pin #, Plug Type D	Sinyal	Deskripsi
1	3	TMDS Data 2+	
2	4	TMDS Data 2 GND	Ground
3	5	TMDS Data 2-	
4	6	TMDS Data 1+	
5	7	TMDS Data 1 GND	Ground
6	8	TMDS Data 1-	
7	9	TMDS Data 0+	
8	10	TMDS Data 0 GND	Ground
9	11	TMDS Data 0-	
10	12	TMDS Clock+	
11	13	TMDS Clock GND	Ground
12	14	TMDS Clock-	
13	15	CEC	
14	2	Cadangan, atau data HEC-	
15	17	SLC	I2C bus untuk DDC Clock
16	18	SDA	I2C bus untuk DDC Data
17	16	DDC/CEC/HEC GND	Ground
18	19	+5V, max. 55 mA	Supply voltage
19	1	Deteksi steker panas, data HEC +	

10.7. Fungsi Antarmuka HDMI

Antarmuka HDMI menawarkan fungsi berikut (Gbr. 10.12):

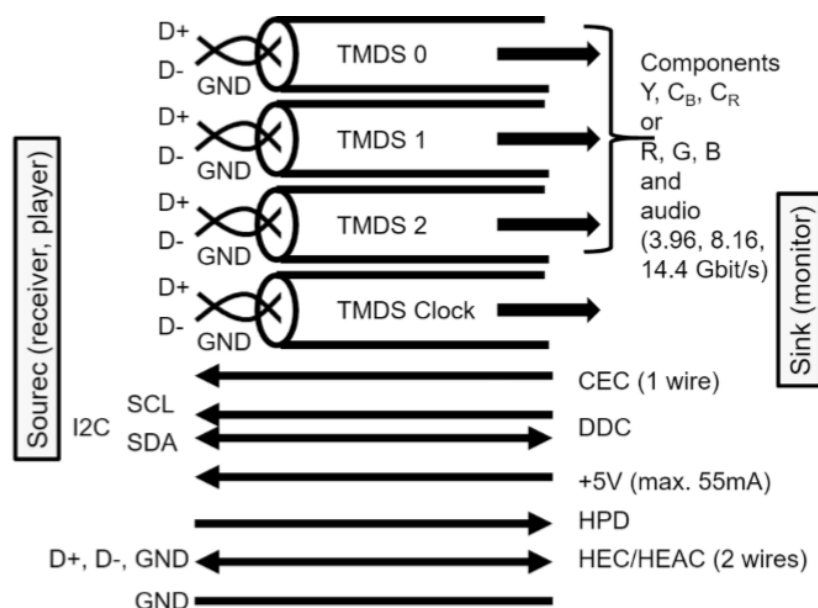
- Transmisi video dan audio (dienkripsi jika diperlukan)
- Pertukaran kemampuan source dan sink, negosiasi format yang digunakan □ Remote control perangkat (CEC/Consumer Electronics Control)
- Channel pengembalian audio dari TV ke penerima AV (ARC Channel Pengembalian Audio)
- Deteksi colokan panas (HPD)
- Catu daya (5 V, maks. 55 mA) mis. untuk power amplifier/equalizer
- Juga tautan data Ethernet

Antarmuka HDMI digunakan untuk mentransfer sinyal data video dan audio (dienkripsi jika diperlukan – HDCP) dari sumber (penerima, pemutar Blu-ray, dll.) ke perangkat target (TV layar datar) melalui apa yang disebut TMDS (Transisi -Jalur Sinyal Diferensial yang Diminimalkan). Transmisi ini bersifat terarah dan memiliki kecepatan data yang sangat tinggi. Data harus dienkripsi dalam kasus tertentu untuk mencegah akses oleh pihak ketiga. Namun, perlindungan konten (HDCP) ini hanya akan diaktifkan jika diminta oleh sumbernya (Blu ray, layanan TV, dll.). Kunci yang akan digunakan untuk transfer dinegosiasikan oleh dua perangkat (sumber dan wastafel) melalui antarmuka HDMI.

HDMI juga menyediakan remote control perangkat, memungkinkan mis. pemutar Blu-ray yang terhubung untuk ditangani dari remote kontrol TV; komunikasi ini juga ditransfer melalui kabel HDMI.

Kabel HDMI dapat dicolokkan dan dicabut. Perangkat yang terhubung harus dapat secara otomatis mendeteksi ini dan bereaksi terhadapnya. Fitur ini disebut HPD (Hot Plug Detect).

Perangkat yang terhubung melalui kabel HDMI bertukar kemampuan fisik mereka, yaitu masing-masing menginformasikan yang lain apa itu dan format video dan audio mana yang didukungnya. Kemudian kedua perangkat menyetujui format umum yang kompatibel untuk video dan audio.



Gambar 10.17. Sinyal antarmuka HDMI

Jika home theater menyertakan penerima AV, penerima AV bertanggung jawab untuk menyediakan suara surround. Untuk tujuan ini, sinyal audio video harus diumpankan dari perangkat TV ke penerima AV. Untuk menghemat kabel tambahan, channel balik kabel HDMI dapat digunakan untuk memasok audio dari perangkat TV ke penerima AV.

Kabel HDMI mencakup jalur suplai yang menyediakan 5 V dan arus output maksimal 55 mA, yang dapat digunakan untuk memberi daya, mis. penguat garis, equalizer.

10.8. Format Sinyal Antarmuka HDMI

Format sinyal antarmuka HDMI adalah sebagai berikut:

- TMDS: *Transition-Minimized Differential Signalling*/Pensinyalan Diferensial yang Diminimalkan Transisi
- I²C bus: bus data dua arah serial
- CEC: *Consumer Electronic Control*/Kontrol Elektronik Konsumen
- HEC: Channel Ethernet HDMI
- HEAC: HDMI Ethernet dan Channel Audio
- DDC: *Display Data Channel*/Menampilkan Channel Data
- dan tegangan suplai

TMDS (Transition-Minimized Differential Signalling) adalah transmisi serial kecepatan tinggi data video dan audio dari sumber ke sink melalui tiga pasang kawat berpelindung (0, 1, 2) pada level ECL (800 mVpp) dan impedansi channel ke ground 50 Ohm. Tarif data yang disediakan oleh TMDS adalah sebagai berikut:

- hingga 1.65 Gbit/s (DVI — Digital Visual Interface)
- hingga 3.96 Gbit/s (HDMI 1.0, 1.1, 1.2)
- hingga 8.16 Gbit/s (HDMI 1.3, 1.4)
- hingga 14.4 Gbit/s (HDMI 2.0)

Selain tiga pasang kawat yang digunakan untuk data, TMDS menggunakan pasangan kawat terlindung keempat untuk mentransmisikan jam TMDS. Laju data aktual dan karenanya frekuensi clock aktual bergantung pada konten yang akan ditransmisikan. Data yang dikirim melalui jalur TMDS dienkripsi jika diperlukan menggunakan HDCP, dan pengkodean channel 8b/10b digunakan untuk memastikan bahwa sinyal TMDS tidak mengandung komponen DC apa pun. Sinyal video juga mencakup interval pengosongan horizontal dan vertikal. HDMI mendukung format RGB 4:4:4, YcbCr 4:4:4, YcbCr 4:2:2, dan YcbCr 4:2:0 dengan ruang warna yang menyediakan resolusi hingga 24, 30, 36, dan 48 bit. Data dan audio ditransmisikan dalam interval pengosongan, yaitu sinyal audio disematkan dalam sinyal video dan ditransmisikan sebagai Pulau Data.

Tujuan awal menggunakan tiga pasang kabel di antarmuka HDMI plus satu untuk jam TMDS adalah untuk memungkinkan transfer tepat tiga komponen sinyal video, yaitu

- R G B
- Y C_B C_R

pada resolusi awal 8 bit. Payload 8-bit kemudian menjadi sasaran pengkodean 8b/10b, menghasilkan kode 10-bit. Nilai 10-bit yang muncul pada masing-masing dari tiga jalur TMDS merupakan sinyal TMDS. Awalnya, jalur TMDS 0 ditetapkan ke R, TMDS 1 ke G, dan TMDS 2 ke R untuk sinyal RGB 4:4:4. Sementara itu, sejumlah sinyal video

dengan resolusi lebih tinggi telah ditentukan, sehingga penetapan jalur umum ini tidak berlaku lagi.

Bus I²C, bahan pokok elektronik konsumen lama, adalah bus data serial dua arah yang terdiri dari data (SDA) dan jalur jam (SCL). Peran bus ini adalah untuk mengirimkan data DDC.

Data DDC (Display Data Channel), disimpan dalam memori perangkat yang disebut E-EDID (Enhanced Extended Display Identification Data), mewakili kemampuan fisik perangkat dan dipertukarkan saat koneksi.

Channel HEC (HDMI Ethernet Channel) atau HEAC (HDMI Ethernet and Audio Channel) terdiri dari dua pasangan kabel berpelindung (HEC Data- dan HEC Data+) yang digunakan untuk mengirimkan data Ethernet, dan, yang terpenting, ARC (Audio Return Channel).

Tegangan suplai (5 V, maks. 55 mA) dapat digunakan untuk amplifier channel listrik, qualizer jika diperlukan.

Secara opsional, perangkat, biasanya TV layar datar, dapat menggunakan jalur CEC dari kabel HDMI untuk mengontrol perangkat yang terhubung dari jarak jauh.

Tabel 10.6. Format video biasa pada HDMI, parameter teknis

Video Identification Code (VIC) / Kode Identifikasi Video	Resolusi, Tingkat refresh	Jam Piksel (<i>Pixel Clock</i>)
1	640x480p (VGA), 59.94/60 Hz	25,175 MHz
2, 3	720x480p, 59.94/60 Hz	27,000 MHz
17, 18	720x576p, 50 Hz	27,000 MHz
6, 7	720 (1440)x480i, 59.94/60 Hz	27,000 MHz
21, 22	720 (1440)x576i, 50 Hz	27,000 MHz
4	1280x720p, 59.94/60 Hz	74,250 MHz
19	1280x720p, 50 Hz	74,250 MHz
5	1920x1080i, 59.94/60 Hz	74,250 MHz
20	1920x1080i, 50 Hz	74,250 MHz
16	1920x1080p, 59.94/60 Hz	148,500 MHz
31	1920x1080p, 50 Hz	148,500 MHz
34	1920x1080i, 29.97/30 Hz	74,250 MHz
101	4096x2160p, 50 Hz	594,000 MHz
102	4096x2160p, 59.94 Hz	594,000 MHz

Contoh perhitungan di bawah ini menjelaskan cara menentukan kecepatan data HDMI dan jam piksel dari format video. Perhatikan bahwa data pada jalur TMDS selalu dikodekan 8b/10b, yaitu setiap simbol ditransmisikan sebagai 10 bit, tetapi muatan sebenarnya hanya 8 bit/simbol. Dua bit tambahan dikodekan secara khusus (untuk output bebas DC).

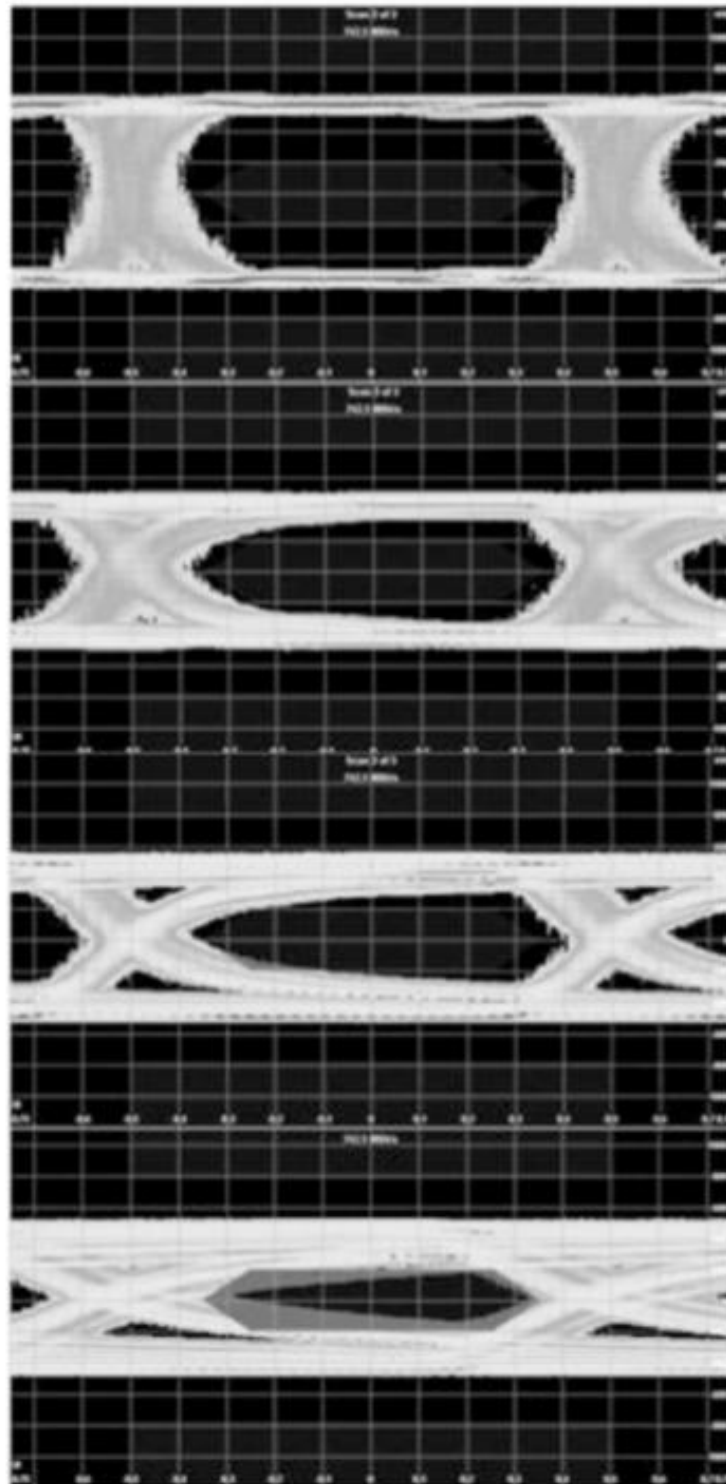
10.9. Teknologi Pengukuran HDMI

Antarmuka produk konsumen AV perlu diuji, termasuk antarmuka HDMI, baik output maupun input. Perangkat untuk analisis protokol HDMI dan analisis domain waktu fisik ("pola mata") tersedia secara komersial (lihat Rohde&Schwarz VTC, VTE, VTX).

Gambar 10.18 menunjukkan pola mata sinyal TMDS pada antarmuka HDMI untuk panjang kabel yang berbeda. Mata menjadi lebih kecil dengan bertambahnya panjang kabel. Gambar 10.19 menunjukkan nilai parameter yang diukur pada antarmuka HDMI untuk sinyal SDTV, HDTV, dan UHDTV.

10.10. HDMI – Ringkasan dan Pandangan

Antarmuka HDMI menghubungkan perangkat audiovisual yang dibuat sesuai dengan standar SDTV atau HDTV atau standar UHDTV baru. Perangkat menggunakan antarmuka HDMI untuk bertukar konten video dan audio, dan untuk mengontrol unit lain. Sudah dalam kisaran Gigahertz, bandwidth dan kecepatan data kabel HDMI akan terus bertambah. Panjang kabel dan kualitas kabel merupakan faktor pembatas signifikan yang membatasi koneksi hingga sekitar 3-5 m, meskipun standar HDMI menyediakan panjang kabel hingga 15 m. Meskipun kabel HDMI dengan panjang 10 m dan bahkan lebih panjang tersedia secara komersial, kegunaannya sangat bergantung pada kualitas kabel, serta kualitas antarmuka input dan output perangkat yang akan dihubungkan.



Gambar 10.18. Analisis domain waktu menggunakan Video Test Center (VTC) dari Rohde & Schwarz; pola mata sinyal TMDS untuk berbagai panjang kabel (0 m, 3 m, 10 m)

Tidak disarankan menggunakan panjang kabel yang berlebihan, sebagaimana dibuktikan dengan jelas oleh pengalaman praktis dengan laptop dan berbagai proyektor yang terhubung di berbagai lingkungan seminar. Metode yang disarankan untuk menjembatani jarak yang lebih jauh adalah dengan mengkonversi mis. untuk sinyal optik dan kembali, atau menggunakan sistem distribusi berdasarkan kabel CAT6. Namun, beberapa perangkat kontemporer dengan antarmuka HDMI sudah tersedia dengan equalizer kabel HDMI untuk mengkompensasi kehilangan kabel.

Video Code	Pixel Clock	TMDS Char Clk	Input	Standard
720 (1440) x 576i @ 50Hz (22)	27.000MHz	27.000MHz	HDMI [L1]	HDMI 2.0
Video Code (derived from AVI InfoFrame)				
720 (1440) x 576i @ 50Hz (22)				
Pixel Clock	27.000 000MHz	Vertical Frequency		50.000Hz
Video Format	Interlaced	Horizontal Frequency		15.625kHz
Horizontal Video Parameters		Vertical Video Parameters		
H Total Pixels	1 728	V Total Lines		625
H Active Pixels	1 440	V Active Lines		576
H Front Porch Pixels	24	V Front Porch Lines		2
H Sync Pixels	126	V Sync Lines		3
H Back Porch Pixels	138	V Back Porch Lines		19
H Sync Polarity	Negative	V Sync Polarity		Negative
Video Code	Pixel Clock	TMDS Char Clk	Input	Standard
1280 x 720p @ 50Hz (19)	74.250MHz	74.250MHz	HDMI [L1]	HDMI 2.0
Video Code (derived from AVI InfoFrame)				
1280 x 720p @ 50Hz (19)				
Pixel Clock	74.250 000MHz	Vertical Frequency		50.000Hz
Video Format	Progressive	Horizontal Frequency		37.500kHz
Horizontal Video Parameters		Vertical Video Parameters		
H Total Pixels	1 980	V Total Lines		750
H Active Pixels	1 280	V Active Lines		720
H Front Porch Pixels	440	V Front Porch Lines		5
H Sync Pixels	40	V Sync Lines		5
H Back Porch Pixels	220	V Back Porch Lines		20
H Sync Polarity	Positive	V Sync Polarity		Positive
Video Code	Pixel Clock	TMDS Char Clk	Input	Standard
1920 x 1080i @ 50Hz (20)	74.250MHz	74.250MHz	HDMI [L1]	HDMI 2.0
Video Code (derived from AVI InfoFrame)				
1920 x 1080i @ 50Hz (20)				
Pixel Clock	74.250 000MHz	Vertical Frequency		50.000Hz
Video Format	Interlaced	Horizontal Frequency		28.125kHz
Horizontal Video Parameters		Vertical Video Parameters		
H Total Pixels	2 640	V Total Lines		1 125
H Active Pixels	1 920	V Active Lines		1 080
H Front Porch Pixels	528	V Front Porch Lines		2
H Sync Pixels	44	V Sync Lines		5
H Back Porch Pixels	148	V Back Porch Lines		15
H Sync Polarity	Positive	V Sync Polarity		Positive
Video Code	Pixel Clock	TMDS Char Clk	Input	Standard
3840 x 2160 @ 50Hz (96)	594.000MHz	297.000MHz	HDMI [L1]	HDMI 2.0
Video Code (derived from AVI InfoFrame)				
3840 x 2160 @ 50Hz (96)				
Pixel Clock	594.000 000MHz	Vertical Frequency		50.000Hz
Video Format	Progressive	Horizontal Frequency		112.500kHz
Horizontal Video Parameters		Vertical Video Parameters		
H Total Pixels	2 640	V Total Lines		2 250
H Active Pixels	1 920	V Active Lines		2 160
H Front Porch Pixels	528	V Front Porch Lines		8
H Sync Pixels	44	V Sync Lines		10
H Back Porch Pixels	148	V Back Porch Lines		72
H Sync Polarity	Positive	V Sync Polarity		Positive

Gambar 10.19. Parameter video HDMI dari format video penyiaran arus utama (SDTV 720x576i, HDTV 720p, HDTV 1080i, dan UHD-1 3840x2150p50), diukur dengan Video Test Center (VTC) Rohde & Schwarz

BAB 11

PENGUKURAN PADA MPEG-2 TRANSPORT STREAM

Dengan diperkenalkannya televisi digital, baik harapan pengguna maupun ketakutan pembuat alat uji tidak terkonfirmasi: masih ada kebutuhan besar akan alat uji untuk televisi digital, tetapi dari jenis yang berbeda. Di mana itu terutama penganalisis video untuk mengevaluasi jalur uji sinyal pita dasar analog di televisi analog, terutama dekoder uji MPEG dan penganalisis Transport stream MPEG yang digunakan di TV digital. Setiap output pusat multipleks atau dengan kata lain output “headend siaran” (lihat juga bab 45 “Studio, Playout, Headend, ...”) perlu diperiksa dan dipantau. Terkadang operator juga menyediakan pemantauan Transport stream pada input stasiun pemancar.

Antarmuka input dekoder uji MPEG-2 atau penganalisis Transport stream MPEG adalah konektor serial TS-ASI BNC (75 Ohm, 800mVPP) atau antarmuka IP (RJ45), atau keduanya pada saat yang bersamaan. Antarmuka sebelumnya juga merupakan konektor Sub-D 25-pin paralel.

Penganalisis MPEG terdiri dari blok sirkuit penting dari dekoder MPEG, penganalisis MPEG - biasanya prosesor sinyal - dan komputer kontrol yang memperoleh semua hasil, menampilkannya di layar dan melakukan serta mengelola semua operasi operasi dan kontrol. Dekoder uji mampu mendekode semua sinyal video dan audio yang terkandung dalam Transport stream dan melakukan berbagai analisis dan pengukuran pada struktur data. Analisis Transport stream MPEG-2 adalah jenis khusus dari analisis logika.

Grup Pengukuran dalam Proyek DVB telah menetapkan banyak pengukuran pada aliran transpor MPEG-2 dalam Pedoman Pengukurannya ETR 290. Pengukuran ini akan dijelaskan secara lebih rinci dalam bab-bab berikut. Menurut ETR 290, kesalahan yang akan dideteksi melalui pengukuran ini dikelompokkan menjadi tiga tingkat prioritas: Prioritas 1, 2, 3.

MPEG-2 transport stream errors:

- Prioritas 1 - tidak ada dekodabilitas
- Prioritas 2 - sebagian tanpa dekodabilitas
- Prioritas 3 - kesalahan dalam informasi tambahan/SI

Jika ada kesalahan Prioritas 1, seringkali tidak ada kesempatan untuk mengunci Transport stream atau bahkan untuk memecahkan kode program. Prioritas 2, sebaliknya, berarti bahwa sebagian tidak ada kemungkinan untuk mereproduksi program tanpa kesalahan. Kehadiran kesalahan kategori 3, di sisi lain, hanya menunjukkan kesalahan dalam penyiaran informasi layanan DVB. Efeknya kemudian tergantung pada bagaimana set-top box yang digunakan bereaksi.

Terlepas dari kesalahan kategori 3, semua pengukuran juga dapat diterapkan dengan standar ATSC Amerika di mana analisis yang sebanding dapat dilakukan pada tabel PSIP.

Pengukuran berikut pada MPEG-2 transport stream didefinisikan dalam Pedoman Pengukuran DVB ETR 290:

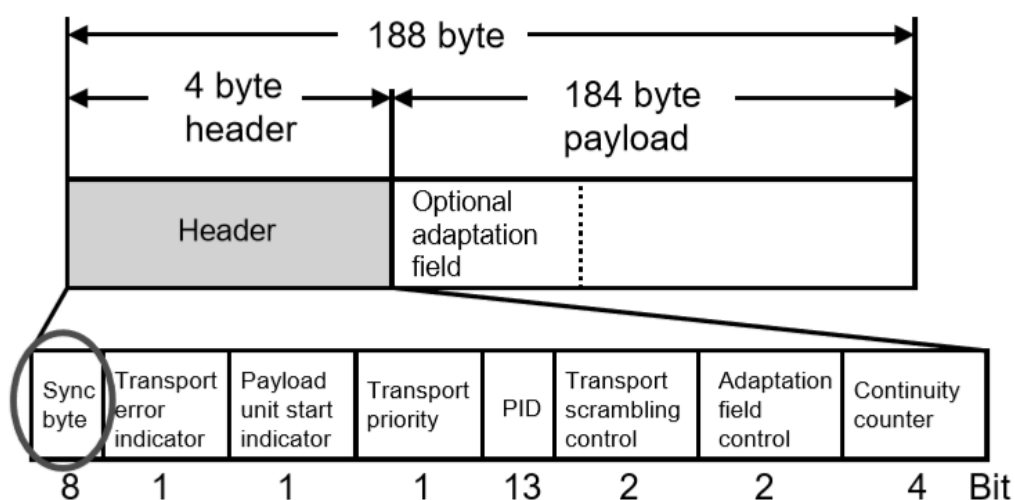
11.1. Hilangnya Sinkronisasi (TS_sync_loss)

MPEG-2 transport stream terdiri dari paket data sepanjang 188 byte yang terdiri dari 4 byte header dan 184 byte payload. Byte pertama dari header adalah byte sinkronisasi atau sinkronisasi yang selalu memiliki nilai 0x47 dan terjadi pada interval konstan 188 byte. Dalam kasus khusus, jarak 204 atau 208 byte juga dimungkinkan, yaitu ketika bingkai data dengan perlindungan kesalahan Reed Solomon menurut DVB atau ATSC

serupa. Tambahan 16 atau 20 byte kemudian dummy byte dan dapat diabaikan begitu saja. Bagaimanapun, tidak ada informasi berguna yang ada karena bukan koder dan dekoder Reed Solomon yang mewakili elemen pertama atau, berturut-turut, terakhir dari tautan transmisi tetapi unit penyebaran energi, dan dengan demikian setiap byte perlindungan kesalahan Reed Solomon yang ada akan tidak cocok dengan paket Transport stream yang sebenarnya. Menurut DVB, sinkronisasi dicapai setelah 5 byte sinkronisasi berturut-turut diterima pada interval yang benar dan dengan konten yang benar. Ketika 3 byte sinkronisasi berturut-turut atau paket Transport stream telah hilang, dekoder MPEG-2 atau perangkat transmisi yang sesuai akan kembali terkunci.

Measurement	Priority
TS_sync_loss	1
Sync_byte_error	1
PAT_error	1
PMT_error	1
Continuity_count_error	1
PID_error	1
Transport_error	2
CRC_error	2
PCR_error	2
PCR_accuracy_error	2
PTS_error	2
CAT_error	2
SI_repetition_error	3
NIT_error	3
SDT_error	3
EIT_error	3
RST_error	3
TDT_error	3
Undefined PID	3

Tabel 11.1. Pengukuran MPEG ke ETR290/TR101290



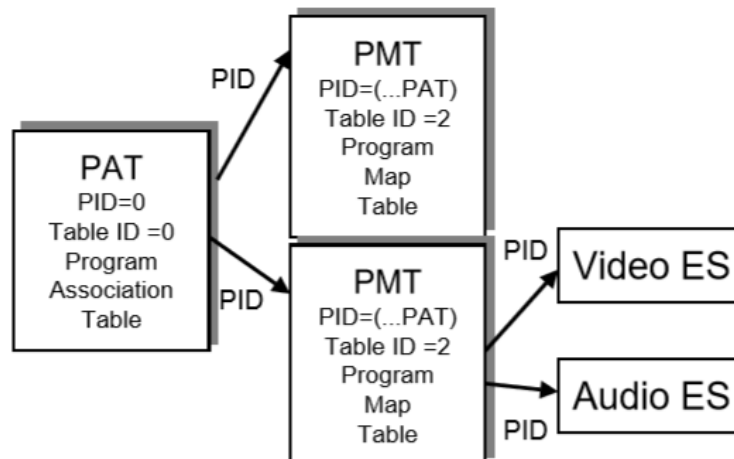
Gambar 11.1. TS_sync_loss

Keadaan hilangnya sinkronisasi Transport stream, yang dapat terjadi baik karena gangguan parah atau hanya karena putusnya channel, disebut “TS_sync_loss” (Gbr. 11.1.).

“TS_sync_loss” terjadi ketika :

- konten byte sinkronisasi dari setidaknya 3 paket Transport stream yang berhasil tidak sama dengan 0x47

Kondisi sinkronisasi (akuisisi kunci, kehilangan kunci) dapat disesuaikan dalam dekoder uji.



Gambar 11.2. Kesalahan PAT dan PMT

11.2. Kesalahan Sinkronisasi Byte (sync_byte_error)

Seperti yang dijelaskan dalam bab sebelumnya, status sinkronisasi dengan Transport stream dianggap sebagai penerimaan setidaknya 5 byte sinkronisasi yang benar. Hilangnya sinkronisasi terjadi setelah hilangnya 3 byte sinkronisasi yang diterima dengan benar. Namun, byte sinkronisasi yang salah dapat terjadi sesekali di sana-sini dalam Transport stream karena masalah pada tautan transmisi. Keadaan ini, yang biasanya disebabkan oleh terlalu banyak kesalahan bit, disebut “sync_byte_error” (Gbr. 11.2.). "sync_byte_error" terjadi ketika

- konten byte sinkronisasi di header Transport stream tidak sama dengan 0x47.

11.3. Tabel Asosiasi Program/Program Association Table (PAT) Hilang atau Error (PAT_error)

Struktur program, yaitu komposisi MPEG-2 transport stream adalah variabel atau, dengan kata lain, terbuka. Untuk alasan ini, daftar untuk menggambarkan komposisi Transport stream saat ini ditransmisikan dalam paket TS khusus dalam Transport stream. Yang paling penting adalah Tabel Asosiasi Program (PAT) yang selalu ditransmisikan dalam paket Transport stream dengan PID=0 dan ID Tabel=0. Jika tabel ini hilang atau salah, identifikasi, dan dengan demikian decoding, program menjadi tidak mungkin. Di PAD, PID dari semua Tabel Peta Program (PMT) dari semua program ditransmisikan. PAT berisi informasi penunjuk ke banyak PMT. Penerima TV akan menemukan semua informasi dasar yang diperlukan di PAT.

Ts. Penerima TV akan menemukan semua informasi dasar yang diperlukan di PAT. Sebuah PAT yang hilang, ditransmisikan secara acak, salah atau tidak cukup sering

ditransmisikan akan menyebabkan pesan kesalahan "PAT error". PAT harus ditransmisikan bebas dari kesalahan dan tidak diacak setiap maksimum 500 ms.

Kesalahan PAT terjadi ketika:

- PATnya hilang
- tingkat pengulangan lebih besar dari 500 ms
- PAT diacak
- ID tabel bukan nol

Rincian dalam PAT tidak diperiksa pada saat itu.

11.4. Tabel Peta Program/*Program Map Table (PMT) Hilang atau Error (PMT_error)*

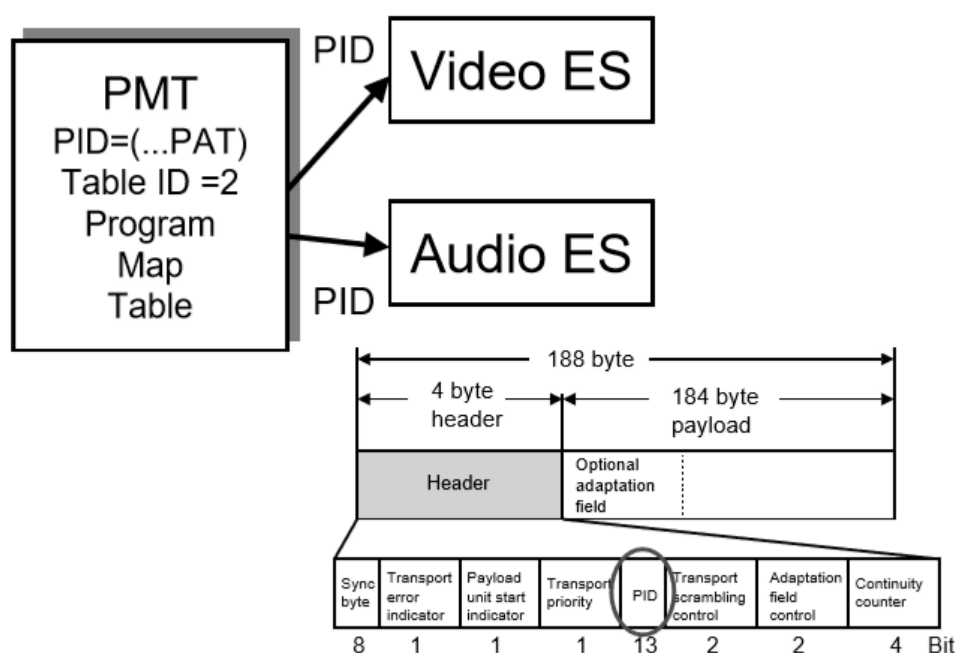
Untuk setiap program, Tabel Peta Program (PMT) ditransmisikan pada interval maksimum 500 ms. PID dari MAP terdaftar di PAT. PMT berisi PID masing-masing dari semua aliran dasar yang termasuk dalam program ini. Jika PMT yang dirujuk dalam PAT hilang, tidak ada cara bagi penerima TV atau dekoder untuk menemukan aliran dasar dan mendemultipleks dan mendekodekannya. PMT yang terdaftar di PAT dan hilang, salah atau diacak akan menyebabkan pesan kesalahan "PMT_error".

Sebuah "kesalahan PMT" terjadi ketika:

- PMT yang tercantum dalam PAT tidak ada
- bagian dari PMT tidak diulang setelah 500 ms paling lambat
- sebuah PMT diacak
- ID tabel bukan 2

Detail di PMT tidak dicentang.

Seperti tabel lainnya, PMT juga dapat dibagi menjadi beberapa bagian. Setiap bagian dimulai dengan table_ID=2 dan dengan PID, yang ditentukan dalam PAT, antara 0x0010 dan 0x1FFE menurut MPEG-2 dan antara 0x0020 dan 0x1FFE menurut DVB. PID 0x1FFF ditujukan untuk paket nol.



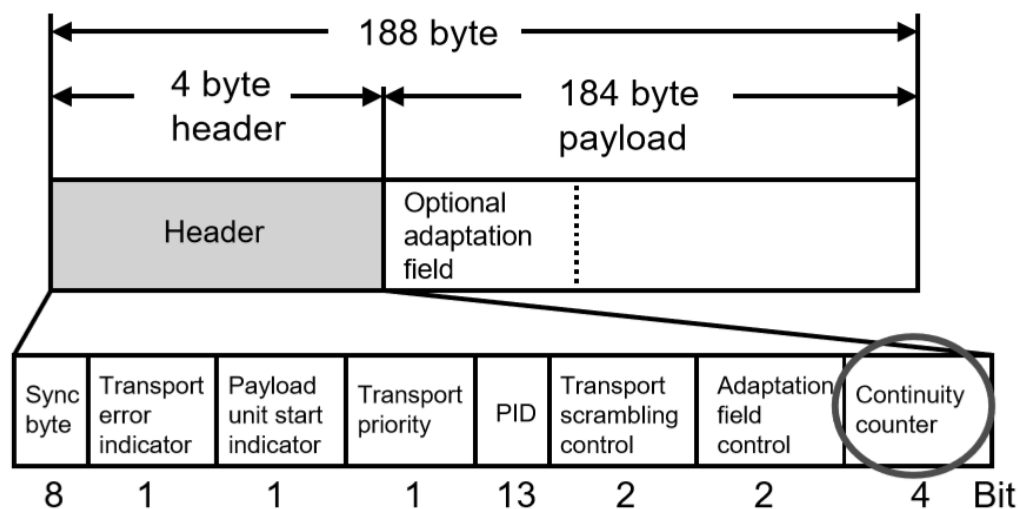
Gambar 11.3. PID_Error

11.5. PID_Error

PID dari semua aliran dasar dari suatu program terdapat dalam tabel peta program terkait (PMT). PID adalah pointer ke aliran dasar: mereka digunakan untuk akses yang dialamatkan ke paket yang sesuai dari aliran dasar yang akan didekodekan. Jika PID terdaftar di beberapa PMT tetapi ini tidak terkandung dalam paket apa pun dalam Transport stream, tidak ada cara bagi dekoder MPEG untuk mengakses aliran dasar yang sesuai karena ini sekarang tidak terkandung dalam Transport stream atau telah digandakan dengan informasi PID yang salah. Inilah yang bisa disebut sebagai "PID_error klasik". Batas waktu untuk tingkat pengulangan yang diharapkan dari paket-paket transport yang memiliki PID tertentu harus diatur dalam ketergantungan pada aplikasi selama pengukuran. Ini biasanya dalam urutan besarnya setengah detik tetapi merupakan kuantitas yang dapat ditentukan pengguna, dalam hal apa pun.

Sebuah "PID_error" (Gbr. 11.3.) terjadi ketika

- paket Transport stream dengan PID yang dirujuk dalam PMT tidak terkandung dalam Transport stream atau
- jika tingkat pengulangannya melebihi batas yang dapat ditentukan pengguna yang biasanya dalam urutan besarnya 500 ms.



Gambar 11.4. Continuity_count_error

11.6. Continuity_Count_Error

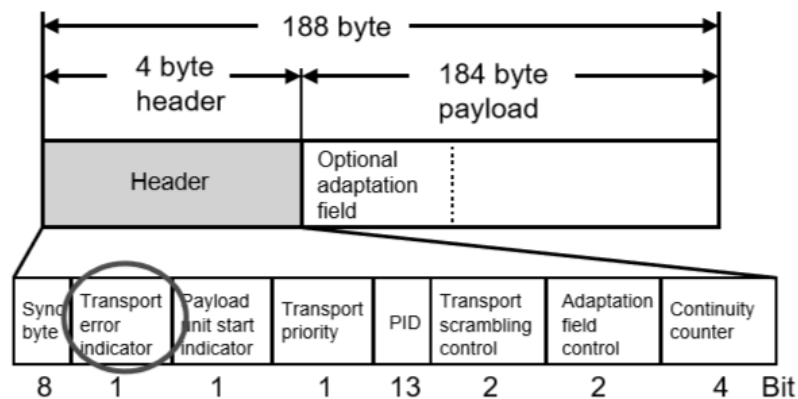
Setiap paket MPEG-2 transport stream berisi header 4-byte-panjang penghitung 4-bit yang terus-menerus menghitung dari 0 hingga 15 dan kemudian mulai dari nol lagi setelah overflow (penghitung modulo 16). Namun, setiap paket Transport stream dari setiap PID memiliki pencacah kontinuitasnya sendiri, yaitu paket dengan PID=100, misalnya, memiliki pencacah yang berbeda, seperti halnya paket dengan PID=200. Tujuan dari pencacah ini untuk memungkinkan seseorang mengenali paket Transport stream yang hilang atau berulang dari PID yang sama untuk menarik perhatian pada masalah multiplexser.

Masalah tersebut juga dapat muncul sebagai akibat dari kesalahan remultiplexing atau secara sporadis karena kesalahan bit pada link transmisi. Meskipun MPEG-2 memungkinkan diskontinuitas dalam Transport stream, mereka harus ditunjukkan di bidang adaptasi, mis. setelah peralihan (indikator diskontinuitas=1). Dalam kasus paket

nol (PID=0x1FF), di sisi lain, diskontinuitas diperbolehkan dan oleh karena itu tidak dicentang. Sebuah continuous_error (Gbr. 11.4.) terjadi ketika antara lain :

- paket TS yang sama ditransmisikan dua kali tanpa menunjukkan diskontinuitas,
- jika sebuah paket hilang (hitungan bertambah 2) tanpa menunjukkan diskontinuitas,
- urutan paket benar-benar salah.

Catatan: Cara dekoder MPEG bereaksi terhadap kesalahan penghitung kontinuitas ketika urutan paket sebenarnya benar tergantung pada dekoder dan chip dekoder yang digunakan di dalamnya.



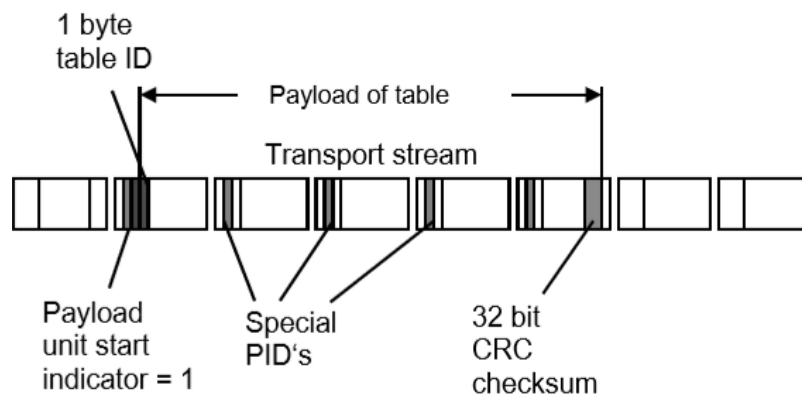
Gambar 11.5. Transport_error

11.7. Transport_Error (Prioritas 2)

Setiap paket Transport stream MPEG-2 berisi bit yang disebut Indikator Kesalahan Transportasi yang mengikuti langsung setelah byte sinkronisasi. Bit ini menandai setiap paket Transport stream yang salah di sisi penerima. Selama transmisi, kesalahan bit dapat terjadi karena berbagai jenis pengaruh. Jika perlindungan kesalahan (setidaknya Reed Solomon di DVB dan ATSC) tidak lagi dapat memperbaiki semua kesalahan dalam sebuah paket, bit ini disetel. Paket ini tidak dapat lagi digunakan oleh decoder MPEG dan harus dibuang.

Transport_error (Gbr. 11.5.) terjadi ketika

- bit indikator kesalahan transportasi di header TS diatur ke 1.



Gambar 11.6. CRC_error

11.8. Cyclic Redundancy Check Error (CRC_Error)

Selama transmisi, semua tabel dalam MPEG-2 transport stream, apakah tabel PSI atau tabel pribadi lainnya menurut DVB (tabel SI) atau menurut ATSC (tabel PSIP), dilindungi oleh checksum CRC. Panjangnya 32 bit dan ditransmisikan pada akhir setiap sektor. Setiap sektor, yang dapat terdiri dari banyak paket Transport stream, dengan demikian juga dilindungi. Kesalahan CRC telah terjadi jika checksum ini tidak cocok dengan konten bagian sebenarnya dari tabel masing-masing. Dekoder MPEG kemudian harus membuang isi tabel ini dan menunggu bagian ini diulang. Penyebab kesalahan CRC dalam banyak kasus gangguan pada link transmisi. Jika set top box atau decoder mengevaluasi bagian tabel yang salah seperti itu, itu bisa menjadi "bingung".

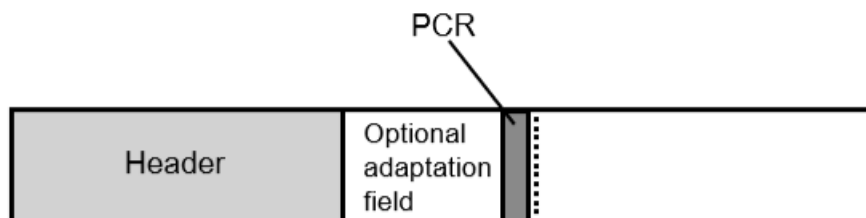
CRC_error (Gbr. 11.6.) terjadi ketika

- tabel (PAT, PMT, CAT, NIT,...) di bagian memiliki checksum yang salah yang tidak cocok dengan isinya.

11.9. Program Clock Reference Error (PCR_Error, PCR_Accuracy)

Semua proses pengkodean pada ujung enkoder MPEG berasal dari referensi clock 27 MHz. Osilator clock 27 MHz ini digabungkan ke pencacah sepanjang 42 bit yang menyediakan *System Time Clock (STC)*. Untuk setiap program, jam waktu sistem (STC) terpisah digunakan. Untuk dapat menghubungkan dekoder MPEG ke jam ini, salinan waktu sistem program saat ini ditransmisikan setiap 40 ms per program di bidang adaptasi. PMT dari masing-masing program membawa informasi tentang paket TS di mana waktu jam ini dapat ditemukan.

Nilai referensi STC disebut *Program Clock Reference (PCR)*. Mereka tidak lain adalah salinan 42 bit dari penghitung 42 bit. Dekoder MPEG2 menautkan dirinya ke nilai PCR ini melalui PLL dan memperoleh jam sistemnya sendiri dari nilai tersebut.



Gambar 11.7. nilai PCR

Jika tingkat pengulangan nilai PCR terlalu lambat, mungkin karena PLL penerima memiliki masalah dalam menguncinya. MPEG-2 menetapkan bahwa interval maksimum antara dua nilai PCR tidak boleh melebihi periode 40 ms. Menurut Pedoman Pengukuran DVB, PCR_error telah terjadi jika waktu ini terlampaui.

Waktu nilai PCR terhadap satu sama lain juga harus relatif akurat, yaitu tidak boleh ada jitter. Jitter dapat terjadi, misalnya, jika nilai PCR tidak dikoreksi, atau dikoreksi secara tidak akurat, selama remultiplexing.

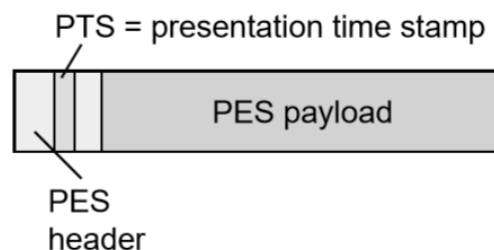
Jika jitter PCR melebihi 500 ns, PCR_accuracy_error telah terjadi. Jitter PCR sering meluas ke kisaran 30 s yang dapat ditangani oleh banyak set top box, tetapi tidak oleh semua. Indikasi pertama bahwa jitter PCR terlalu besar adalah gambar hitam/putih bukan gambar berwarna. Efek sebenarnya, bagaimanapun, tergantung pada bagaimana set top box dihubungkan ke penerima TV. Koneksi RGB (misalnya melalui kabel SCART A/V) tentu saja kurang penting dibandingkan koneksi kabel video komposit.

PCR_error terjadi ketika:

- perbedaan antara dua nilai PCR berturut-turut dari suatu program lebih besar dari 100 ms dan tidak ada diskontinuitas yang ditunjukkan di bidang adaptasi
- interval waktu antara dua paket dengan nilai PCR dari suatu program lebih dari 40 ms PCR_accuracy_error terjadi ketika:
- penyimpangan antara nilai PCR lebih besar dari 500 ns (PCR jitter)

11.10. Presentation Time Stamp Error (PTS_Error)

Presentation Time Stamps (PTS) yang ditransmisikan dalam header PES berisi item informasi waktu 33 bit tentang waktu presentasi yang tepat. Nilai-nilai ini ditransmisikan baik dalam aliran video dasar dan dalam aliran audio dasar dan digunakan, mis. untuk sinkronisasi bibir antara video dan audio. Nilai PTS diturunkan dari *system time clock (STC)* yang memiliki lebar total 42 bit tetapi hanya 33 MSB yang digunakan dalam kasus ini. Jarak antara dua nilai PTS tidak boleh lebih besar dari 700 ms untuk menghindari kesalahan PTS.



Gambar 11.8. Nilai PTS di header PES

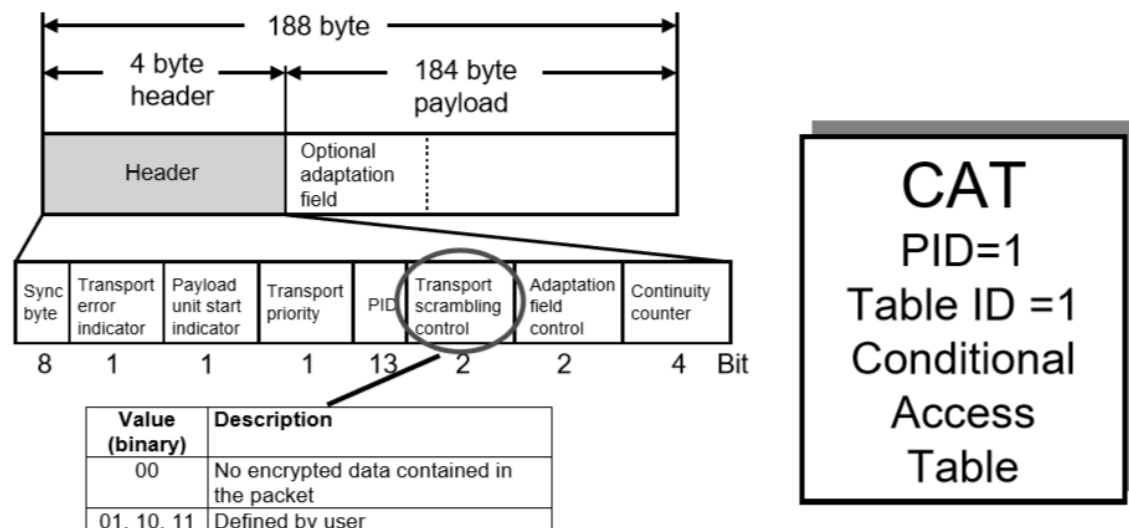
Sebuah PTS_error terjadi ketika:

- jarak antara dua nilai PTS dari suatu program lebih besar dari 700 ms

Meskipun kesalahan PTS nyata jarang terjadi, kurangnya sinkronisasi bibir antara video dan audio cukup sering terjadi. Dalam praktiknya, penyebab hal ini sulit untuk dideteksi dan diidentifikasi selama siaran dan dapat disebabkan oleh chip MPEG yang lebih lama dan dekoder MPEG yang rusak. Pengukuran langsung sinkronisasi bibir akan menjadi parameter uji yang penting.

11.11. Conditional Access Table Error(CAT_Error)

Paket MPEG-2 transport stream dapat berisi data yang diacak tetapi hanya bagian muatan yang harus diacak dan tidak pernah header atau bidang adaptasi. Bagian payload yang diacak ditandai oleh dua bit khusus di header TS, bit Transport Scrambling Control. Jika kedua bit diset ke nol, tidak ada pengacakan. Jika salah satu dari keduanya tidak nol, bagian payload diacak dan Tabel Akses Bersyarat (CAT) diperlukan untuk menguraikannya. Jika ini hilang atau jarang ada, CAT_error terjadi. CAT memiliki 1 sebagai PID dan juga 1 sebagai ID tabel. Terlepas dari EIT dalam hal transmisi panduan program, semua tabel DVB harus diacak.



Gambar 11.9. CAT_error

CAT_error (Gbr. 11.9.) terjadi ketika:

- paket TS yang diacak telah ditemukan tetapi tidak ada CAT yang ditransmisikan
- CAT telah ditemukan melalui PID=1 tetapi ID tabel tidak sama dengan 1

11.12. Service Information Repetition Rate Error (SI_Repetition_Error)

Semua tabel MPEG dan DVB (PSI/SI) harus diulang secara teratur pada interval minimum dan maksimum. Tingkat pengulangan tergantung pada masing-masing jenis tabel.

Interval waktu minimum dari tingkat pengulangan tabel (tabel 11.2.) biasanya sekitar 25 ms dan maksimum adalah antara 500 ms dan 30 detik atau bahkan tak terhingga.

Tabel 11.2. Waktu pengulangan tabel PSI/SI

Informasi Pelayanan	Max. Interval (Tabel komplet)	Min. Interval (tunggu)
PAT	0.5 detik	25 ms
CAT	0.5 detik	26 ms
PMT	0.5 detik	27 ms
NIT	10 detik	28 ms
SDT	2 detik	29 ms
BAT	10 detik	30 ms
EIT	2 detik	31 ms
SRST	—	32 ms
TDT	30 detik	33 ms
TOT	30 detik	34 ms

SI_repetition_error terjadi ketika:

- interval waktu antara tabel SI terlalu besar
- interval waktu antara tabel SI terlalu kecil

Nilai batas tergantung pada tabel.

Karena tidak setiap Transport stream berisi semua jenis tabel, dekoder uji harus mampu mengaktifkan atau menonaktifkan nilai batas.

11.13. Memantau Tabel NIT, SDT, EIT, RST and TDT/TOT

Selain tabel PSI standar MPEG-2, Grup DVB telah menetapkan tabel NIT, SDT/BAT, EIT, RST dan TDT/TOT SI.

Grup Pengukuran DVB menyadari bahwa tabel ini perlu dipantau untuk keberadaan, tingkat pengulangan, dan identifikasi yang benar. Ini tidak termasuk memeriksa konsistensi, yaitu isi tabel. Tabel SI diidentifikasi melalui PID dan ID tabelnya. Ini karena ada beberapa tabel yang memiliki PID yang sama sehingga hanya dapat dikenali dari ID tabel (SDT/BAT dan TDT/TOT).

Tabel 11.3. tabel SI

Informasi Pelayanan	PDID [hex]	Table_id [hex]	Max. Interval [detik]
NIT	0X0010	0x40, 0x41, 0x42	10
SDT	0X0011	0x42, 0x46	2
BAT	0X0011	0x4A	10
EIT	0X0012	0x4E hingga 0x4F, 0x50 hingga 0x6F	2
RST	0X0013	0x71	–
TDT	0X0014	0x70	30
TOT	0X0014	0x73	30
ST	0X0010 hingga 0X0013	0x72	–

NIT_error, SDT_error, EIT_error, RST_error atau TDT_error terjadi ketika:

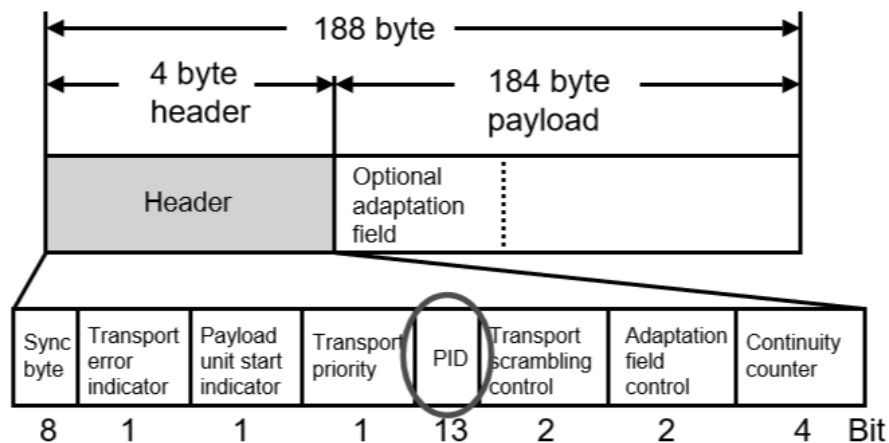
- paket yang sesuai terkandung dalam TS tetapi memiliki indeks tabel yang salah
- interval waktu antara dua bagian tabel SI ini terlalu besar atau terlalu kecil

11.14. PID tidak terdefinisi (Unreferenced_PID)

Semua PID yang terkandung dalam uap transportasi disampaikan ke dekoder MPEG melalui PAT dan PMT. Ada juga tabel PSI/SI. Namun, sangat mungkin bahwa aliran transport berisi paket TS yang PID-nya tidak ditunjukkan oleh mekanisme ini, yang disebut PID tidak direferensikan. Menurut DVB, PID yang tidak direferensikan dapat disimpan di sana hanya selama setengah detik selama perubahan program.

Sebuah unreferenced_PID (Gbr. 11.10.) terjadi ketika

- paket yang memiliki PID yang tidak diketahui terkandung dalam Transport stream dan tidak direferensikan dalam PMT setelah paling lambat setengah detik



Gambar 11.10. PID tidak direferensikan

11.15. Kesalahan dalam Pengiriman Informasi Layanan Tambahan

Terlepas dari informasi biasa, informasi layanan tambahan (SI_other_error) dapat dikirimkan untuk channel lain, menurut DVB. Ini adalah tabel NIT_other, SDT_other dan EIT_other.

Tabel SI_other dapat dikenali dari PID dan table_ID pada Tabel 10.4. juga mencantumkan batas waktu. SI_other_error terjadi ketika:

- interval waktu antara SI_tabel lain terlalu besar
- interval waktu antara SI_tabel lain terlalu kecil

Tabel 11.4. SI Lainnya

Informasi Pelayanan	Table_ID	Max. Interval (tabel lengkap)	Min. Interval (tunggal)
NIT_OTHER	0x41	10s	25ms
SDT_OTHER	0x46	2s	25ms
EIT_OTHER	0x4F, 0x60 hingga 0x6F	2s	25ms

Tabel yang salah NIT_other_error, SDT_other_error, EIT_other_error

Selain memantau 3 tabel SI_other secara keseluruhan, mereka juga dapat dipantau secara individual:

NIT_other_error, SDT_other_error, EIT_other_error terjadi ketika

- interval waktu antar bagian tabel ini terlalu besar.

11.16. Memantau Transport stream MPEG-2 yang Sesuai dengan ATSC

Menurut Pedoman Pengukuran DVB, pengukuran berikut dapat dibuat tidak berubah pada Transport stream MPEG-2 yang sesuai dengan ATSC:

- TS_sync_error
- Sync_byte_error
- PAT_error

- Continuity_count_error
- PMT_error □ PID_error
- Transport_error
- CRC_error
- PCR_error
- PCR_accuracy_error
- PTS_error
- CAT_error

Anda hanya perlu menyesuaikan semua pengukuran Prioritas 3 ke tabel PSIP.



Gambar 11.11. Penganalisis MPEG-2, Rohde&Schwarz, di sebelah kiri: DVM400, di sebelah kanan: DVM100



Gambar 11.12. Penganalisis MPEG keluarga DVMS, Rohde&Schwarz

Penganalisis MPEG modern (Gbr. 11.11., 11.12.) juga menawarkan lebih banyak fitur pengukuran seperti fungsi template, “Transport stream emas”, analisis buffer, pengukuran jitter PCR grafis, fungsi penerjemah tabel, analisis teletext, analisis EPG, dll. MPEG semacam itu penganalisis dapat memproses Transport stream sesuai dengan

- Konten sesuai DVB (PSI/SI)
- Konten sesuai ATSC (PSI/PSIP)
- ISDB-T BTS (ARIB) “arus transportasi siaran”
- T2-MI

Untuk penganalisis Transport stream MPEG, tidak masalah standar pengkodean video atau audio mana (MPEG-2/H.262, MPEG-4/AVC/H.264 atau HEVC/H.265, audio MPEG-1, AC-3 audio, audio MPEG-4) sedang digunakan. Analisis Transport stream MPEG selalu memungkinkan bahkan jika aliran dasar diacak.

BAB 12

ANALISIS KUALITAS GAMBAR PADA SINYAL TV DIGITAL

Kualitas gambar sinyal TV digital tunduk pada efek dan pengaruh yang sangat berbeda dari sinyal TV analog. Sedangkan efek noise pada sinyal TV analog memanifestasikan dirinya secara langsung sebagai 'salju' dalam gambar, mereka pada awalnya hanya menghasilkan peningkatan tingkat kesalahan bit channel di televisi digital. Karena perlindungan kesalahan yang disertakan dalam sinyal, bagaimanapun, sebagian besar kesalahan bit dapat diperbaiki hingga batas tertentu dan dengan demikian tidak terlihat dalam gambar atau suara. Jika jalur transmisi untuk televisi digital terlalu berisik, transmisi tiba-tiba rusak (efek 'dinding bata', juga disebut 'jatuhan tebing'). Distorsi linier atau nonlinier juga tidak memiliki efek langsung pada kualitas gambar dan suara di televisi digital, tetapi dalam kasus yang ekstrem, hal itu juga menyebabkan gangguan transmisi total. TV digital tidak memerlukan jalur VITS (sinyal uji penyisipan vertikal) untuk mendeteksi distorsi linier dan nonlinier atau garis tingkat hitam untuk mengukur noise, juga tidak disediakan di sana dan tidak akan menghasilkan hasil tes apa pun terkait tautan transmisi jika memang demikian. Namun demikian, kualitas gambar masih bisa baik, buruk atau biasa saja tetapi sekarang perlu diklasifikasikan secara berbeda dan dideteksi dengan cara yang berbeda. Ada dua sumber utama yang dapat mengganggu transmisi video dan yang dapat menyebabkan efek interferensi dari jenis yang sangat berbeda:

- encoder MPEG atau terkadang juga multiplexer
- link transmisi dari modulator ke penerima

Encoder MPEG-2 memiliki efek langsung pada kualitas gambar karena kompresi yang kurang lebih parah yang ditimbulkannya. Tautan transmisi menimbulkan efek interferensi yang menghasilkan kesalahan bit channel yang bermanifestasi sebagai efek pemblokiran area besar, sebagai area gambar atau bingkai beku atau sebagai kehilangan transmisi total. Jika kompresi encoder MPEG-2 terlalu besar, hal itu menyebabkan blok area gambar yang tidak tajam. Semua efek ini hanya disebut pemblokiran. Bagian ini menjelaskan bagaimana efek yang disebabkan oleh pengkodean video MPEG-2 diproduksi dan dianalisis.

Semua algoritma kompresi video bekerja dalam blok, yaitu gambar dalam banyak kasus awalnya dibagi menjadi blok 8 x 8 piksel. Masing-masing blok ini secara individual dikompresi ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil, terlepas dari blok lainnya. Dalam kasus MPEG-2, gambar juga dibagi menjadi 16 x 16 piksel yang disebut macroblocks yang membentuk dasar untuk pengkodean interframe. Jika kompresi berlebihan, batas blok menjadi terlihat dan terjadi pemblokiran. Ada diskontinuitas antara blok dalam sinyal luminance dan chrominance dan ini terlihat jelas. Dengan kompresi yang telah ditentukan, jumlah pemblokiran dalam gambar juga tergantung pada bahan gambar, antara lain. Beberapa gambar sumber dapat dikompresi tanpa masalah dan hampir tanpa kesalahan pada kecepatan data yang rendah sedangkan bahan lain menghasilkan efek pemblokiran yang kuat saat dikompresi. Sumber gambar bergerak sederhana untuk kompresi gambar bergerak, misalnya, adegan dengan sedikit gerakan dan sedikit detail. Kartun animasi, tetapi juga film seluloid klasik, dapat dikompresi tanpa kehilangan kualitas dengan masalah yang relatif sedikit. Alasannya, antara lain, tidak ada pergerakan antara bidang pertama dan kedua. Selain itu, struktur gambar dalam kartun animasi relatif kasar. Sumber yang paling penting adalah program olahraga, dan ini, pada gilirannya, tergantung pada jenis olahraga. Secara alami, program Formula 1 akan lebih sulit untuk dipadatkan tanpa gangguan daripada program yang melibatkan olahraga pemikir catur. Selain itu, kualitas gambar sebenarnya tergantung pada encoder MPEG-2 dan algoritme yang digunakan di sana. Dalam beberapa tahun terakhir, kualitas gambar jelas meningkat di departemen ini. Gambar 12.1. menunjukkan contoh pemblokiran.

Selain pemblokiran, gambar yang dikompresi secara berlebihan juga menunjukkan struktur DCT, yaitu gangguan berpola yang tiba-tiba terjadi pada gambar.

Faktor yang menentukan adalah selalu encoder MPEG-2 yang bertanggung jawab atas efek interferensi tersebut. Meskipun sulit untuk mengukur kualitas gambar yang baik atau buruk yang disebabkan oleh proses kompresi, itu bisa dilakukan. Tentu saja, kualitas gambar tidak akan pernah menjadi pengukuran 100% - selalu ada beberapa subjektivitas yang terlibat. Bahkan apa yang disebut penganalisis kualitas video objektif dikalibrasi oleh orang yang diuji menggunakan tes subjektif. Setidaknya, ini berlaku untuk penganalisis yang tidak menggunakan sinyal referensi untuk penilaian kualitas, tetapi dalam praktiknya, tidak ada sinyal referensi yang dapat dibandingkan dengan sinyal video terkompresi. Persyaratan bahwa mungkin untuk menggunakan sinyal referensi tidak realistis, setidaknya berkaitan dengan pengujian transmisi.

Dasar untuk semua penganalisa kualitas video di seluruh dunia - dan tidak banyak - adalah standar ITU-R BT.500. Standar ini menjelaskan metode untuk analisis kualitas video subjektif di mana sekelompok orang uji menganalisis urutan video untuk kualitas gambar mereka.



Gambar 12.1. Memblokir efek dengan kompresi berlebihan

12.1. Metode untuk Mengukur Kualitas Video

Video Quality Experts Group (VQEG) di ITU telah menetapkan metode untuk menilai kualitas gambar yang kemudian dimasukkan ke dalam standar ITU-R BT.500.

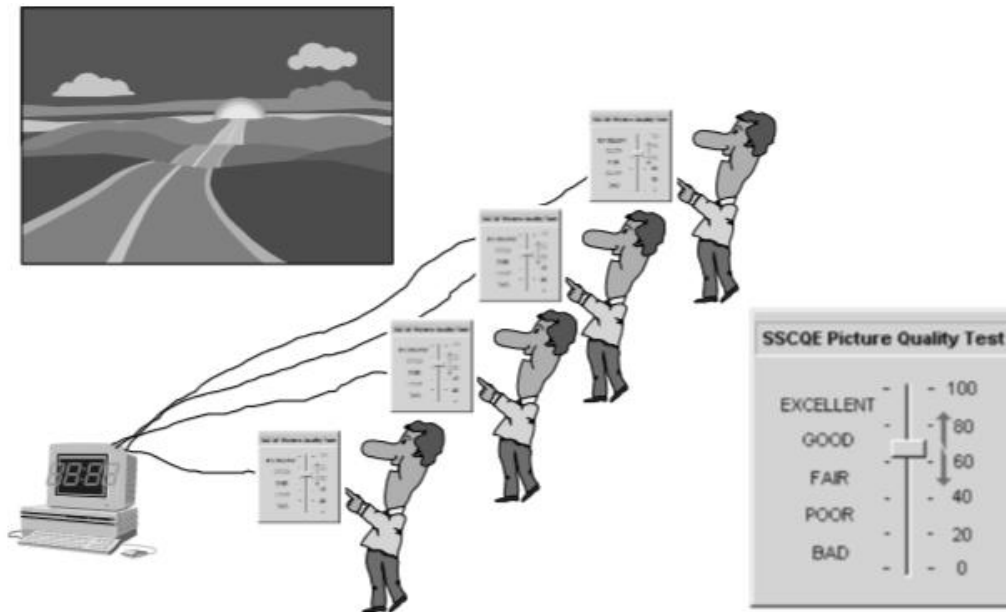
Pada prinsipnya, ini adalah dua metode subjektif untuk penilaian kualitas gambar oleh orang yang diuji, yaitu:

- metode DSCQS (*Double Stimulus Continual Quality Scale*)
- metode SSCQE (*Single Stimulus Continual Quality Evaluation*)

Kedua metode pada dasarnya berbeda hanya dalam satu metode menggunakan sinyal video referensi dan yang lain tidak memiliki sinyal referensi. Dasarnya selalu merupakan analisis kualitas gambar subjektif oleh sekelompok orang uji yang menilai urutan gambar sesuai dengan prosedur tertentu. Kemudian dicoba untuk mereproduksi metode subjektif ini melalui metode objektif dalam instrumen uji dengan melakukan analisis gambar pada makroblok dan menggunakan algoritma adaptasi.

12.2. Analisis Kualitas Gambar Subyektif

Dalam analisis kualitas gambar subyektif, sekelompok orang yang diuji menilai urutan gambar (SSCQE - Metode Skala Kualitas Berkelanjutan Stimulus Tunggal, Gbr. 12.2.) atau membandingkan urutan gambar setelah dikompresi dengan aslinya (DSCQS - Metode Skala Kualitas Berkelanjutan Stimulus Ganda) dan mengeluarkan tanda pada skala kualitas dari 0 (Buruk) hingga 100 (Sangat Baik) melalui kontrol geser. Posisi kontrol geser dideteksi oleh komputer yang terhubung dengannya yang secara terus menerus menentukan (misalnya setiap 0,5 detik) nilai rata-rata dari semua tanda yang dikeluarkan oleh orang yang diuji.



Gambar 12.2. Analisis Kualitas Gambar Subyektif

Urutan video kemudian akan memberikan nilai kualitas gambar versus waktu, yaitu profil kualitas dari urutan video.

a. Metode Skala Kualitas Berkelanjutan Stimulus Ganda DSCQS

Dalam metode Skala Kualitas Berkelanjutan Stimulus Ganda menurut ITU-R BT.500, sekelompok orang yang diuji membandingkan urutan video yang diedit atau diproses dengan urutan video aslinya. Hasil yang diperoleh adalah profil kualitas komparatif dari urutan video yang diedit atau diproses, yaitu nilai kualitas gambar dari 0 (Buruk) hingga 100 (Sangat Baik) terhadap waktu.

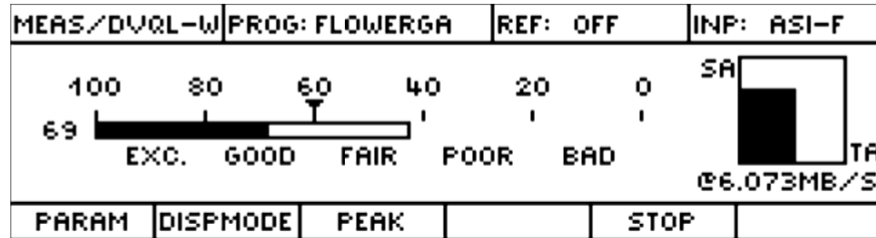
Metode DSCQS selalu membutuhkan sinyal referensi, di satu sisi, tetapi, di sisi lain, analisis objektif murni kemudian dapat dilakukan dengan sangat sederhana dengan membentuk perbedaan. Namun, dalam praktiknya, sinyal referensi seringkali tidak lagi tersedia. Pengukuran link transmisi tidak dapat dilakukan dengan menggunakan metode ini. Ada instrumen uji di pasar yang mereproduksi metode ini (Tektronix).

b. Metode Evaluasi Kualitas Berkelanjutan Stimulus Tunggal SSCQE

Karena metode Evaluasi Kualitas Berkelanjutan Stimulus Tunggal SSCQE sengaja membuang sinyal referensi, metode ini dapat digunakan lebih luas dalam praktik. Dalam metode ini, sekelompok orang yang diuji hanya menilai urutan video yang diproses dan mengeluarkan tanda dari 0 (Buruk) hingga 100 (Sangat Baik) yang juga memberikan profil kualitas video terhadap waktu.

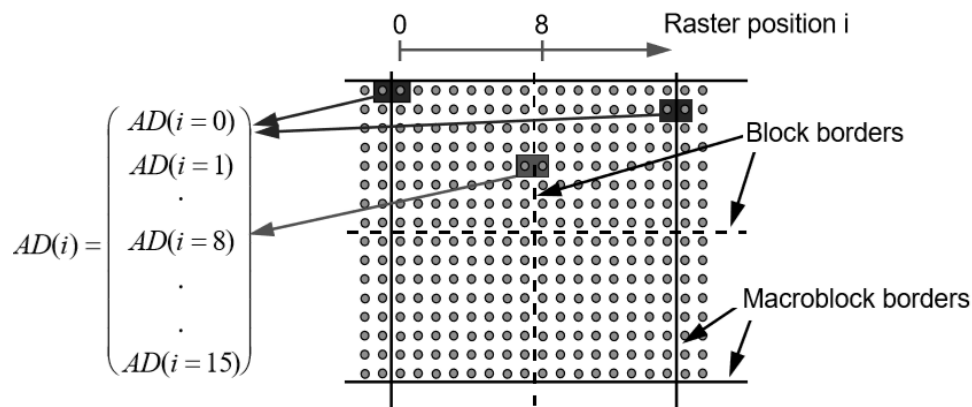
12.3. Analisis Kualitas Gambar Objektif

Pada bagian berikut, metode pengujian objektif untuk menilai analisis kualitas gambar sesuai dengan metode Evaluasi Skala Kualitas Berkelanjutan Stimulus Tunggal dijelaskan. Penganalisis gambar digital yang beroperasi sesuai dengan metode ini dapat disediakan oleh Gambar 12.3.



Gambar 12.3. Analisis kualitas gambar objektif menggunakan instrumen tes

Karena artefak terkait DCT dari sinyal video terkompresi selalu dikaitkan dengan pemblokiran, penganalisis gambar digital tipe SSCQE akan mencoba memverifikasi keberadaan pemblokiran ini dalam gambar. Untuk dapat melakukan ini, makroblok dan blok harus dianalisis secara rinci.



Gambar 12.4. Perbedaan piksel pada batas blok dan makroblok

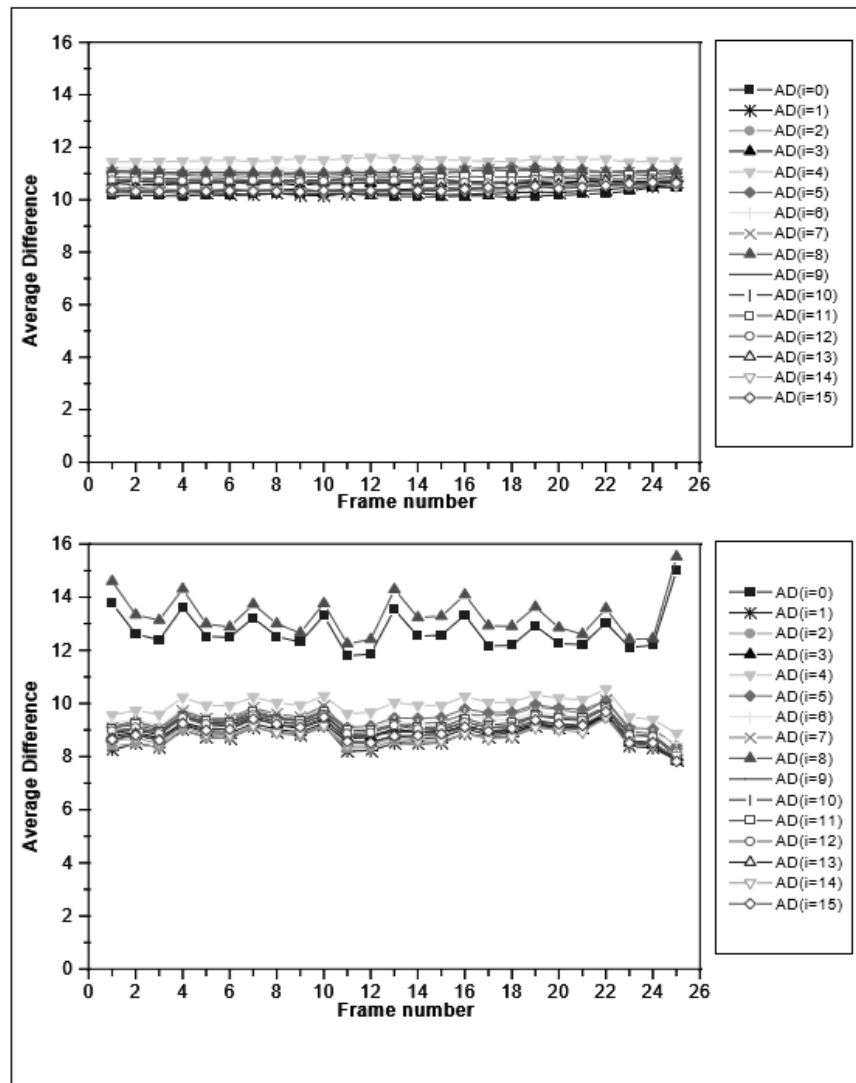
Dalam prosedur pengujian yang dikembangkan oleh Technical University of Braunschweig (Jerman) dan Rohde & Schwarz, perbedaan antara piksel yang berdampingan dalam makroblok terbentuk. Perbedaan piksel berarti bahwa hanya nilai amplitudo piksel yang berdekatan dari sinyal Y dalam makroblok, dan juga secara terpisah nilai dari sinyal Cb dan Cr dikurangkan. Untuk setiap makroblok, 16 perbedaan piksel kemudian diperoleh per baris, mis. untuk sinyal Y. Kemudian semua 16 baris dianalisis. Hal yang sama juga dilakukan secara vertikal yang juga memberikan 16 perbedaan piksel per kolom untuk makroblok sinyal Y. Analisis ini dilakukan untuk semua kolom dalam macroblock. Perbedaan piksel pada batas blok memiliki arti khusus di sini dan akan sangat besar dalam hal pemblokiran.

Perbedaan piksel dari semua blok makro dalam satu garis kemudian digabungkan dengan menambahkannya bersama-sama sedemikian rupa sehingga diperoleh 16 nilai individu per baris (Gbr. 12.4.). Nilai perbedaan 16 piksel dari masing-masing garis kemudian juga ditambahkan bersama di dalam bingkai, menghasilkan 16 nilai per bingkai sebagai nilai perbedaan piksel. Ini, akhirnya, memberikan informasi tentang perbedaan rata-rata piksel 0 ... 15 dalam arah horizontal dan vertikal dalam semua blok makro. Proses yang sama diulang untuk Cb dan Cr, yaitu sinyal perbedaan warna.

Dengan mempertimbangkan perbedaan piksel dari urutan video dengan kualitas gambar yang baik dan satu dengan kualitas gambar yang buruk, dapat dilihat dengan jelas apa metode pengujian objektif untuk menilai kualitas gambar ini:

Gambar 12.5. menunjukkan dengan jelas bahwa perbedaan amplitudo piksel dalam urutan video "baik" sangat dekat satu sama lain untuk semua 16 perbedaan piksel dalam makroblok. Dalam contoh ini, mereka semua sekitar 10 ... 12.

Dalam rangkaian video dengan kualitas "buruk" (tampilan bawah) dengan pemblokiran, terlihat bahwa batas makroblok menunjukkan lompatan yang lebih besar, yaitu perbedaan piksel lebih besar di sana.



Gambar 12.5. Rata-rata perbedaan piksel makroblok dalam urutan video dengan kualitas gambar yang baik (atas, taman bunga/asli, 6 Mbit/dtk) dan dengan kualitas gambar yang lebih buruk (bawah, taman bunga/MPEG-2, 2 Mbit/dtk)

Dapat dilihat dengan jelas bahwa perbedaan piksel No. 0 dan No. 8, pada tampilan bawah, jelas lebih besar dari nilai perbedaan yang tersisa.

No 0 sesuai dengan perbatasan macroblock dan No 8 sesuai dengan batas blok dalam macroblock.

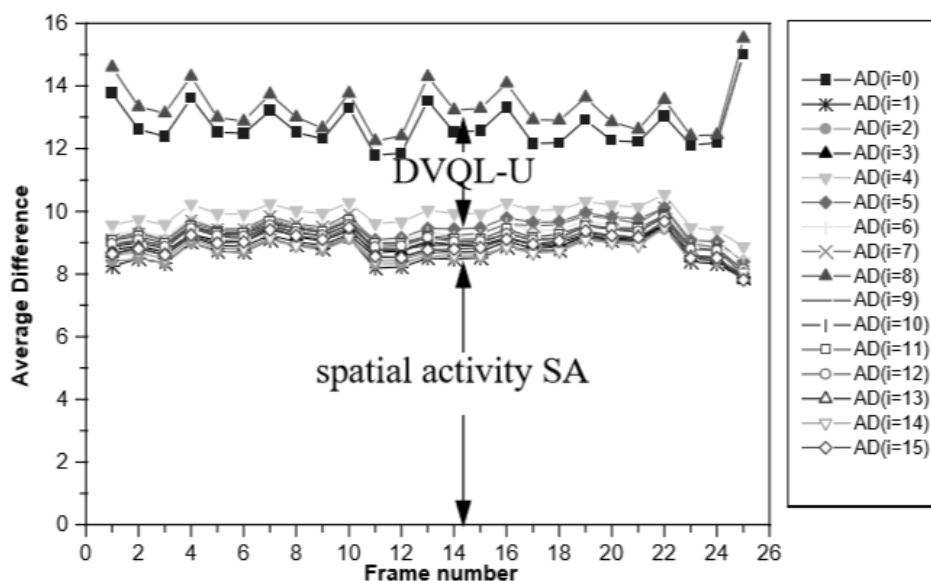
Jelas, analisis sederhana dari perbedaan amplitudo piksel ini memungkinkan untuk memverifikasi keberadaan pemblokiran (Gbr. 12.6.).

Nilai uji dasar Penganalisis Kualitas Video Digital oleh Rohde & Schwarz untuk menghitung kualitas gambar dari rangkaian video berkode DCT adalah nilai uji kualitas gambar DVQL-U (tingkat kualitas video digital - tidak berbobot). DVQL-U digunakan sebagai nilai absolut untuk keberadaan pola interferensi tipe pemblokiran dalam bingkai asli. Berbeda dengan DVQL-W (tingkat kualitas video digital - tertimbang), DVQL-U adalah ukuran langsung dari jenis gangguan pemblokiran ini. Tergantung pada bingkai aslinya, bagaimanapun, nilai tes tidak selalu berkorelasi dengan kesan kualitas pengamatan subjektif.

Untuk mendekatkan nilai uji kualitas gambar objektif dengan kualitas gambar yang dirasakan secara subjektif, kuantitas lain dalam gambar bergerak juga harus dipertimbangkan. Ini adalah:

- *spatial activity (SA)*
- *the temporal activity (TA)*

Ini karena aktivitas spasial dan temporal dapat membuat struktur pemblokiran tidak terlihat, yaitu mereka dapat menutupinya. Artefak dalam gambar ini kemudian tidak terlihat oleh mata manusia.



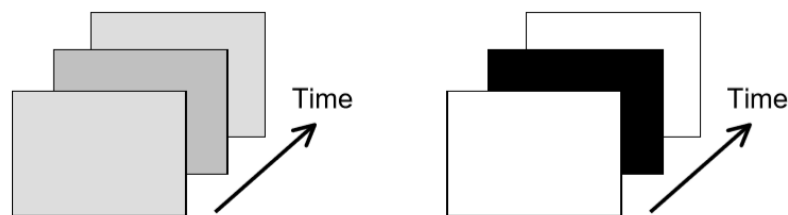
Gambar 12.6. Menentukan tingkat kualitas video digital tidak tertimbang (DVQL-U) dan aktivitas spasial (SA) dari perbedaan piksel makroblok.

Aktivitas spasial adalah ukuran keberadaan struktur halus dalam gambar. Gambar yang kaya akan detail, yaitu gambar dengan banyak struktur halus, menunjukkan aktivitas spasial yang tinggi. Gambar monokrom yang tidak terstruktur, di sisi lain, akan sesuai dengan aktivitas spasial nol. Aktivitas spasial maksimum yang dapat dicapai secara teoritis akan terjadi jika piksel putih selalu bergantian dengan piksel hitam baik secara horizontal maupun vertikal dalam suatu bingkai (pola grid halus).



Gambar 12.7. Aktivitas spasial rendah (kiri) dan tinggi (kanan)

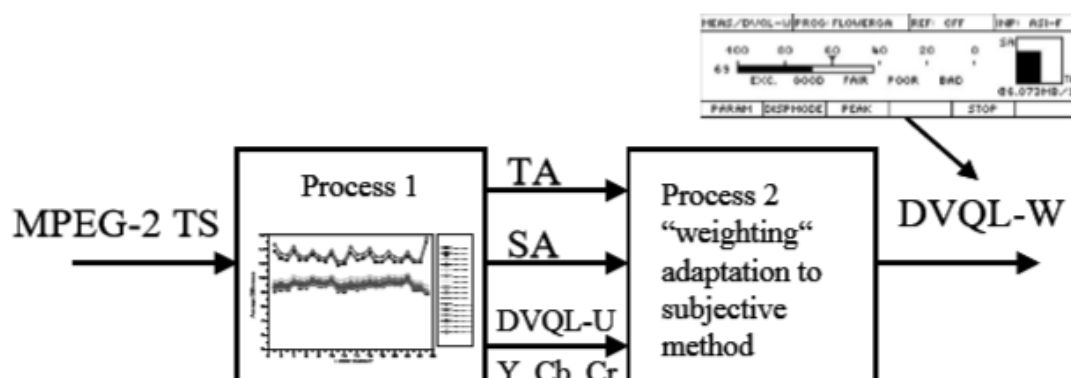
Selain aktivitas spasial dalam gambar (Gbr. 12.7.), aktivitas temporal (TA) harus dipertimbangkan (Gbr. 12.8.). Aktivitas temporal adalah ukuran agregat dari perubahan (gerakan) dalam bingkai yang berurutan. Aktivitas temporal maksimum yang dapat dicapai secara teori adalah jika semua piksel berubah dari hitam menjadi putih atau sebaliknya dalam bingkai yang berurutan. Dengan demikian, aktivitas temporal 0 sesuai dengan urutan bingkai tanpa gerakan.



Gambar 12.8. Aktivitas temporal rendah (kiri) dan tinggi (kanan)

Dua parameter SA dan TA harus disertakan saat menghitung kualitas video berbobot dari DVQL (level pemblokiran) tidak berbobot.

Dalam proses pertama, tingkat kualitas digital tidak berbobot DVQL-U untuk semua sinyal Y, Cb dan Cr dan aktivitas spasial SA dan aktivitas temporal TA ditentukan dalam penganalisis kualitas video digital yang disebutkan di atas.



Gambar 12.9. Menggunakan penganalisis kualitas video digital

Pembobotan kemudian dilakukan dalam proses kedua yang dengan demikian memperhitungkan faktor subjektif. Tampilan penganalisis kualitas video digital menunjukkan tingkat kualitas video digital - berbobot atau tidak berbobot - dan aktivitas

spasial dan temporal. Analyzer ini juga mampu mendeteksi masalah decoding, selain kualitas video: Masalah ini meliputi:

- Gambar membeku (TA = 0)
- Gambar hilang (TA = 0, SA = 0)
- Suara hilang

Penganalisis kualitas video digital terutama digunakan dekat dengan tahap penyandian MPEG-2 karena transmisi tidak memiliki efek lebih lanjut pada kualitas video itu sendiri. Secara alami, penganalisis seperti itu juga akan mendeteksi masalah decoding yang disebabkan oleh kesalahan bit yang dihasilkan oleh tautan transmisi. Karena dalam banyak kasus operator jaringan bukanlah penyedia program, juga, penganalisis kualitas video digital sering juga ditemukan di ujung terminasi jaringan sehingga parameter pengukuran objektif tersedia sebagai dasar untuk setiap diskusi antara operator jaringan dan penyedia program. Penganalisis kualitas video digital juga sangat penting dalam pengujian enkoder MPEG-2.

12.1. Ringkasan dan Pandangan

Artefak yang disebabkan oleh proses encoding MPEG menghasilkan kualitas gambar yang kurang lebih baik. Hal ini tampak sebagai:

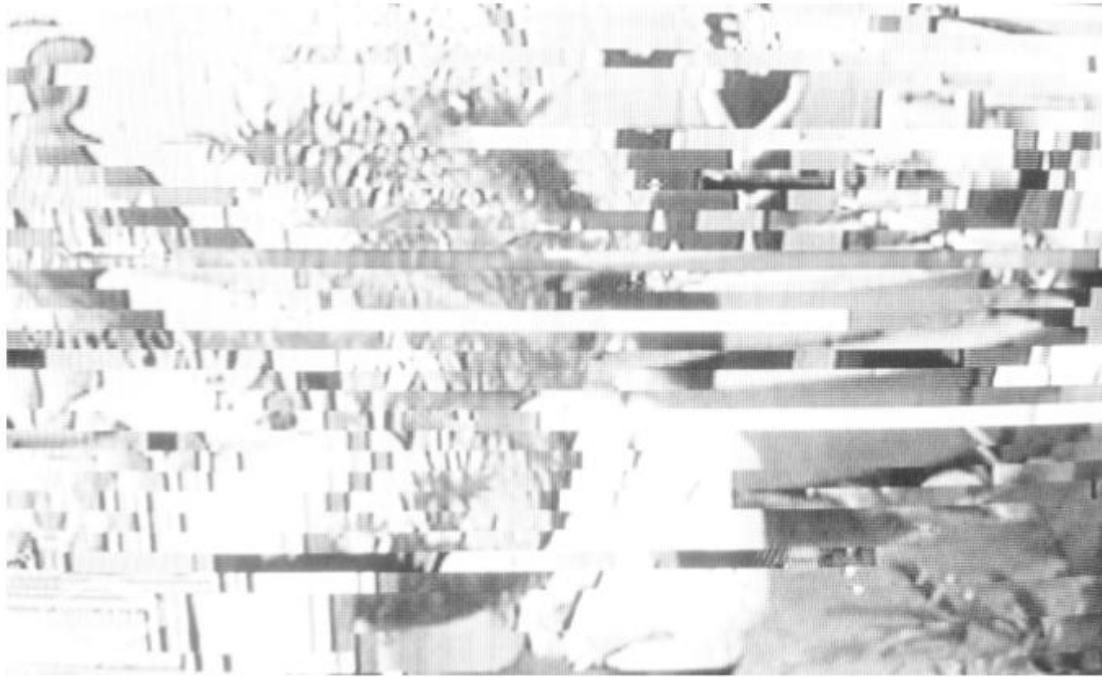
- *Blocking* (transisi blok terlihat)
- *Blurring* (kurangnya frekuensi tinggi)
- *“Mosquito” noise* (struktur DCT yang terlihat)

Dalam kasus metode pengkodean gambar yang lebih baru seperti MPEG-4 AVC atau HEVC, bagaimanapun, pendekatan lain harus digunakan dalam penilaian kualitas gambar. Misalnya, filter pemblokiran digunakan di sini dalam upaya untuk menjaga pemblokiran sedapat mungkin tidak terlihat. Satu-satunya informasi objektif disediakan oleh analisis kuantisasi yang dilakukan oleh encoder. Pengukuran tersebut didukung oleh penganalisis MPEG DVM atau DVMS.

Namun, pengaruh jalur distribusi dan transmisi dalam jaringan TV digital tetap sama. Ini mengarah ke kesalahan bit yang, pada gilirannya, dapat menyebabkan "jatuh-off-the-tebing" di beberapa waktu (Gbr. 12.11.), baik itu berfungsi atau tidak lagi berfungsi di beberapa waktu. Dalam kasus transisi, struktur irisan menjadi jelas seperti yang terlihat pada Gambar 12.11



Gambar 12.10. Penganalisis kualitas video digital, Rohde&Schwarz [DVQ] untuk pengukuran kualitas pengkodean video berbasis MPEG-2video



Gambar 12.11. Gangguan gambar yang disebabkan oleh gangguan selama transmisi (kesalahan bit); struktur seperti irisan (“slicing”) dapat dikenali yang disebabkan di sini oleh hujan lebat selama penerimaan satelit.

BAB 13

PRINSIP DASAR MODULASI DIGITAL

Untuk memulainya, bab ini secara umum menciptakan dasar untuk pendekatan metode modulasi digital. Setelah bab ini, mungkin juga untuk melanjutkan, mis. di bidang teknologi radio bergerak (GSM, IS95, UMTS, LTE, 5G) sebagai pengetahuan dasar yang dibahas disini berlaku untuk bidang teknologi komunikasi dan aplikasinya secara keseluruhan. Namun, tujuan utamanya adalah untuk menciptakan landasan bagi bab-bab selanjutnya tentang DVB-S, DVB-C, OFDM/COFDM, DVB-T, ATSC, dan ISDB-T. Para ahli, tentu saja dapat dengan mudah melewati bab ini.

13.1. Pendahuluan

Transmisi analog informasi telah lama dilakukan melalui modulasi amplitudo (AM) dan modulasi frekuensi (FM). Informasi yang akan ditransmisikan terkesan pada pembawa dengan memvariasikan baik amplitudo atau frekuensi atau fase, proses ini disebut sebagai modulasi.

Untuk mengirimkan sinyal data, yaitu sinyal digital, kunci pergeseran amplitudo atau frekuensi digunakan pada masa awal transmisi data. Untuk mengirimkan datastream mis. 10 Mbit/s melalui simple amplitudo shift keying (ASK), bandwidth minimal 10 MHz diperlukan jika non-return-to-zero code (NRZ) digunakan. Menurut teorema Nyquist, bandwidth yang sesuai dengan setidaknya setengah kecepatan data diperlukan untuk sinyal baseband NRZ. Menggunakan ASK menghasilkan dua sideband dan itu memberikan sinyal RF dengan bandwidth yang sama dengan kecepatan data sinyal baseband. Bandwidth yang sebenarnya dibutuhkan bahkan lebih besar karena penyaringan sinyal diperlukan untuk menekan gangguan channel yang berdekatan.

Channel telepon analog lebarnya sekitar 3 kHz. Awalnya, kecepatan data 1200 bit/s dapat dicapai untuk channel ini. Saat ini, dengan VDSL 50 hingga 100 Mbit/s tidak ada masalah lagi. Tautan faks dan modem dioperasikan hingga 56 kbit/dtk. Lompatan kuantum ke depan ini hanya mungkin melalui penggunaan metode modulasi digital modern yang dikenal sebagai modulasi IQ. Modulasi IQ pada dasarnya adalah bentuk modulasi amplitudo.

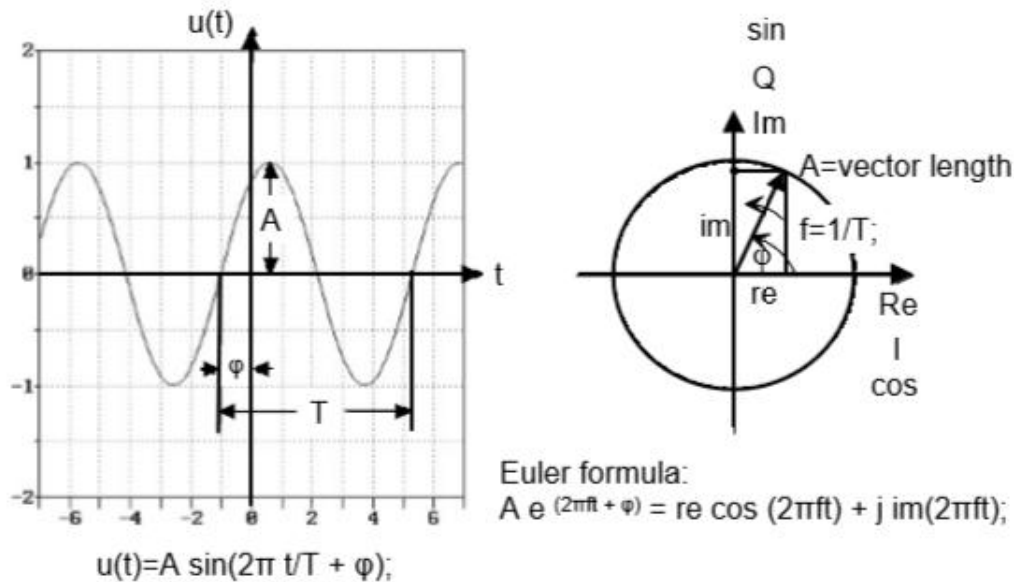
Metode modulasi berikut:

- Modulasi amplitudo
- Modulasi frekuensi
- Modulasi fase
- Penguncian pergeseran amplitudo/*Amplitude shift keying* (ASK)
- Kunci pergeseran frekuensi/*Frequency shift keying* (FSK)
- Penguncian pergeseran fase/*Phase shift keying* (PSK)
- Amplitudo dan penguncian fase/*Amplitude and phase shift keying* (QAM)

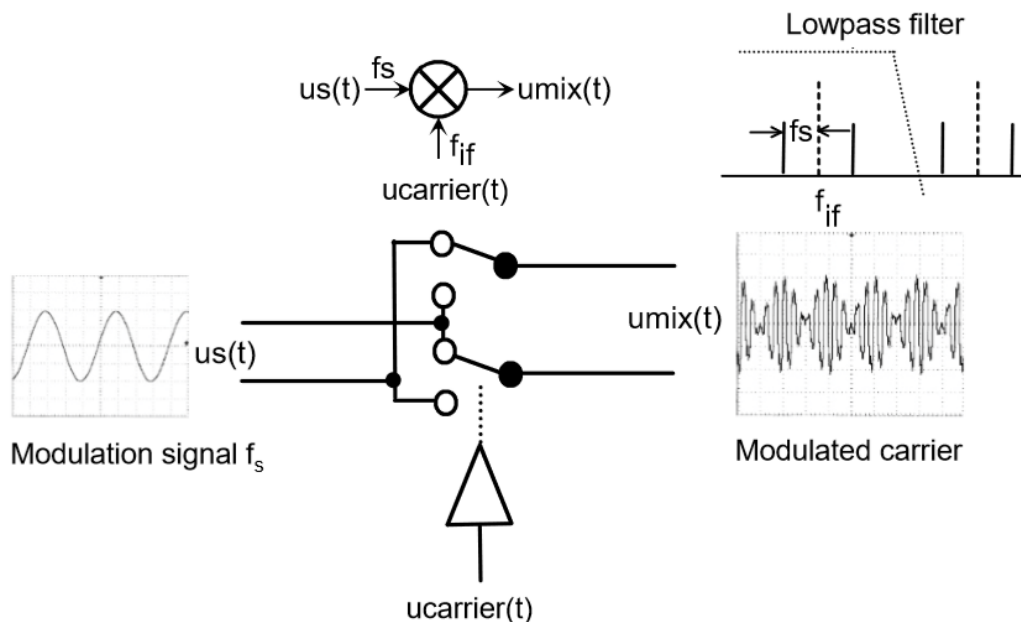
Yang kami inginkan adalah mengurangi bandwidth untuk transmisi sinyal data. Ini hanya mungkin dengan menggunakan metode modulasi digital modern. Tujuan kami adalah untuk memotong bandwidth yang dibutuhkan oleh beberapa faktor relatif terhadap kecepatan data dari sinyal yang ditransmisikan.

Jelas bahwa ini tidak akan berjalan tanpa kerugian, yaitu kerentanan terhadap noise dan gangguan akan meningkat. Berikut ini, metode modulasi digital akan dibahas.

Sebelum masuk ke subjek ini, kami ingin menunjukkan bahwa dalam teknik elektro, merupakan kebiasaan untuk menyatakan besaran sinusoidal melalui vektor (gambar 13.1.). Setiap besaran sinusoidal dapat dijelaskan dengan jelas oleh amplitudo dan sudut fase nolnya. Apalagi frekuensinya harus diketahui. Dalam representasi vektor, vektor berputar pada saat $t = 0$ ditampilkan. Vektor kemudian pada sudut fase nol dan panjangnya sesuai dengan amplitudo kuantitas sinusoidal.



Gambar 13.1. Representasi vektor dari sinyal sinusoidal



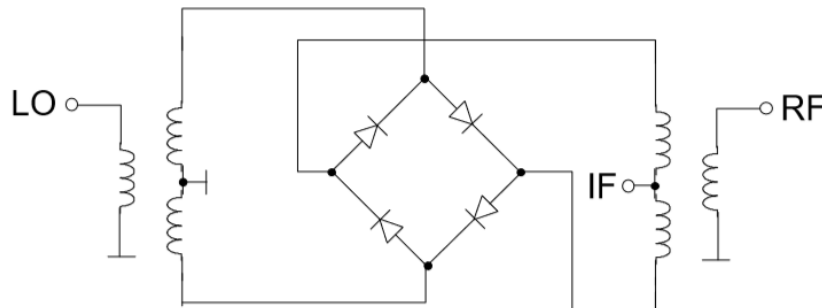
Gambar.13.2. Mixer dan proses pencampuran. Modulasi amplitudo dengan pembawa yang ditekan

13.2. Mixer

Mixer adalah salah satu komponen elektronik terpenting yang membentuk modulator IQ. Mixer pada dasarnya adalah pengganda. Sinyal modulasi biasanya diubah menjadi IF melalui sinyal pembawa. Akibatnya, dua sidebands tentang pembawa diperoleh. Jenis modulasi ini dikenal sebagai modulasi amplitudo pita sisi ganda dengan pembawa yang

ditekan. Mixer ditunjukkan pada Gambar. 13.2. pada dasarnya adalah saklar ganda yang digerakkan oleh pembawa. Ini membalikkan polaritas sinyal modulasi pada frekuensi pembawa.

Dalam kasus sinyal modulasi sinusoidal murni, dua garis spektral diperoleh - satu di atas dan satu di bawah frekuensi pembawa - masing-masing berjarak dari pembawa pada offset frekuensi modulasi. Selain itu, sub-harmonik pada offset frekuensi pembawa dihasilkan. Yang terakhir harus ditekan melalui filter lowpass.

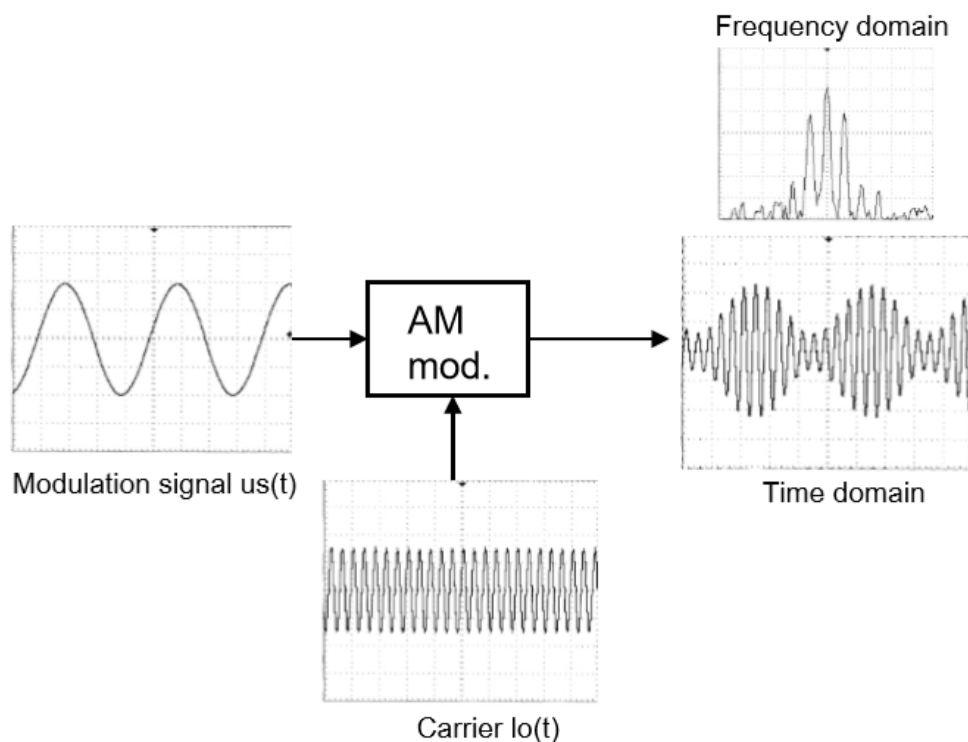


Gambar 13.3. Diagram blok dari mixer seimbang ganda

Gambar 13.3. adalah diagram blok mixer analog ganda modern. Polaritas sinyal modulasi diaktifkan oleh 4 dioda PIN. Sinyal pembawa (LO = osilator lokal) digabungkan melalui transformator RF, dan produk modulasi digabungkan keluar melalui transformator RF. Sinyal modulasi diumpankan ke DC-coupled.

Mixer saat ini sering diimplementasikan dalam bentuk pengganda digital murni yang, kecuali untuk noise kuantisasi dan kesalahan pembulatan, memiliki perilaku yang ideal.

Jika tegangan langsung diterapkan sebagai sinyal modulasi, pembawa itu sendiri muncul pada output mixer. Melapiskan sinyal sinusoidal pada DC mengarah ke modulasi amplitudo normal dengan pembawa yang tidak tertekan. (Gbr. 13.4.).

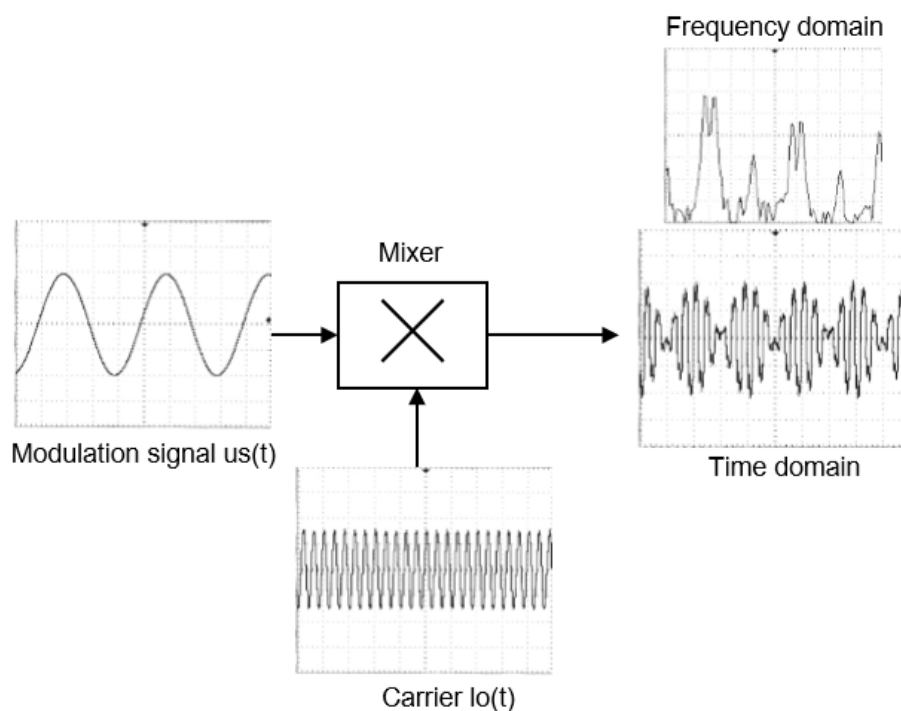


Gambar 13.4. Modulasi amplitudo "Normal" dengan pembawa yang tidak ditekan

13.3. Modulator Amplitudo

Dalam modulasi amplitudo, informasi terkandung dalam amplitudo pembawa. Sinyal modulasi mengubah (memodulasi) amplitudo pembawa. Hal ini dipengaruhi oleh sebuah modulator AM.

Gambar 13.4. menggambarkan modulasi AM "normal", di mana pembawa tidak ditekan. Sinyal modulasi sinusoidal memvariasikan amplitudo pembawa sehingga terkesan pada pembawa sebagai amplop. Dalam contoh pada Gambar 13.4., baik sinyal pembawa maupun sinyal modulasi adalah sinyal sinusoidal. Melihat spektrum, kami tidak hanya menemukan garis spektral pada frekuensi pembawa tetapi juga dua pita samping yang berjarak dari pembawa pada offset frekuensi modulasi. Misalnya, jika pembawa 1 MHz dimodulasi amplitudo dengan sinyal sinusoidal 1 kHz, spektrum modulasi dengan sinyal pembawa pada 1 MHz dan dua sinyal sideband pada 1 kHz di atas dan di bawah pembawa akan diperoleh. Bandwidth adalah 2 kHz dalam hal ini.



Gambar 13.5. Modulasi amplitudo dengan pembawa yang ditekan

Seperti disebutkan di atas, pembawa ditekan oleh mixer. Jika mixer digunakan untuk modulasi amplitudo dan sinyal modulasi itu sendiri tidak memiliki komponen DC, tidak ada garis spektral pada frekuensi pembawa yang akan ditemukan dalam spektrum modulasi. Hanya ada dua sideband. Gambar 13.5. menunjukkan modulasi amplitudo yang dipengaruhi oleh mixer berimbang ganda. Dalam spektrum modulasi, kami menemukan tidak hanya dua pita samping tetapi juga pita samping harmonik tentang kelipatan frekuensi pembawa. Yang terakhir harus ditekan oleh filter lowpass. Gambar 13.5. juga menunjukkan sinyal termodulasi amplitudo khas dalam domain waktu dengan pembawa yang ditekan. Bandwidth sama dengan modulasi amplitudo "normal", yaitu dengan pembawa yang tidak tertekan.

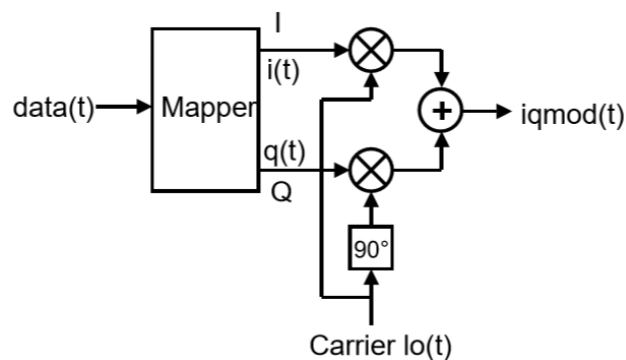
13.4. Modulator IQ

Di televisi berwarna, modulasi kuadratur atau modulasi IQ telah digunakan sejak lama untuk transmisi informasi warna. Dengan subcarrier warna PAL atau NTSC, informasi chrominance terkandung dalam fase subcarrier dan saturasi warna, atau intensitas warna, dalam amplitudo subcarrier. Subcarrier warna ditumpangkan pada sinyal luminance.

Subcarrier warna termulasi dihasilkan melalui modulator IQ atau modulator kuadratur, di mana "I" berarti fase dalam dan "Q" untuk fase kuadratur.

Sebuah modulator IQ (lihat Gambar 13.6.) memiliki jalur I dan jalur Q. Jalur I menggabungkan mixer yang digerakkan dengan fase pembawa 0° . Mixer di jalur Q digerakkan dengan fase pembawa 90° . Ini berarti bahwa I mewakili 0° dan Q untuk fase pembawa 90° . I dan Q saling ortogonal. Dalam diagram vektor, sumbu I berimpit dengan sumbu nyata dan sumbu Q dengan sumbu imajiner.

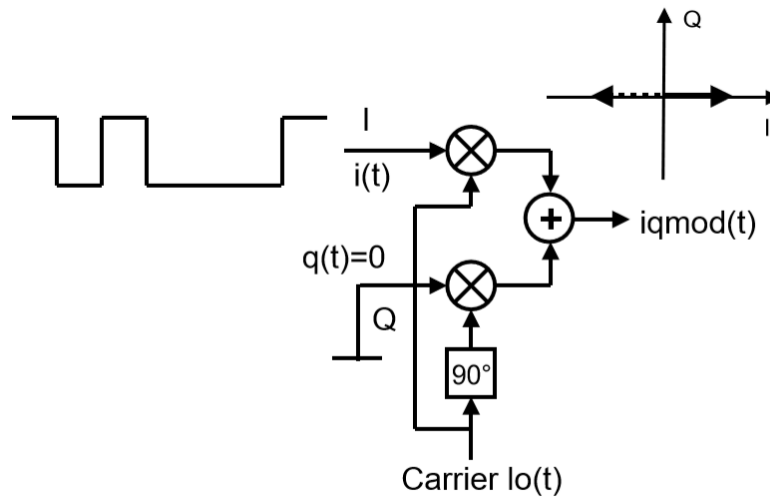
Modulator PAL atau NTSC juga menggabungkan modulator IQ. Untuk modulasi digital, mapper terhubung di depan modulator IQ. Pemeta diumpankan dengan data datastream (t) yang akan ditransmisikan; sinyal output $i(t)$ dan $q(t)$ dari mapper adalah sinyal modulasi untuk I dan Q mixer. $i(t)$ dan $q(t)$ bukan lagi sinyal data tetapi tegangan bertanda.



Gambar 13.6. Modulator IQ

Jika $i(t)=0$, mixer I tidak menghasilkan sinyal output, jika $q(t)=0$, mixer Q tidak menghasilkan sinyal. Jika $i(t)$ pada 1 V, misalnya, mixer I akan mengeluarkan sinyal pembawa dengan amplitudo konstan dan fase pembawa 0° . Jika $q(t)$, sebaliknya, berada pada 1 V, pencampur Q akan mengeluarkan sinyal pembawa dengan amplitudo konstan dan fase pembawa 90° (s. Gambar 13.10.).

Produk modulasi I dan Q digabungkan dalam sebuah penambah.



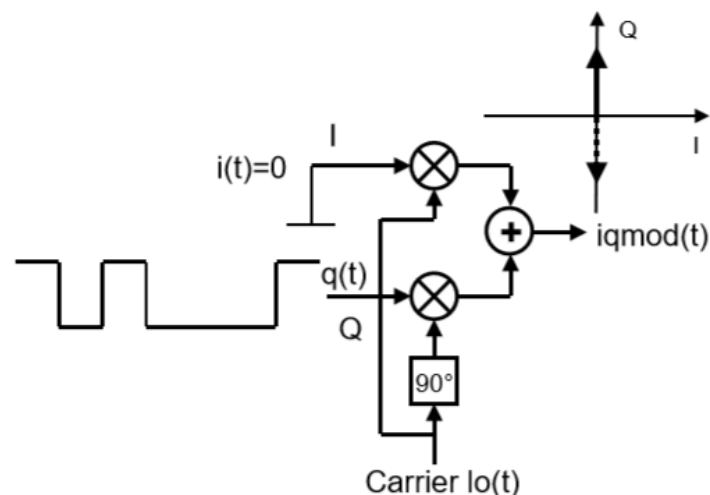
Gambar 13.7. Modulator IQ, saya hanya jalur

Oleh karena itu, produk $iqmod(t)$ adalah jumlah output sinyal dari pencampur I dan pencampur Q. Jika pencampur Q tidak memberikan output sinyal, $iqmod(t)$ sesuai dengan output sinyal jalur I dan sebaliknya.

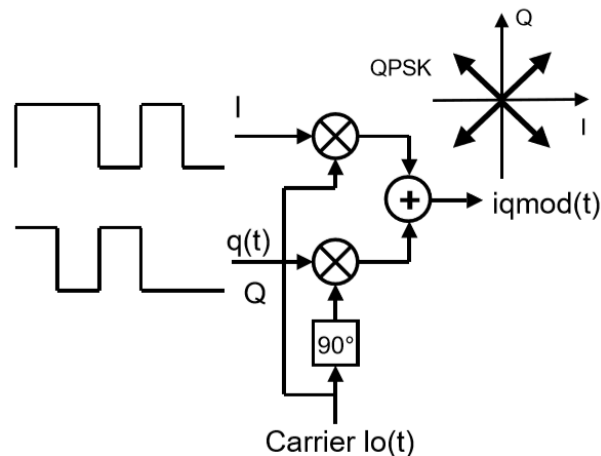
Karena output sinyal dari jalur I dan Q adalah sinyal sinus dan cosinus dengan frekuensi yang sama (frekuensi pembawa) dan hanya berbeda dalam amplitudo, output sinyal sinusoidal $iqmod(t)$ dengan amplitudo dan fase variabel diperoleh melalui superposisi dari output sinyal sinusoidal I dan output sinyal Q cosinusoidal. Oleh karena itu, dengan bantuan sinyal kontrol $i(t)$ dan $q(t)$, dapat memvariasikan amplitudo dan fase $iqmod(t)$.

Dengan modulator IQ, dapat menghasilkan modulasi amplitudo murni, modulasi fase murni, atau gabungan amplitudo dan modulasi fase. Output sinyal modulator sinusoidal dengan demikian dapat dikontrol dalam amplitudo dan fase.

Sekarang mari asumsikan bahwa $i(t)$ adalah nol dan hanya ada output sinyal $q(t)$. Kami sekarang beralih $q(t)$ antara +1 V dan -1 V. $iqmod(t)$ sesuai dengan sinyal output dari Q mixer; tidak ada kontribusi dari jalur I. Sekali lagi, sinyal sinus diperoleh untuk $iqmod(t)$, tetapi dengan fase 90° atau 270° . Dengan memvariasikan amplitudo $q(t)$, amplitudo $iqmod(t)$ dapat divariasikan. Untuk diagram vektor ini berarti bahwa vektor berubah antara 90° dan 180° dan panjangnya bervariasi sepanjang sumbu Q (sumbu imajiner).



Gambar 13.10. Modulator IQ, jalur Q hanya aktif

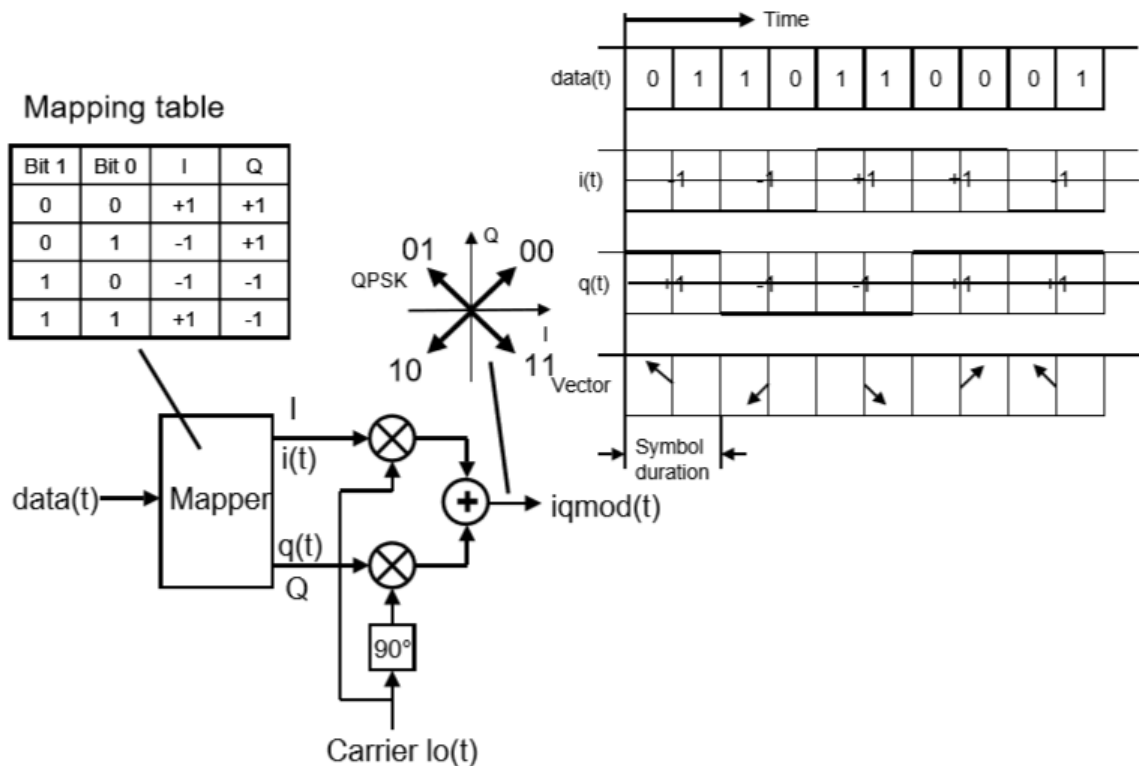


Gambar 13.11. Modulator IQ, Jalur I dan Q Amplitudo aktif dan identik (QPSK)

Selanjutnya, ingin memvariasikan baik $i(t)$ dan $q(t)$ antara +1 V dan -1 V. Dalam hal ini, produk modulasi dari jalur I dan jalur Q dijumlahkan, sehingga dapat mengganti pembawa antara 45° , 135° , 225° dan 315° . Ini disebut sebagai penguncian fase kuadratur atau QPSK. Dengan membiarkan tegangan apa pun untuk $i(t)$ dan $q(t)$, amplitudo dan fase apa pun yang diinginkan dapat dihasilkan untuk $iqmod(t)$.

Data $datastream(t)$ diubah menjadi dua sinyal modulasi $i(t)$ untuk jalur I dan $q(t)$ untuk jalur Q melalui alat pemetaan. Hal ini ditunjukkan pada Gambar. 13.13. untuk modulasi QPSK. Tabel pemetaan adalah aturan di mana $datastream$ data(t) diubah menjadi sinyal modulasi $i(t)$ dan $q(t)$. Dalam kasus QPSK, dua bit (sesuai dengan bit 0 dan bit 1 dalam tabel pemetaan) digabungkan untuk membentuk dibit. Untuk kombinasi dibit 10, misalnya, pembuat peta mengeluarkan sinyal $i(t) = -1$ V dan $q(t) = -1$ V sesuai dengan tabel pemetaan yang ditunjukkan di sini.

Kombinasi bit 11 menghasilkan $i(t) = +1$ V dan $q(t) = -1$ V dalam contoh ini. Alokasi bit ke sinyal modulasi, mendefinisikan bagaimana aliran bit harus dibaca dan diubah oleh mapper, hanyalah masalah definisi. Adalah penting bahwa modulator dan demodulator, yaitu mapper dan demapper, menggunakan aturan pemetaan yang sama. Gambar 13.12. juga menunjukkan bahwa dalam hal ini data rate dibelah dua setelah mapper. QPSK dapat mengirimkan dua bit per negara. Dua bit masing-masing digabungkan untuk membentuk dibit yang menentukan keadaan output sinyal mapper $i(t)$ dan $q(t)$. Oleh karena itu, dalam hal ini, $i(t)$ dan $q(t)$ memiliki setengah kecepatan data dari $data(t)$. $i(t)$ dan $q(t)$ pada gilirannya memodulasi sinyal pembawa dan, dalam kasus QPSK, alihkan hanya dalam fase. Ada empat kemungkinan konstelasi untuk $iqmod(t)$: 45° , 135° , 225° dan 315° . Informasi tersebut terkandung dalam fase pembawa. Sekarang dapat mengganti fase pembawa pada setengah kecepatan data relatif terhadap kecepatan input, bandwidth channel yang diperlukan dikurangi dengan faktor 2. Waktu pembawa atau vektor berdiam pada fase tertentu (waktu tinggal = durasi simbol) adalah disebut sebagai simbol (Gbr. 13.12. dan 13.14.). Kebalikan dari durasi simbol adalah kecepatan simbol. Bandwidth yang dibutuhkan sesuai dengan simbol rate. Dibandingkan dengan transmisi bit sederhana, kapasitas bandwidth yang tersedia sekarang ditingkatkan dengan faktor 2.



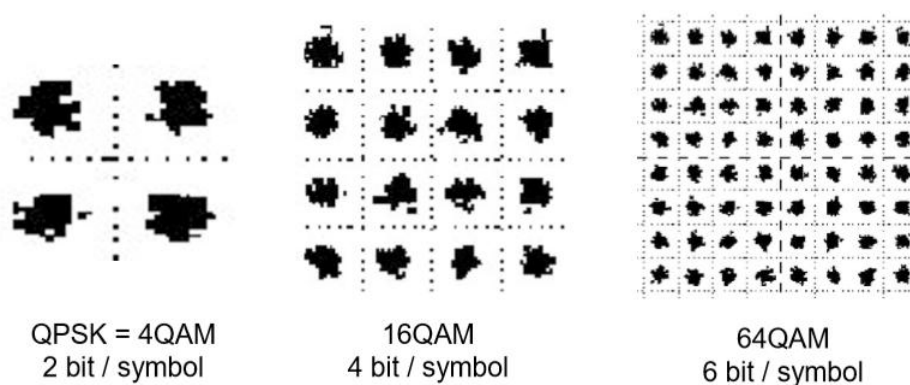
Gambar 13.12. Pemetaan dengan modulasi QPSK

Dalam praktiknya, metode modulasi tingkat tinggi digunakan selain QPSK. Gambar 13.11. menunjukkan 16QAM yang dihasilkan dengan memvariasikan amplitudo dan fase. Informasi dalam amplitudo, atau besarnya, dan dalam fase. Dalam kasus 16QAM (= 16 modulasi amplitudo kuadratur), empat bit digabungkan dalam mapper; satu konstelasi pembawa dapat, oleh karena itu, membawa empat bit, dan ada 16 konstelasi pembawa yang mungkin. Laju data setelah mapper, atau laju simbol, adalah seperempat dari laju data input. Ini berarti bahwa bandwidth channel yang dibutuhkan telah dikurangi dengan faktor empat.

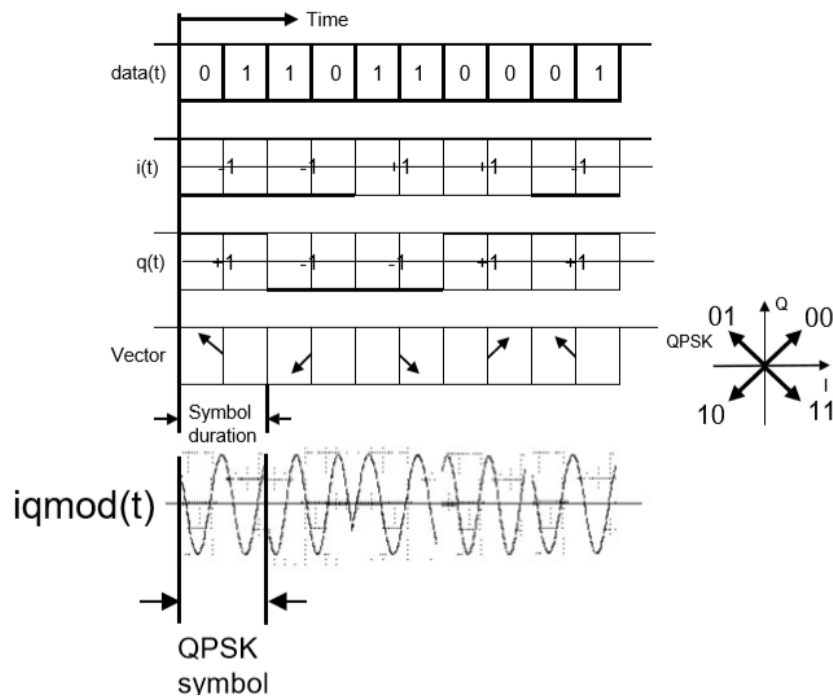
Dalam diagram vektor untuk modulasi IQ, merupakan praktik umum untuk hanya mewakili titik akhir vektor. Diagram vektor di mana semua konstelasi vektor yang mungkin dimasukkan disebut sebagai diagram konstelasi.

Gambar 13.13. menunjukkan diagram konstelasi sinyal QPSK, 16QAM dan 64QAM nyata, yaitu terganggu oleh noise. Ambang keputusan demapper juga ditampilkan.

Jumlah bit yang ditransmisikan per simbol adalah logaritma ke basis 2 konstelasi.

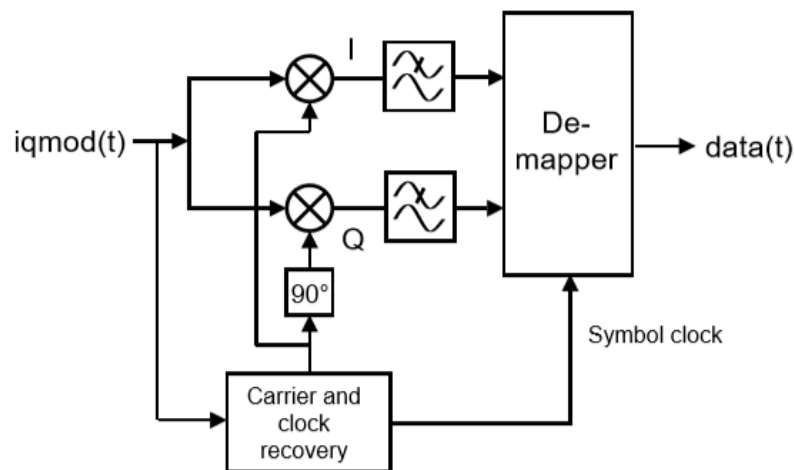


Gambar 13.13. Diagram konstelasi QPSK, 16QAM dan 64QAM



Gambar 13.14. QPSK

Gambar 13.14. menunjukkan data datastream asli(t), konstelasi yang dihasilkan dari vektor pembawa, dan sinyal pembawa yang dialihkan, atau dikunci, $iqmod(t)$ dalam domain waktu. Setiap status switching disebut sebagai simbol. Durasi status switching disebut durasi simbol. Kebalikan dari durasi simbol adalah kecepatan simbol.



Gambar 13.15. demodulator IQ

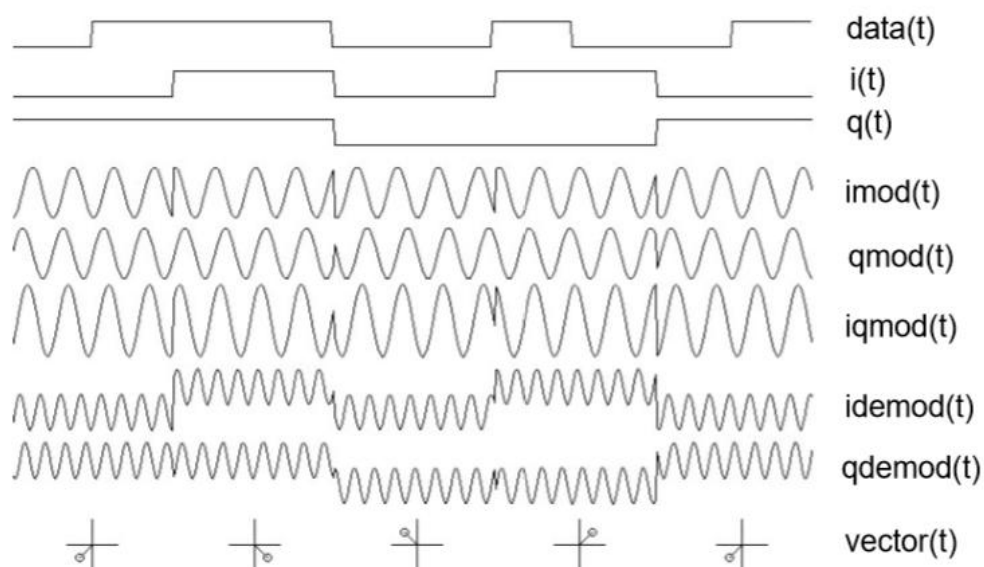
13.5. Demodulator IQ

Pada bagian ini, demodulasi IQ akan dibahas secara singkat (s. Gbr. 13.15.). Sinyal modulasi digital $iqmod(t)$ diumpankan ke mixer I, yang digerakkan dengan fase pembawa 0° , dan ke demodulator Q, yang digerakkan dengan fase pembawa 90° . Pada saat yang sama, pembawa dan jam simbol dipulihkan dalam blok pemrosesan sinyal. Untuk memulihkan pembawa, sinyal input $iqmod(t)$ dikuadratkan dua kali. Jadi, garis spektral pada frekuensi pembawa empat kali lipat dapat diisolasi melalui filter bandpass. Generator jam dikunci ke frekuensi ini melalui PLL. Selain itu, jam simbol harus dipulihkan, yaitu titik di tengah simbol harus ditentukan. Beberapa metode modulasi memungkinkan pemulihan pembawa hanya dengan ketidakpastian kelipatan 90° .

Dengan pencampuran IQ, sinyal pita dasar $i(t)$ dan $q(t)$ diperoleh. Harmoni pembawa yang ditumpangkan pada sinyal-sinyal ini harus dihilangkan dengan menggunakan filter lowpass sebelum sinyal diterapkan ke demapper.

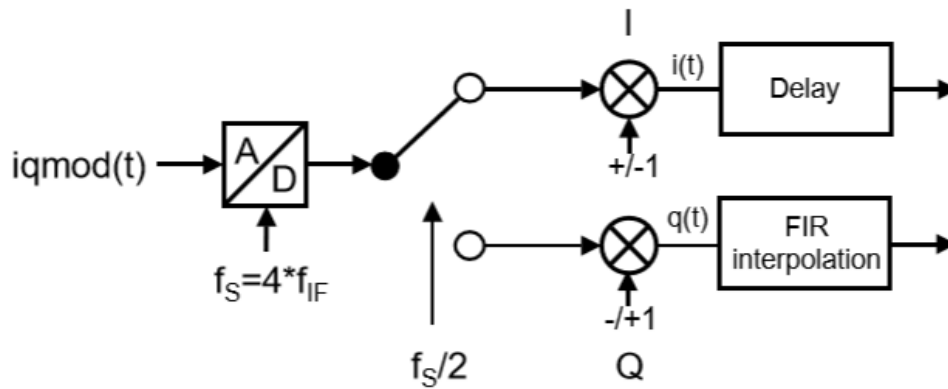
Demapper hanya membalikkan prosedur pemetaan, yaitu sampel sinyal baseband $i(t)$ dan $q(t)$ di tengah simbol dan memulihkan data datastream (t).

Gambar 13.16. menggambarkan proses modulasi dan demodulasi IQ dalam domain waktu dan dalam bentuk diagram konstelasi untuk metode QPSK. Sinyal pada baris pertama mewakili data datastream input (t). Baris kedua dan ketiga menunjukkan sinyal $i(t)$ dan $q(t)$ pada akhir modulasi. Baris keempat dan kelima adalah karakteristik tegangan setelah mixer I dan Q dari modulator, baris keenam karakteristik $iqmod(t)$. Langkah-langkah fase antara simbol terlihat jelas. Amplitudo tidak berubah (QPSK). Pada baris terakhir, diagram konstelasi yang sesuai ditampilkan. Baris 7 dan 8 menunjukkan sinyal yang diperoleh kembali secara digital $i(t)$ dan $q(t)$ pada akhir demodulasi. Dapat dilihat bahwa, selain sinyal pita dasar, jejak mengandung pembawa pada frekuensi dua kali lipat. Yang terakhir harus dihilangkan baik di jalur I dan Q melalui filter lowpass sebelum demapping. Dalam kasus pencampuran analog, harmonik akan ditumpangkan sebagai tambahan yang juga akan ditekan oleh filter lowpass.



Gambar 13.16. Modulasi dan demodulasi IQ (tabel pemetaan berbeda dengan contoh sebelumnya)

Akan tetapi, sangat sering, demodulasi dilakukan dengan menggunakan metode $fs/4$, yang membutuhkan demodulator IQ yang tidak terlalu rumit. Sinyal termodulasi $iqmod(t)$ dilewatkan melalui filter lowpass anti-aliasing dan kemudian diambil sampelnya melalui konverter A/D yang beroperasi pada IF empat kali lipat dari sinyal termodulasi $iqmod(t)$. Oleh karena itu, jika pembawa $iqmod(t)$ berada pada f_{IF} , frekuensi samplingnya adalah $4 \cdot f_{IF}$. Ini berarti bahwa siklus pembawa yang lengkap diambil sampelnya empat kali (lihat Gambar 13.8). Asalkan jam konverter A/D sepenuhnya sinkron dengan jam pembawa, vektor pembawa yang berputar diambil sampelnya tepat pada saat yang ditunjukkan pada Gambar 13.17. Jam simbol dipulihkan dalam pembawa dan blok pemulihan jam seperti dijelaskan di atas.

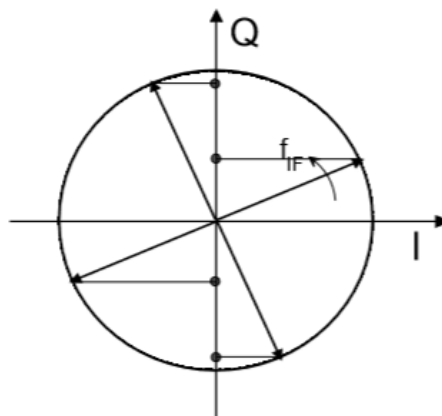


Gambar 13.17. Demodulasi IQ menggunakan metode $f_s/4$

Setelah konverter A/D, sakelar membagi datastream menjadi dua aliran dengan setengah kecepatan data. Misalnya, sampel ganjil diambil ke jalur I dan sampel genap ke jalur Q. Ini berarti bahwa hanya setiap sampel kedua yang diambil masing-masing ke jalur I atau jalur Q, sehingga mengurangi separuh laju data di kedua jalur. Pengganda di dua jalur hanya membalikkan tanda, yaitu mengalikan sampel secara bergantian dengan +1 dan -1.

Prinsip metode $f_s/4$:

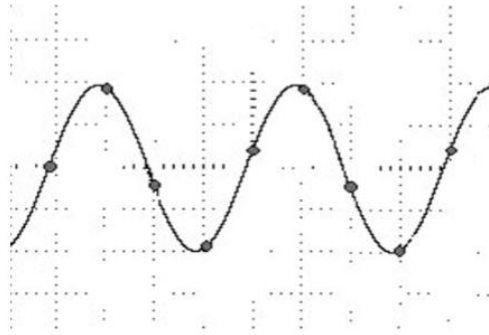
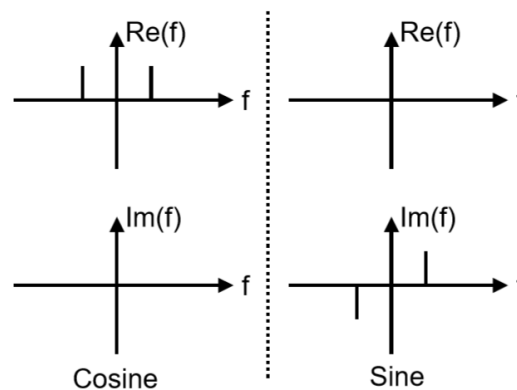
Jika konverter A/D beroperasi tepat pada frekuensi pembawa empat kali lipat (f_{IF}) dan jam konverter A/D dan jam pembawa sepenuhnya disinkronkan, sampel secara bergantian sesuai dengan nilai I dan Q. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 13.18. Setiap sampel kedua di jalur I dan Q memiliki tanda negatif sehingga harus dikalikan angka -1.



Gambar 13.18. demodulasi $f_s/4$

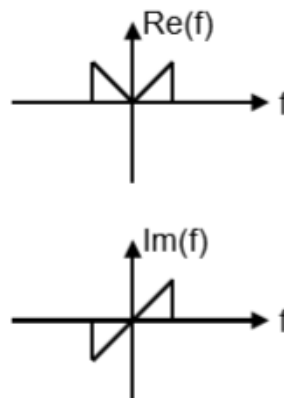
Sinyal pita dasar $i(t)$ dan $q(t)$ diperoleh kembali dengan cara yang sangat sederhana. Karena sinyal $i(t)$ dan $q(t)$ harus menetap setelah setiap perubahan simbol (perubahan status switching), dan penyelesaian ditunda setengah siklus clock oleh sakelar setelah konverter A/D, sinyal harus ditarik kembali ke sinkronisme dengan bantuan filter digital.

Untuk efek ini sinyal, misalnya $q(t)$, diinterpolasi, sehingga mengambil sampel antara dua nilai. Ini dilakukan dengan bantuan filter FIR (filter respons impuls terbatas, filter digital). Setiap filter digital memiliki penundaan dasar, namun, yang harus dikompensasikan dengan memperkenalkan penundaan yang sesuai di jalur lain, yaitu jalur I dalam hal ini, melalui jalur tunda. Setelah filter FIR dan channel tunda, sinyal sampel dan sinyal clocksynchronous $i(t)$ dan $q(t)$ tersedia dan dapat diterapkan ke demapper.

Gambar 13.19. Demodulasi IQ menurut metode $f_s/4$ 

Gambar 13.20. Transformasi Fourier dari kosinus dan sinus

Seperti yang telah disebutkan, metode $f_s/4$ yang kurang kompleks sering digunakan dalam praktik. Dalam kasus sinyal termulasi OFDM-(Orthogonal Frequency Division Multiplex), sirkuit ini disediakan langsung di depan blok pemrosesan sinyal FFT. Metode demodulasi $f_s/4$ didukung oleh banyak sirkuit digital modern.



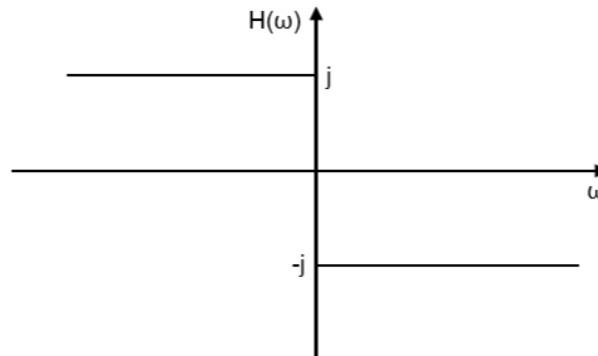
Gambar 13.21. Transformasi Fourier dari sinyal domain waktu nyata umum

13.6. Penggunaan transformasi Hilbert dalam modulasi IQ

Pada bagian ini akan membahas Transformasi Hilbert, yang memainkan peran utama dalam beberapa metode modulasi digital seperti OFDM atau 8VSB.

Mari mulai dengan sinyal sinus dan cosinus. Pada saat $t=0$, sinyal sinus memiliki nilai 0, sinyal cosinus bernilai 1. Sinyal sinus bergeser 90° relatif terhadap sinyal cosinus, yaitu memimpin sinyal cosinus sebesar 90° . Sinyal sinus adalah Transformasi Hilbert dari sinyal kosinus.

Berdasarkan fungsi sinus dan kosinus, dapat sampai pada beberapa definisi penting: fungsi kosinus adalah fungsi genap, yaitu simetris terhadap $t=0$, sehingga berlaku $\cos(x) = \cos(-x)$.



Gambar 13.22. Transformasi Fourier dari Transformasi Hilbert

Fungsi sinus, di sisi lain, adalah fungsi ganjil, yaitu setengah putaran simetris tentang $t=0$, sehingga $\sin(x) = -\sin(-x)$ berlaku. Spektrum kosinus, yaitu Transformasi Fouriernya, murni nyata dan simetris tentang $f=0$. Komponen imajiner adalah nol (s. Gambar 13.20.).

Spektrum sinus, yaitu transformasi Fouriernya, murni imajiner dan simetris setengah putaran (Gbr. 13.20.). Komponen sebenarnya adalah nol. Fakta di atas penting untuk memahami Transformasi Hilbert. Untuk semua sinyal domain waktu nyata, spektrum semua komponen nyata versus f ($\text{Re}(f)$) adalah simetris tentang $f=0$, dan spektrum semua komponen imajiner versus f ($\text{Im}(f)$) adalah setengah putaran simetris tentang $f=0$ (s. Gambar 13.21.).

Setiap sinyal domain waktu nyata dapat direpresentasikan sebagai deret Fourier – superposisi harmonik cosinusoidal dan sinusoidal dari sinyal. Fungsi kosinus genap dan fungsi sinus ganjil. Oleh karena itu, karakteristik yang dinyatakan sebelumnya untuk fungsi kosinus tunggal atau fungsi sinus tunggal juga umumnya berlaku untuk jumlah fungsi kosinus atau jumlah fungsi sinus. Sekarang mari bahas Transformasi Hilbert itu sendiri. Gambar 13.22. menunjukkan fungsi transfer transformator Hilbert. Transformator Hilbert adalah blok pemrosesan sinyal dengan karakteristik khusus. Tujuan utamanya adalah untuk menggeser fase sinyal sinus sebesar 90° . Ini berarti bahwa kosinus diubah menjadi sinus dan sinus menjadi kosinus minus. Amplitudo tetap invarian di bawah Transformasi Hilbert. Karakteristik ini berlaku untuk semua jenis sinyal sinusoidal, yaitu frekuensi, amplitudo, atau fase apa pun. Oleh karena itu, mereka juga berlaku untuk semua harmonik dari semua jenis sinyal domain waktu. Hal ini disebabkan oleh fungsi alih trafo Hilbert yang ditunjukkan pada Gambar 13.22. – pada dasarnya itu hanya memanfaatkan karakteristik simetri sinyal domain waktu genap dan ganjil yang disebutkan di atas.

Memeriksa fungsi transfer dari transformator Hilbert, kami menemukan:

- Semua frekuensi negatif dikalikan dengan j , semua frekuensi positif dikalikan dengan $-j$. j adalah akar kuadrat imajiner positif dari -1
- Aturan $j \cdot j = -1$ berlaku
- Komponen spektral nyata, oleh karena itu, menjadi imajiner dan komponen imajiner menjadi nyata
- Perkalian dengan j atau $-j$ dapat membalikkan bagian negatif atau positif dari spektrum

Menerapkan Transformasi Hilbert ke sinyal kosinus, berikut ini diperoleh: Sebuah kosinus memiliki spektrum simetris murni nyata sekitar nol. Jika setengah negatif dari spektrum dikalikan dengan j , spektrum imajiner positif murni diperoleh untuk semua frekuensi negatif. Jika setengah positif dari spektrum dikalikan dengan $-j$, spektrum imajiner negatif murni diperoleh untuk semua frekuensi di atas nol. Spektrum sinus diperoleh.

Ini berlaku secara analog dengan Transformasi Hilbert dari sinyal sinus:

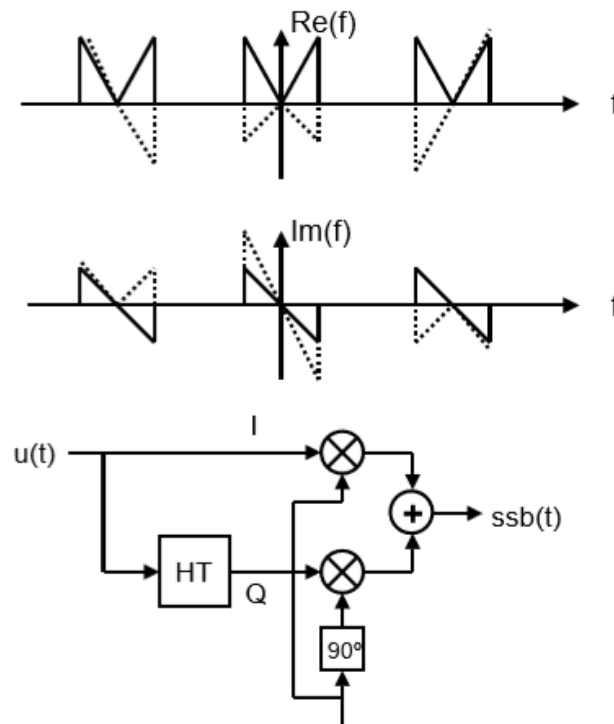
Dengan mengalikan spektrum sinus negatif imajiner positif dengan j , yang terakhir menjadi real negatif ($j \cdot j = -1$). Dengan mengalikan spektrum sinus positif imajiner negatif dengan $-j$, yang terakhir menjadi real positif murni ($-j \cdot -j = -(\sqrt{-1} \cdot \sqrt{-1}) = 1$). Spektrum kosinus minus diperoleh.

Pemetaan kosinus-ke-sinus dan sinus-ke-minus-kosinus oleh Transformasi Hilbert juga berlaku untuk semua harmonik dari semua jenis sinyal domain waktu.

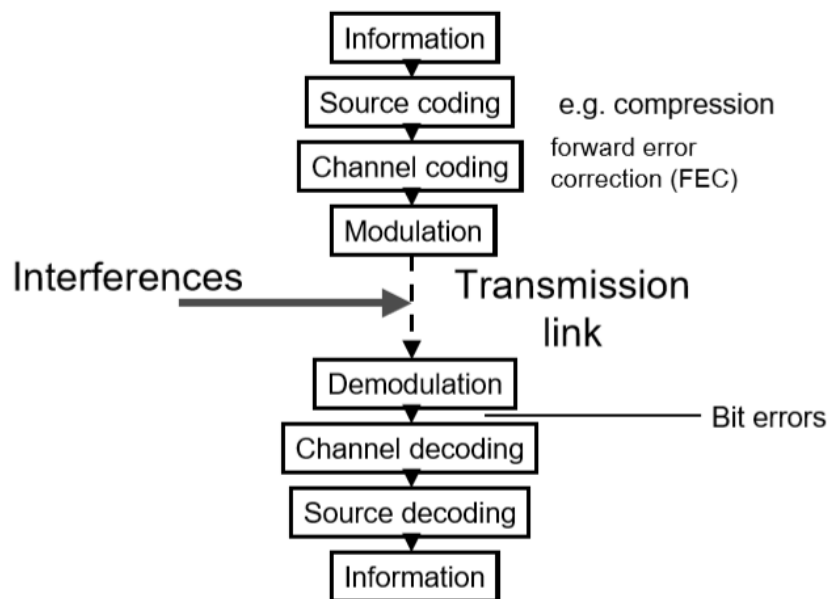
Ringkasnya, Transformasi Hilbert menggeser fase semua harmonik dari semua jenis sinyal domain waktu sebesar 90° , yaitu bertindak sebagai pemindah fase 90° untuk semua harmonik.

13.7. Aplikasi Praktis dari Transformasi Hilbert

Seringkali, sideband atau bagian dari sideband harus ditekan selama modulasi. Dengan modulasi pita sisi tunggal (modulasi SSB), misalnya, pita samping atas atau bawah harus ditekan, yang dapat dilakukan dengan berbagai cara. Misalnya, penyaringan lowpass sederhana dapat digunakan atau, seperti praktik umum di TV analog, penyaringan pita samping vestigial. Penyaringan lowpass yang keras memiliki kelemahan yaitu menghasilkan distorsi tunda kelompok yang signifikan. Metode terakhir dalam hal apa pun secara teknis rumit. Untuk waktu yang lama, bagaimanapun, alternatif untuk modulasi single-sideband telah tersedia, alternatif ini dikenal sebagai metode fase. Modulator pita sisi tunggal yang menggunakan metode fase beroperasi sebagai berikut: modulator IQ diumpankan dengan sinyal modulasi yang diterapkan tanpa dimodifikasi ke jalur I dan ke jalur Q dengan pergeseran fase 90° . Pergeseran fase plus atau minus 90° di jalur Q menghasilkan penekanan pita samping atas atau bawah, masing-masing.



Gambar 13.23. Aplikasi praktis Hilbert Transform untuk menekan sideband dalam modulasi SSB



Gambar 13.24. Transmisi informasi

Sulit untuk menerapkan pemindah fasa 90° yang ideal untuk semua harmonik sinyal pita dasar sebagai rangkaian analog. Implementasi digital tidak menjadi masalah – berkat Hilbert Transform. Trafo Hilbert adalah pemindah fasa 90° untuk semua komponen sinyal domain waktu nyata.

Gambar 13.23. menunjukkan penekanan sideband melalui modulator IQ dan transformator Hilbert. Sinyal baseband nyata langsung diumpankan ke jalur I dari modulator IQ dan ke jalur Q melalui transformator Hilbert. Garis kontinu pada $f=0$ mewakili spektrum sinyal pita dasar, garis putus-putus pada $f=0$ merupakan spektrum Transformasi Hilbert dari sinyal pita dasar.

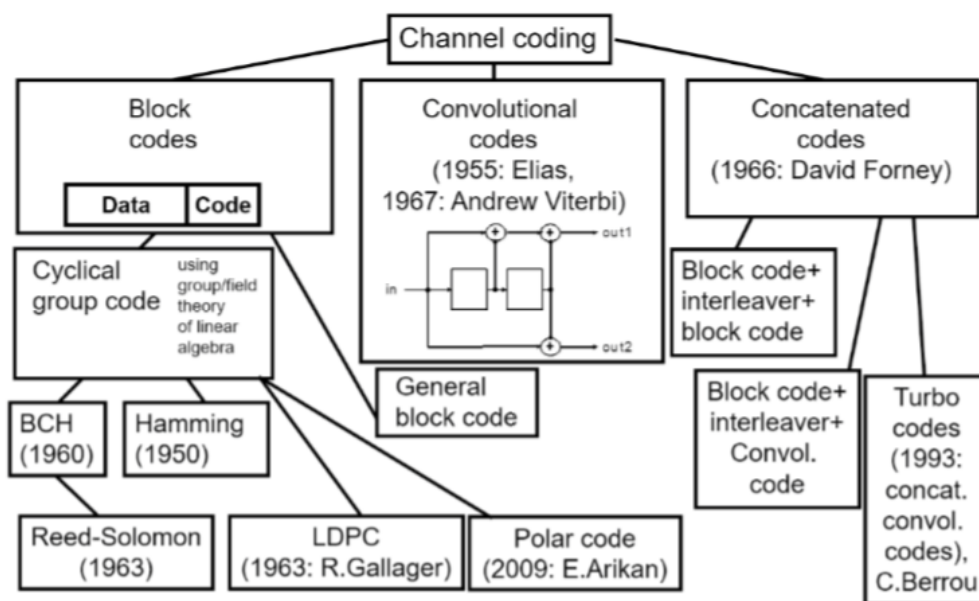
Dapat dilihat dengan jelas bahwa, di bawah Transformasi Hilbert, komponen imajiner simetris setengah putaran menjadi komponen nyata simetris cermin dan komponen nyata simetris cermin menjadi komponen imajiner simetris setengah putaran pada pita dasar.

Jika sinyal pita dasar yang tidak dimodifikasi kemudian dimasukkan ke jalur I dan Transformasi Hilbert dari sinyal pita dasar ke jalur imajiner, spektrum tentang pembawa modulator IQ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.22. diperoleh. Dapat dilihat bahwa dalam hal ini sideband bawah ditekan.

13.8. Pengkodean Channel/Koreksi Kesalahan Teruskan

Selain metode modulasi yang paling sesuai, proteksi kesalahan yang paling tepat, yaitu pengkodean channel, dipilih di antara karakteristik masing-masing channel transmisi. Tujuan saat ini adalah untuk mendekati Shannon-Limit sedekat mungkin. Bagian ini membahas mekanisme perlindungan kesalahan yang umum digunakan dan menciptakan dasar untuk metode transmisi di televisi digital.

Sebelum informasi ditransmisikan, pengkodean sumber (Gbr. 13.24.) digunakan untuk mengubahnya menjadi bentuk yang dapat ditransmisikan dalam ruang sesedikit mungkin. Ini berarti bahwa itu dikompresi sebaik mungkin dan dapat ditoleransi. Setelah itu, perlindungan kesalahan (Gbr. 13.24.) ditambahkan sebelum data dikirim dalam perjalanannya. Ini sesuai dengan pengkodean channel. Data yang dilindungi kesalahan kemudian dimodulasi secara digital ke pembawa sinusoidal setelah informasi dikirim dalam perjalanannya, mengalami interferensi seperti noise, distorsi linier dan nonlinier, interferensi diskrit dan pita lebar, intermodulasi, propagasi multipath, dll. Karena berbagai tingkat kualitas sinyal di ujung penerima (Gbr. 13.24.), ini menyebabkan kesalahan bit setelah demodulasi kembali ke datastream. Menggunakan proteksi kesalahan yang ditambahkan pada pemancar (FEC - Forward Error Correction), kesalahan kemudian dapat dikoreksi sampai batas tertentu di dekoder channel. Rasio kesalahan bit dikurangi kembali ke jumlah yang dapat ditoleransi, atau menjadi nol. Informasi tersebut kemudian diolah sedemikian rupa sehingga dapat disajikan. Yaitu. data didekompresi, jika perlu, yang sesuai dengan decoding sumber.



Gambar 13.25. Pengkodean channel

“Kotak alat” (Gbr. 13.25.) yang dapat digunakan untuk memberikan perlindungan kesalahan tidak sebesar yang diperkirakan. Dasar-dasar penting sebagian besar dibuat kembali pada tahun 1950 – 1970. Pada dasarnya, ada kode blok dan kode konvolusi. Kode blok (Gbr. 13.27.) didasarkan pada prinsip aljabar linier dan hanya melindungi blok data dengan blok perlindungan kesalahan. Dari data yang akan ditransmisikan, jenis checksum pada dasarnya dihitung yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah kesalahan telah merayap selama transmisi atau tidak, dan di mana kesalahan, jika ada, berada. Beberapa kode blok juga memungkinkan sejumlah kesalahan untuk diperbaiki. Kode convolutional (Gbr. 13.28.) menunda dan mengacak datastream dengan dirinya sendiri dan dengan demikian memperkenalkan "kecerdasan" tertentu ke dalam datastream yang akan ditransmisikan. Mitra dari convolutional coder adalah Viterbi-decoder yang dikembangkan oleh Andrew Viterbi pada tahun 1967.



contoh : DVB-S, DVB-T:

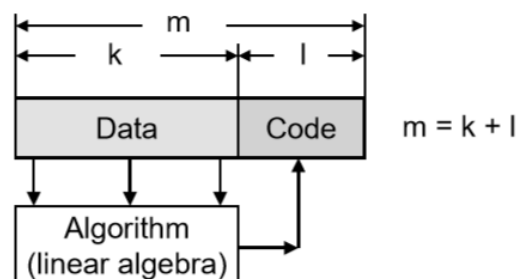
pengacak = penyebaran energi,

pembuat kode 1 = Buluh-Salomo,

interleaver waktu = Forney interleaver

pembuat kode 2 = pembuat kode konvolusi

Gambar 13.26. Koreksi Kesalahan Maju Gabungan

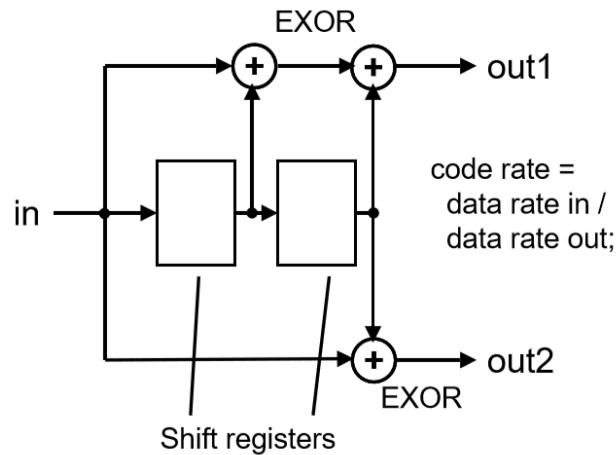


Contoh: kode DVB Reed-Solomon:

$k = 188$ byte, $l = 16$ byte, $m = 204$ byte

Gambar 13.27. Kode blok

Sebelum data dipasok ke bagian perlindungan kesalahan (Gbr. 13.26.), bagaimanapun, mereka terlebih dahulu diacak untuk membawa pergerakan ke dalam datastream, untuk memecah string panjang nol atau satu yang berdekatan menjadi lebih atau kurang data acak sungai. Ini dilakukan dengan mencampur dan operasi-EXOR pada urutan biner acak semu (PRBS). Di sisi penerima, datastream yang sekarang dienkrpsi harus dipulihkan dengan penguraian sinkron. Perebutan diikuti oleh FEC pertama. Datastream kemudian didistribusikan dalam waktu dengan cara interleaving waktu. Ini diperlukan agar selama deinterleaving di sisi penerima, kesalahan burst dapat dipecah menjadi kesalahan individu. Ini dapat diikuti oleh FEC kedua.



Contoh : GSM, UMTS, DVB inner coder

Gambar 13.28. Pengkodean konvolusi

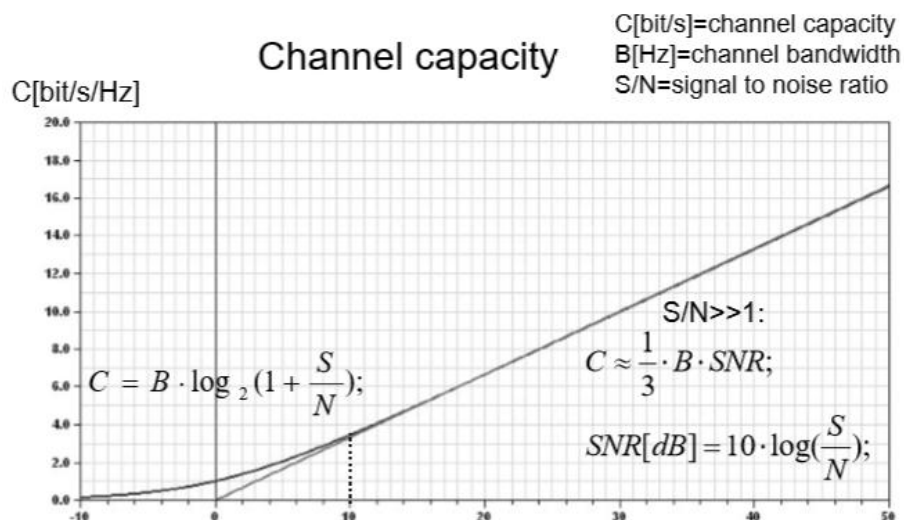
Ada juga perlindungan kesalahan gabungan (Gbr. 13.25. dan 13.26.) (David Forney, 1966). Dimungkinkan untuk menggabungkan kedua kode blok dengan kode blok dan kode blok dengan kode konvolusi atau juga kode konvolusi dengan kode konvolusi. Kode konvolusi yang digabungkan disebut kode turbo. Mereka hanya muncul di tahun 90-an.

Itu tergantung pada pilihan metode modulasi dan perlindungan kesalahan seberapa dekat Shannon-Limit didekati. Shannon menentukan batas teoritis kecepatan data dalam channel terdistorsi dari bandwidth tertentu. Rumus yang tepat untuk ini adalah:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right);$$

Jika rasio sinyal/noise lebih dari 10 dB, rumus berikut juga dapat digunakan:

$$C \left[\frac{\text{Bit}}{s} \right] \approx \frac{1}{3} \cdot B[\text{Hz}] \cdot \text{SNR}[\text{dB}]$$

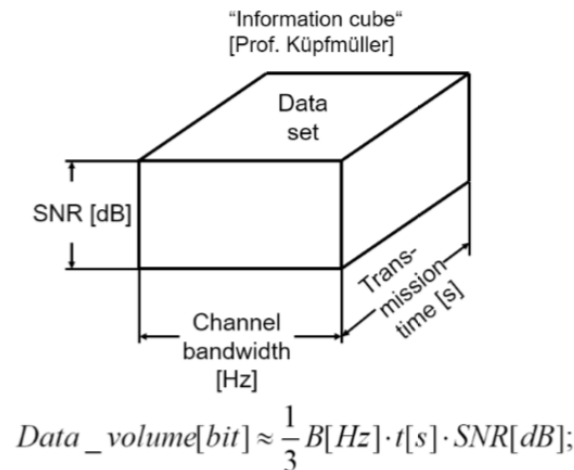


Gambar 13.29. Kapasitas channel

Tergantung pada sifat channel transmisi, sejumlah data dapat ditransmisikan dalam jangka waktu yang lebih pendek atau lebih lama. Bandwidth channel yang tersedia

menentukan tingkat simbol maksimum yang mungkin. Rasio sinyal/noise yang ada di channel kemudian menentukan metode modulasi yang akan dipilih, dalam kombinasi dengan perlindungan kesalahan yang sesuai. Hubungan ini diilustrasikan oleh apa yang disebut kubus informasi Prof. Küpfmüller (Gbr. 13.30.).

FEC yang sebenarnya digunakan dalam proses transmisi akan dibahas dalam bab yang relevan:

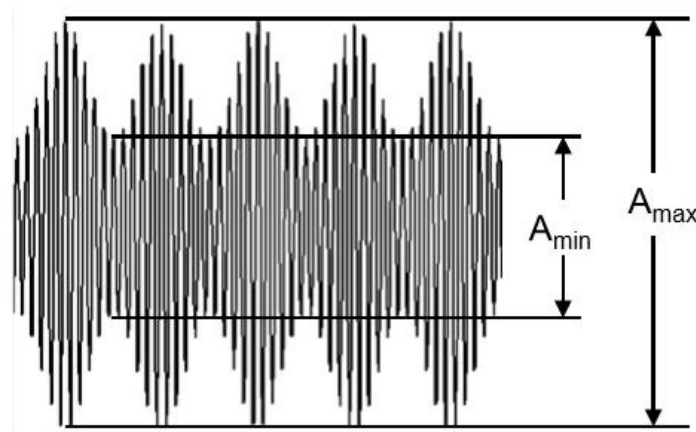


Gambar 13.30. kubus informasi

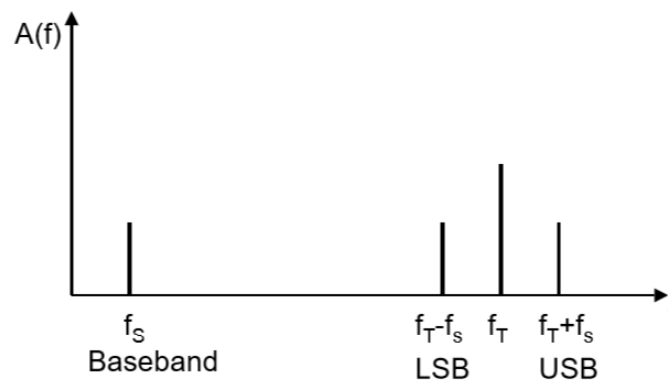
13.9. Perbandingan dengan Metode Modulasi Analog

Di era metode transmisi digital, masih layak untuk melihat metode modulasi analog tradisional yang telah menjadi bagian dari kehidupan selama lebih dari 100 tahun, dari awal memasukkan kode Morse ke radio AM dan kemudian radio FM yang, karena kualitasnya, masih memberikan siaran audio digital untuk mendapatkan uangnya. Berdekatan dengan pembawa termodulasi frekuensi, bagaimanapun, sinyal termodulasi digital sekarang juga sedang ditransmisikan (misalnya IBOC, radio HD) itulah sebabnya masuk akal untuk memperkenalkan diri lagi dengan metode modulasi analog. Oleh karena itu, dalam bagian ini, fitur khusus dari metode modulasi tradisional:

- Modulasi amplitudo (AM)
- Modulasi frekuensi (FM)
- Modulasi fase (PM)



Gambar 13.31. Modulasi Amplitudo



Gambar 13.32. Spektrum modulasi amplitudo (AM) dengan sinyal baseband, lower sideband (LSB) dan upper sideband (USB)

Pada paruh kedua abad ke-19, para insinyur komunikasi pemula dihadapkan pada pertanyaan tentang bagaimana menyampaikan pesan melalui kabel dan tanpa kabel dari satu tempat ke tempat lain. Varian pertama transmisi pesan melalui kabel adalah telepon dan telegram. Dalam telepon, suara diubah oleh mikrofon karbon menjadi variasi amplitudo tegangan listrik dan ditransmisikan sebagai sinyal pita dasar murni melalui channel dua kawat. Dalam kasus telegram, tegangan langsung dinyalakan dan dimatikan, sehingga memungkinkan, dengan bantuan alfabet Morse, untuk mengirimkan pesan teks dari titik A ke titik B. Alfabet Morse dengan demikian sebenarnya sudah menjadi jenis pengkodean sumber, bekerja dengan pengurangan redundansi. Kode pendek digunakan untuk huruf yang sering muncul dalam bahasa tersebut dan kode panjang digunakan untuk huruf yang jarang muncul. Setelah penemuan dan penelitian gelombang elektromagnetik, kemudian masalah penerapannya dalam transmisi pesan nirkabel. Sinyal baseband (suara, berbagai teks) kemudian terkesan pada pembawa sinusoidal dari frekuensi tertentu dan pembawa ini kemudian mengirimkan informasi dari antena pemancar ke satu atau lebih antena penerima. Kebutuhan untuk memilih frekuensi transmisi yang sesuai, yaitu frekuensi pembawa, dalam rentang frekuensi atau panjang gelombang yang benar dan memodulasinya dengan informasi yang akan dikirim, pertama-tama muncul dari fakta bahwa gelombang elektromagnetik akan memancar dari antena pemancar hanya ketika panjang gelombang $= c/f$ mencapai orde besarnya dimensi antena. Tergantung pada rentang frekuensi yang dipilih, pesan-pesan ini kemudian dapat ditransmisikan melalui jarak yang lebih jauh atau lebih kecil. Tetapi di atas segalanya, adalah mungkin untuk memilih frekuensi pembawa yang berbeda dan dengan demikian mengirim banyak pesan yang berbeda secara bersamaan, sebuah prinsip yang berlaku hingga saat ini. Berbeda dengan masa lalu, bagaimanapun, masalah utama saat ini adalah bahwa sangat banyak orang ingin mengirimkan sejumlah besar informasi pada saat yang sama, dengan masalah yang dihasilkan dari kurangnya frekuensi dan dengan demikian harus mengontrol ketersediaan frekuensi. Pada awal teknologi komunikasi tidak peduli apakah seluruh band diduduki atau hanya sebagian saja, berbeda dengan hari ini di mana sumber daya frekuensi langka dan harus dikelola dengan baik. Ada organisasi internasional terpisah yang khusus didirikan untuk tujuan ini yang menangani masalah ini.

13.10. Modulasi Amplitudo

Dalam modulasi amplitudo, informasi yang akan ditransmisikan terkesan pada amplitudo pembawa sinusoidal (Gbr. 13.31.). Jenis modulasi ini dapat dianggap hanya sebagai mengalikan sinyal modulasi dengan sinyal pembawa. Jika sinyal pembawa dikalikan dengan nilai nol, hasilnya juga nol. Jika sinyal pembawa dikalikan dengan nilai tertentu yang bergantung pada informasi, amplitudo pembawa tertentu diperoleh.

Varian paling sederhana dari modulasi amplitudo adalah amplitudo shift keying (ASK). Dalam transmisi tipe Morse asli, pembawa hanya dinyalakan dan dimatikan. Karakter asli dapat didekodekan kembali dari durasi periode aktif dan nonaktif. Namun, sekarang akan mempertimbangkan kasus modulasi pembawa sinusoidal atau cosinusoidal dengan sinyal modulasi sinusoidal atau cosinusoidal. Menggunakan kosinus alih-alih sinus untuk mewakili situasi menghasilkan teorema penjumlahan yang lebih sederhana yang dapat digunakan untuk menjelaskan fisika. Sinyal modulasi digambarkan sebagai:

Menafsirkan ulang ini, komponen pembawa sekarang diproduksi di tengah pita, ditambah dua pita samping - satu lebih rendah dari pembawa dengan frekuensi modulasi dan satu lebih tinggi dari pembawa dengan frekuensi modulasi. Mengatur komponen DC ke nol menghasilkan modulasi amplitudo dengan pembawa yang ditekan. Tergantung pada komponen DC yang ditambahkan ke komponen modulasi, komponen pembawa yang lebih besar atau lebih kecil dihasilkan.

Dapat dilihat bahwa dua sideband dari masing-masing frekuensi modulasi tertinggi dibuat (Gbr. 13.32.) dan sebagai hasilnya, bandwidth minimum yang diperlukan pada domain RF harus lebih besar dari/sama dengan dua kali frekuensi modulasi tertinggi:

$$b_{RFAM} \geq 2 \cdot f_{signal} ;$$

Jumlah modulasi amplitudo pembawa sinusoidal atau cosinusoidal ditentukan oleh faktor modulasi m (Gbr. 13.31.). Jika A_{max} sesuai dengan amplitudo maksimum dari pembawa termodulasi dan A_{min} sesuai dengan amplitudo minimum dari sinyal pembawa termodulasi, faktor modulasi m didefinisikan sebagai:

$$m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}}$$

Dalam modulasi amplitudo, informasi yang akan ditransmisikan terletak di amplitudo pembawa termodulasi. Nonlinier dalam channel transmisi memiliki efek langsung sebagai distorsi amplitudo dalam sinyal baseband yang didemodulasi. yang berarti bahwa sistem AM harus sangat linier. Namun, sistem transmisi nyata juga menunjukkan efek gangguan dalam bentuk noise. Dalam kasus AM, sinyal baseband dengan aditif white Gaussian noise (AWGN) yang ditumpangkan diperoleh setelah demodulasi. Densitas daya noise di sini konstan dan tidak bergantung pada frekuensi sinyal modulasi (Gbr. 13.33.). Rasio sinyal/noise pita dasar yang dihasilkan (Gbr. 13.34.) secara langsung berhubungan secara linier dengan rasio sinyal/noise RF atau mungkin sedikit digeser secara paralel karena karakteristik demodulasi negatif.

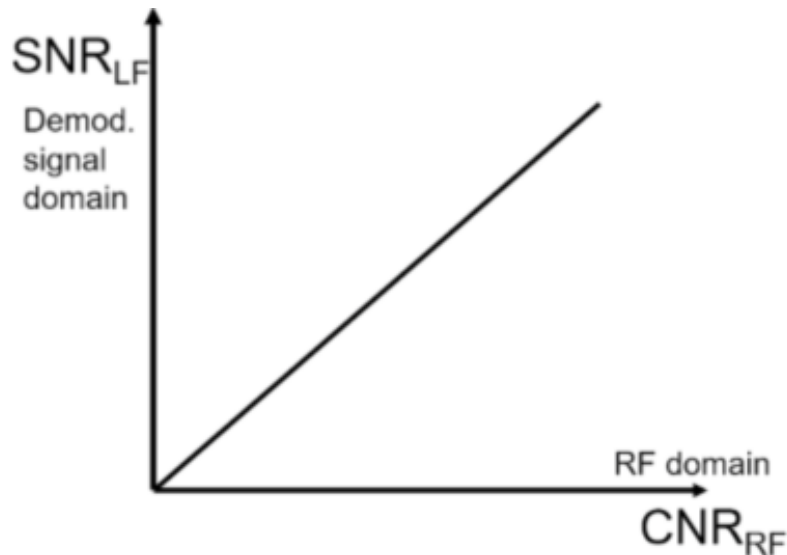


Gambar 13.33. Rasio sinyal/noise LF di AM sebagai fungsi dari frekuensi sinyal pita dasar

13.11. Varian Modulasi Amplitudo

Dalam modulasi amplitudo, berbagai varian telah berhasil dalam praktiknya yaitu:

- AM tradisional dengan pembawa yang tidak ditekan dan kedua sideband,
- AM dengan pembawa yang ditekan dan kedua sideband,
- Modulasi pita sisi tunggal dengan pembawa yang tidak tertekan,
- Modulasi pita sisi tunggal dengan pembawa yang ditekan,
- Modulasi pita sisi vestigial.

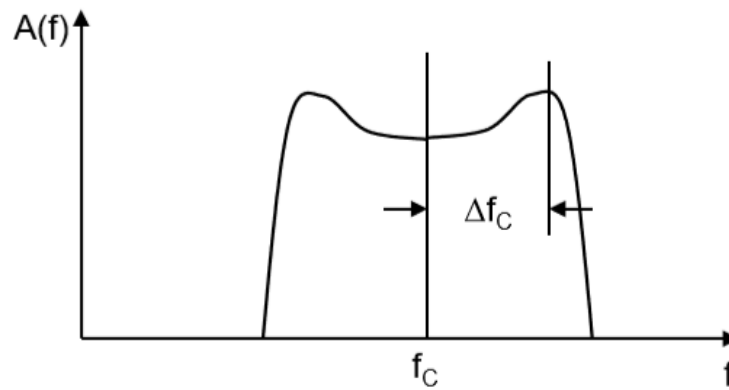


Gambar 13.34. Rasio sinyal/noise LF AM sebagai fungsi dari rasio pembawa/noise RF

Dalam modulasi single-sideband, baik sideband atas atau bawah sepenuhnya ditekan sedangkan dalam modulasi sideband vestigial satu sideband hanya sebagian ditekan. Penggunaan praktisnya hanyalah penghematan bandwidth karena informasi hadir sepenuhnya baik di sideband atas maupun di sideband bawah. Sideband yang relevan sebelumnya ditekan sepenuhnya atau sebagian oleh penyaringan analog dan kemudian dengan menerapkan transformator Hilbert atau pemindah fase 90 derajat, dan modulator IQ. Pada vestigial sideband modulation (VSB), filter analog dapat dibuat lebih ringan pada ujung transmisi dan penerima.

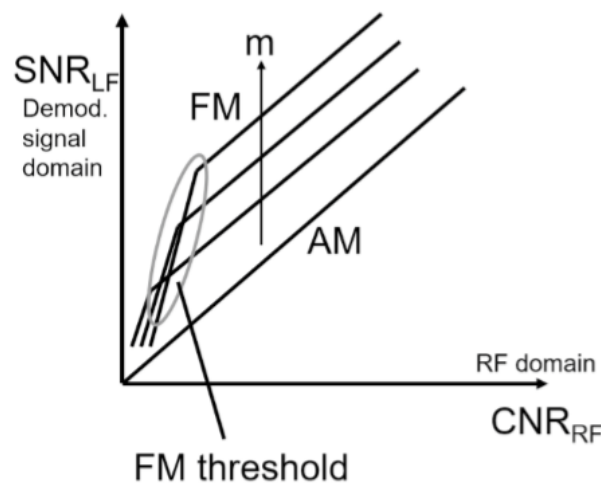
13.12. Modulasi Frekuensi

Dalam modulasi frekuensi (Gbr. 13.35.), informasi yang akan ditransmisikan dipengaruhi oleh frekuensi pembawa, yaitu frekuensi pembawa berubah sampai batas tertentu tergantung pada informasi yang akan ditransmisikan. Varian paling sederhana dari modulasi frekuensi adalah frequency shift keying (FSK). Prinsip modulasi frekuensi dapat ditelusuri kembali ke Edwin Howard Armstrong (1933) yang juga menemukan penerima superheterodyne. Tujuannya adalah untuk menjadi lebih tidak sensitif terhadap gangguan atmosfer. Saat ini, modulasi frekuensi sangat penting terutama di bidang penyiaran suara VHF. Modulasi frekuensi (FM) cukup toleran terhadap nonlinier dan jauh lebih tidak sensitif terhadap pengaruh seperti noise.



Gambar 13.35. Spektrum modulasi frekuensi

Inilah sebabnya mengapa pemancar FM sebagian besar beroperasi dalam mode kelas C, yaitu amplifler itu sendiri sangat nonlinier, tetapi ini juga berarti bahwa mereka jauh lebih efisien. Yaitu, FM terutama digunakan di mana persyaratan channel yang sesuai ditetapkan (SNR Rendah, nonlinier). Dalam transmisi TV analog melalui satelit, amplifler tabung perjalanan (TWA), yang cukup nonlinier, digunakan baik di terminal bumi maupun di satelit. Selain itu, SNR sekitar 10 dB karena jarak yang jauh antara satelit dan Bumi sekitar 36000 km.



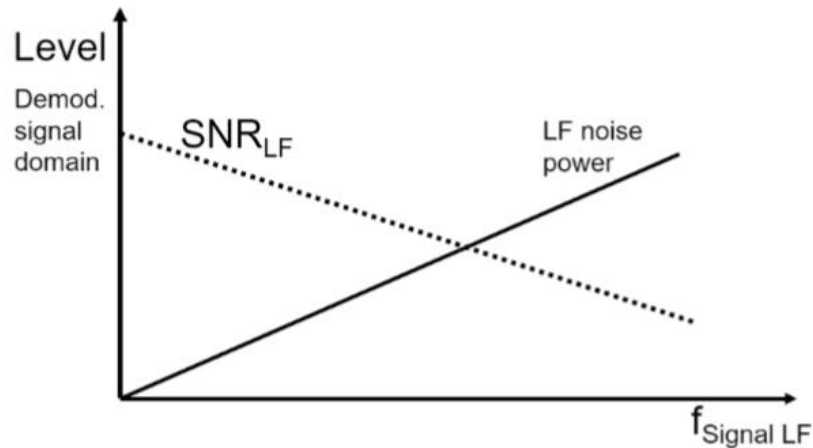
Gambar 13.36. LF SNR dalam modulasi frekuensi sebagai fungsi dari RF CNR

Semua komponen sinyal di channel di sini masing-masing di bawah 10% atau 1%. Garis spektrum yang dihasilkan dapat ditentukan dengan fungsi Bessel. Membatasi bandwidth menyebabkan distorsi nonlinier dalam sinyal yang didemodulasi. Penyebaran bandwidth di channel menghasilkan keuntungan di LF SNR sehubungan dengan modulasi amplitudo di atas apa yang disebut ambang FM (Gbr. 13.36.). Keuntungan ini dapat dinyatakan sebagai:

$$FM_{gain_SN_LF} = 10 \cdot \log(3 \cdot M^3) \text{ dB}$$

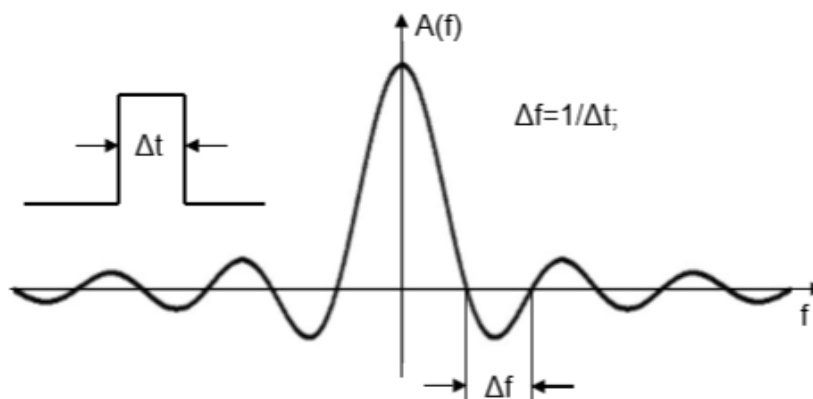
Penguatan FM ini hanya ada di atas ambang FM yang merupakan SNR dalam domain RF sekitar:

$$FM_{threshold} \approx 7 \dots 10 \text{ dB} + 10 \cdot \log((2 \cdot M + 1)) \text{ dB}$$



Gambar 13.37. Rasio LF signal-to-noise dari modulasi frekuensi sebagai fungsi dari frekuensi sinyal baseband, “delta noise”, “triangular noise”

Ambang FM itu sendiri didefinisikan sebagai penurunan tinggi yang tidak proporsional dibandingkan dengan penguatan FM pada titik 1-dB. Di bawah ambang FM, sinyal noise seperti lonjakan terjadi karena diskontinuitas fase pembawa. Dalam kasus FM pita lebar yang biasanya digunakan di televisi analog oleh satelit, cipratan putih kecil kemudian dihasilkan dalam gambar. Noise LF yang terjadi dengan modulasi frekuensi disebut "derau delta" atau "derau segitiga" (Gbr. 13.37.), yaitu kepadatan daya derau tidak konstan tetapi meningkat dengan meningkatnya bandwidth LF. Untuk mengatasi hal ini, preemphasis diterapkan pada akhir transmisi, yaitu frekuensi yang lebih tinggi lebih ditekankan. Di ujung penerima, deemphasis kemudian diterapkan, menurunkan amplitudo frekuensi yang lebih tinggi lagi sesuai dengan karakteristik preemphasis sehingga respons frekuensi linier diperoleh lagi.

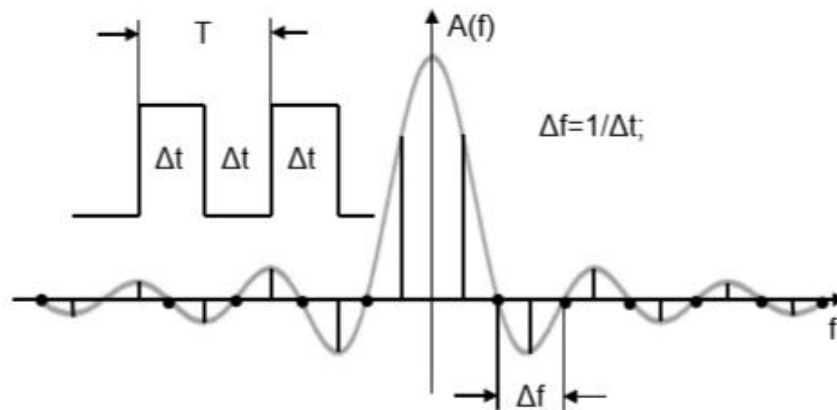


Gambar 13.38. Spektrum denyut persegi panjang tunggal

13.13. Pembatasan Pita dari Sinyal Pembawa Termulasi

Sinyal pembawa termulasi hanya boleh menempati channel yang ditentukan; mereka tidak boleh mengganggu channel yang berdekatan atau bahkan lebih jauh. Ini berlaku untuk semua jenis modulasi, apakah modulasi amplitudo, fase atau frekuensi atau apakah analog atau digital. Untuk tujuan ini, langkah-langkah diambil baik di sisi pita dasar maupun di sisi RF. Sinyal baseband itu sendiri harus sudah dibatasi band. Di sisi RF, juga, tindakan pencegahan untuk melindungi channel yang berdekatan diambil dalam banyak kasus dengan menggunakan filter SAW pada tingkat frekuensi menengah.

Selain itu, perangkat harmonik dan filter topeng yang bergantung pada channel digunakan langsung di jalur RF.



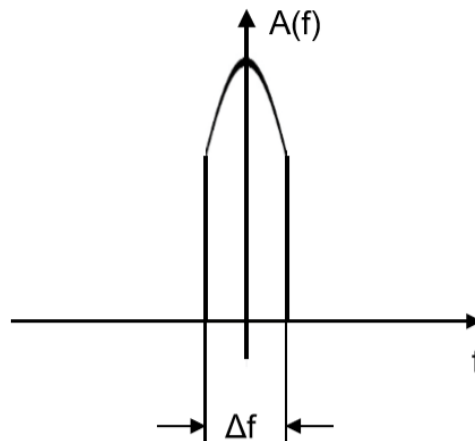
Gambar 13.39. Spektrum garis dari urutan simetris denyut persegi panjang

Dalam hal modulasi digital, khususnya, penyaringan pita dasar masih akan dibahas secara singkat pada poin ini karena hal ini menjadi perhatian di setiap TV digital atau standar transmisi penyiaran suara yang menggunakan modulasi pembawa tunggal. Dengan demikian hal ini dapat ditangani di sini secara terpusat terlebih dahulu. Jika pembawa sinusoidal dikunci oleh gelombang persegi seperti halnya dengan modulasi digital (amplitudo dan penguncian pergeseran fasa), ini menghasilkan perkalian gelombang persegi dengan sinyal sinusoidal dalam domain waktu dan konvolusi dengan transformasi Fourier dari sinyal gelombang persegi dengan transformasi Fourier dari sinyal sinusoidal dalam domain frekuensi. Jika denyut gelombang persegi tunggal dari minus tak terhingga ke plus tak terhingga hadir, spektrum $\sin(x)/x$ berbentuk kontinu dengan nol yang sesuai dengan kebalikan dari durasi denyut gelombang persegi akan diperoleh (Gbr. 13.38.).

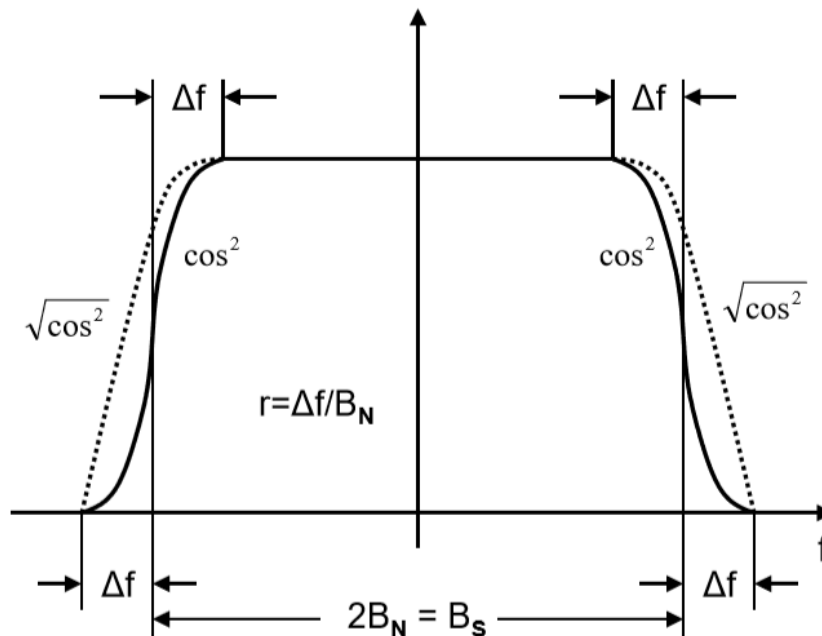
Urutan denyut persegi panjang, atau gelombang persegi, menghasilkan spektrum garis yang dibentuk ke fungsi $\sin(x)/x$. Garis-garis spektral terjadi dengan jarak periode T . Jika periode tersebut sesuai dengan tepat dua kali lebar denyut gelombang persegi, spektrum garis dengan frekuensi maksimum yang mungkin diperoleh, memberikan komponen spektral yang berjarak $1/(2 \cdot \Delta t)$ (Gbr. 13.39.). Jika periode memiliki durasi yang lebih lama, garis spektral bergerak ke arah frekuensi yang lebih rendah. Tetapi akan selalu ada spektrum garis periodik kelipatan fundamental yang sesuai dengan kebalikan dari periode urutan denyut gelombang persegi. Jika periodenya berfluktuasi dan durasi denyut gelombang persegi konstan, bentuk $\sin(x)/x$ kurang lebih "termodulasi", sehingga menghasilkan spektrum keseluruhan berbentuk $\sin(x)/x$ dalam kasus modulasi digital dengan sinyal data dengan penyebaran energi yang baik. Namun, hanya dasar yang diperlukan untuk demodulasi, yaitu semua harmonik dapat ditekan. Ini dilakukan secara maksimal dalam bentuk persegi panjang (Gbr. 13.40.).

Sinyal kontrol pada input modulator IQ $i(t)$ dan $q(t)$ awalnya adalah sinyal gelombang persegi dan memenuhi kondisi yang disebutkan di atas. Mereka harus dibatasi pita sebelum dipasok ke modulator IQ. Dalam hal modulasi digital pada tingkat pita dasar, pembatasan pita ini dilakukan oleh filter low-pass khusus yang "bersikap baik". Ini dibangun dalam banyak kasus, dan selalu digital hari ini, sebagai filter akar cosinus kuadrat dengan karakteristik roll-off khusus. Faktor roll-off r menjelaskan di sini di mana penyaringan dimulai dari dalam kaitannya dengan bandwidth Nyquist. Kurva filter simetris dan memiliki pusat pada titik yang disebut Nyquist. Penyaringan cocok yang sama dilakukan lagi di penerima, menghasilkan kurva filter total. Karakteristik

filter dirancang untuk menghasilkan overshoot minimum pada sinyal terdemodulasi $i(t)$ dan $q(t)$. Gambar 13.41. menunjukkan spektrum RF yang dihasilkan. Kurva putus-putus sesuai dengan spektrum setelah modulator dan kurva kontinu sesuai dengan spektrum setelah penyaringan tambahan (filter yang cocok) di demodulator. Dalam kasus GSM, penyaringan Gaussian menggantikan penyaringan cosinus. Namun, dalam DVB-S, DVBS2 dan DVB-C, digunakan penyaringan cosinus kuadrat atau akar cosinus kuadrat yang ditunjukkan pada Gambar 13.41. Di sisi pita dasar, spektrum di sebelah kiri sumbu vertikal dapat dibayangkan terdiri dari frekuensi negatif; sumbu vertikal sesuai dengan pusat pita channel di sisi RF.



Gambar 13.40. Penekanan harmonik persegi panjang (representasi linier)

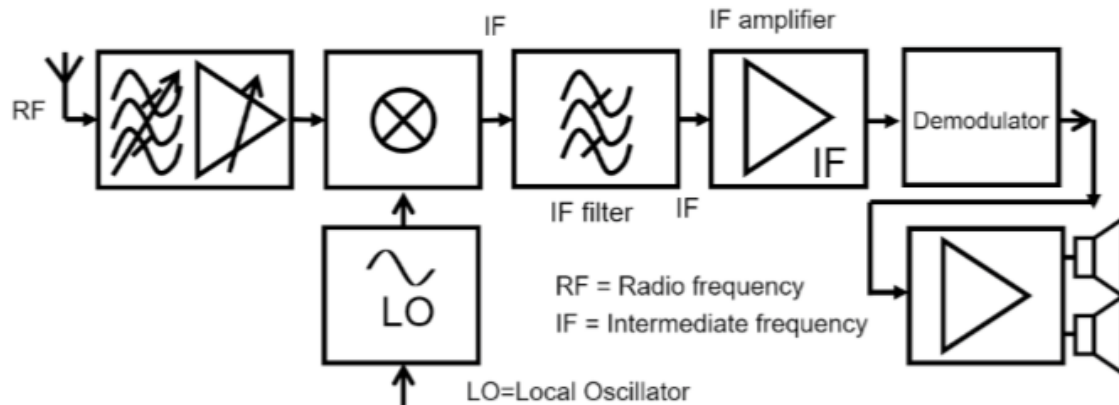


Gambar 13.41. Penyaringan roll-off dari sinyal yang dimodulasi secara digital

13.14. Ringkasan

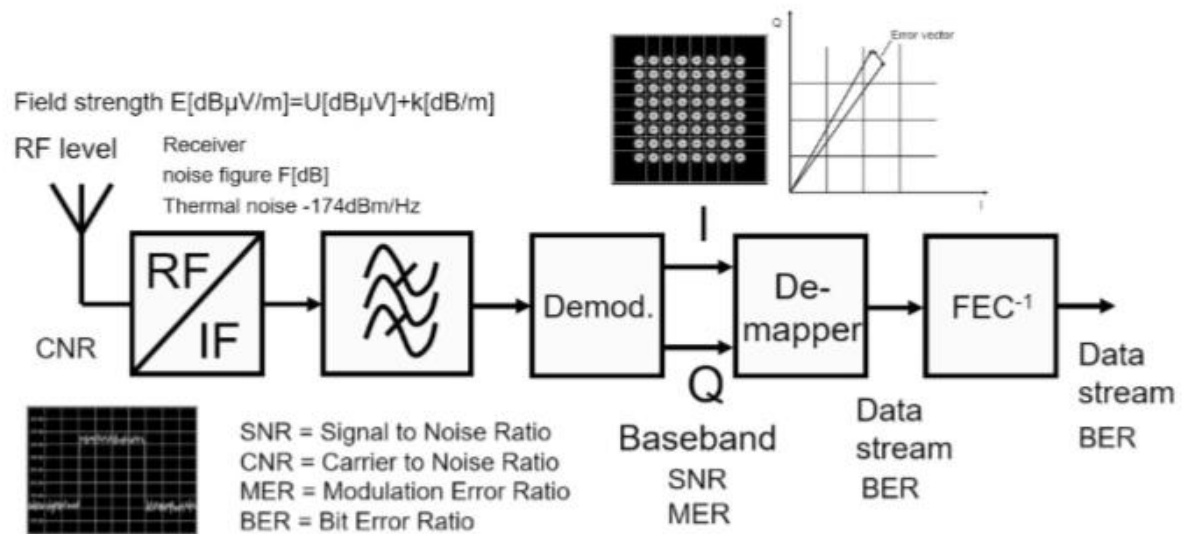
Dalam bab ini, banyak prinsip dasar yang mendasari standar transmisi video dan audio telah diulang atau dibuat ulang. Pemahaman dasar modulasi pembawa tunggal (modulasi SC) juga merupakan prasyarat untuk pemahaman modulasi multicarrier (modulasi MC). Sementara modulasi pembawa tunggal adalah subjek dari banyak standar transmisi, yang lain menggunakan modulasi multicarrier, tergantung pada karakteristik dan persyaratan channel transmisi. Diagram blok 13.42. dan 13.43. adalah

diagram dasar yang akan digunakan untuk memahami semua standar transmisi siaran seperti DVB-S/S2, DVB-T/T2, DVB-S/S2, ATSC, ISDB-T, DAB/DAB+, dll. Standar ini akan menjadi dijelaskan dalam bab-bab berikutnya.



Gambar 13.42. Diagram blok dasar penerima termasuk penguat RF, pemilihan awal RF, konverter RF/IF (mixer), pemilihan IF (filter IF), penguat IF, demodulator, dan pemrosesan sinyal pita dasar;

diagram blok penerima ini berlaku untuk semua standar transmisi siaran DVB-S/S2, DVB-T/T2 dan DVB-C/C2, dll.



Gambar 43. Definisi parameter CNR = Carrier to Noise Ratio, SNR = Signal to Noise Ratio, BER = Bit Error Ratio dan MER = Modulation Error Ratio;

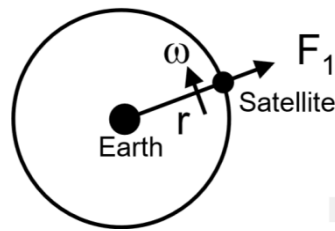
CNR didefinisikan sebagai Carrier to Noise Ratio pada konektor input receiver; SNR didefinisikan sebagai Signal to Noise Ratio pada titik demodulasi; BER adalah Rasio Kesalahan Bit dalam datastream yang didemodulasi; diagram blok ini berlaku untuk semua standar transmisi siaran DVB-S/S2, DVB-T/T2 dan DVB-C/C2, dll.

BAB 14

MENGIRIMKAN SINYAL TELEVISI DIGITAL MELALUI SATELIT – DVB-S/S2/S2x

Saat ini, sinyal televisi analog diterima secara luas oleh satelit karena jenis pemasangan ini menjadi sangat sederhana dan murah. Sementara itu, penerimaan satelit analog di Eropa sepenuhnya digantikan oleh DVB-S atau DVB-S2 - Digital Video Broadcasting by satellite. Dalam bab ini, metode transmisi sinyal TV yang dikodekan sumber MPEG melalui satelit menggunakan DVB-S, DVB-S2 atau DVB-S2x dijelaskan.

Gaya sentrifugal:



$$F_1 = m_{\text{sat}} \cdot \omega^2 \cdot R;$$

$$M_{\text{sat}} = \text{massa satelit}$$

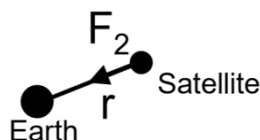
$$\Omega = 2\pi / T = \text{kecepatan sudut}$$

$$\pi = 3.141592654 = \text{lingkaran bundar}$$

$$T = 1 \text{ hari} = 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 86400;$$

Gambar 14.1. Gaya sentrifugal dari satelit geostasioner

Setiap satelit komunikasi terletak geostasioner (Gbr. 14.1., 14.2., dan 14.3.) di atas khatulistiwa dalam orbit sekitar 36.000 km di atas permukaan bumi. Ini berarti bahwa satelit-satelit ini diposisikan sedemikian rupa sehingga mereka bergerak mengelilingi Bumi dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan rotasi Bumi itu sendiri, yaitu sekali per hari. Hanya ada satu posisi orbit, pada jarak konstan sekitar 36.000 km dari permukaan bumi, di mana hal ini dapat dicapai, satu-satunya titik di mana gaya sentrifugal satelit dan tarikan gravitasi bumi saling meniadakan. Namun, berbagai satelit dapat diposisikan pada berbagai derajat bujur, yaitu posisi sudut di atas permukaan bumi. Sebagai contoh, ASTRA diposisikan pada 19.20 BT. Karena posisi satelit di atas khatulistiwa inilah semua antena penerima satelit mengarah ke Selatan di belahan bumi Utara, dan ke Utara di belahan bumi Selatan.



$$F_2 = \gamma \cdot m_{\text{Earth}} \cdot m_{\text{Sat}} / r^2;$$

$$m_{\text{Erde}} = \text{massa Bumi}$$

$$\gamma = \text{konstanta gravitasi} = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2;$$

Gambar 14.2. Gaya sentripetal yang bekerja pada satelit geostasioner



Perbandingan kondisi :

gaya sentrifugal = gaya sentripetal

$$m_{\text{Sat}} \cdot \omega^2 \cdot r = \gamma \cdot m_{\text{Earth}} \cdot \text{Sat} / r^2 ;$$

$$r = (\gamma \cdot m_{\text{Earth}} / \omega^2)^{1/3} ;$$

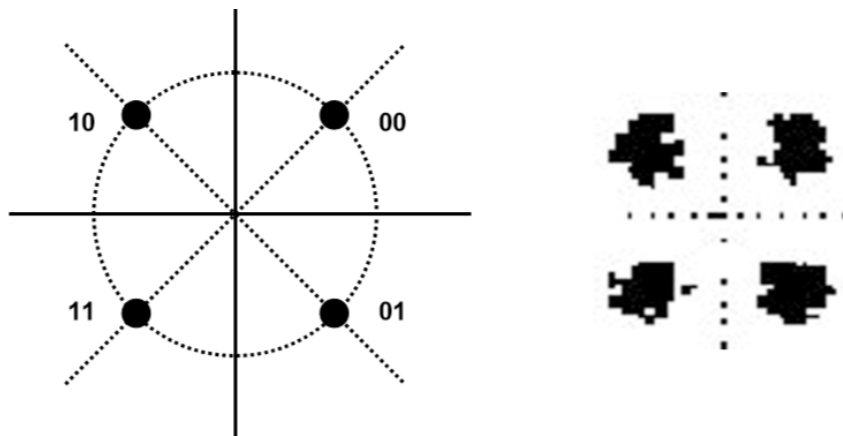
$$r = 42220 \text{ km} ;$$

$$d = r - r_{\text{Erde}} = 42220 \text{ km} - 6370 \text{ km} = 35850 \text{ km} ;$$

Gambar 14.3. Kondisi keseimbangan

Data orbit satelit geostasioner dapat dihitung berdasarkan hubungan berikut: Satelit bergerak dengan kecepatan satu hari per orbit mengelilingi Bumi. Ini menghasilkan gaya sentrifugal berikut: Satelit ditarik oleh Bumi dengan gaya tarik gravitasi tertentu karena ketinggian orbitnya: Kedua gaya, gaya sentrifugal dan gaya sentripetal, harus berada dalam keseimbangan. Dari sini, dimungkinkan untuk menentukan orbit satelit geostasioner (Gbr. 14.1. hingga 14.3.).

Dibandingkan dengan orbit pesawat ulang-alik, yaitu sekitar 400 km di atas permukaan bumi, satelit geostasioner jauh dari Bumi, sekitar sepersepuluh perjalanan ke bulan. Satelit geostasioner diluncurkan, mis. oleh pesawat ulang-alik atau oleh sistem pembawa serupa, pertama-tama harus didorong ke orbit yang jauh ini dengan menembakkan roket tambahan (motor apogee). Dari sana, mereka tidak akan pernah kembali ke atmosfer bumi. Sebaliknya, sesaat sebelum cadangan bahan bakar mereka untuk koreksi jalur habis, mereka harus didorong keluar ke dalam apa yang disebut orbit "pemakaman satelit" yang bahkan lebih jauh. Hanya satelit yang dekat dengan bumi dalam orbit nonstasioner yang dapat "dikumpulkan" lagi. Sebagai perbandingan - waktu orbit satelit dekat bumi yang, pada prinsipnya, juga termasuk Stasiun Luar Angkasa Internasional ISS atau pesawat ulang-alik, adalah sekitar 90 menit per orbit dengan kecepatan sekitar 27.000 km/jam.



Gambar 14.4. Parameter modulasi dalam DVB-S (QPSK, kode Gray)

Tapi sekarang mari kembali ke DVB-S. Sistem satelit yang sama dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal TV analog dan sinyal TV digital. Transmisi satelit TV dilakukan melalui apa yang disebut Ku-band. Penyedia satelit utama di Eropa adalah SES Astra dan Eutelsat. Uplink satelit antara sekitar 14 dan 18 GHz dan downlink antara 11 dan 13 GHz.

Ratusan program di Eropa dapat diterima baik sebagai sinyal analog maupun sebagai sinyal digital melalui satelit dan banyak dari program ini benar-benar gratis untuk mengudara.

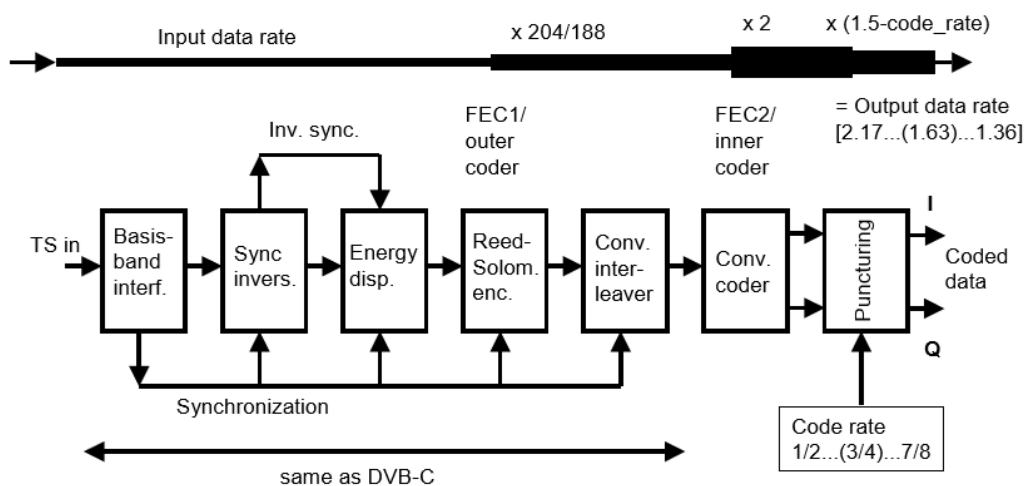
Pada bagian berikut, teknik untuk mentransmisikan televisi digital melalui satelit akan dijelaskan. Bab ini juga menjadi dasar untuk memahami televisi terestrial digital (DVB-T). Kedua sistem menggunakan mekanisme perlindungan kesalahan yang sama tetapi dalam DVB-T, metode modulasi yang jauh lebih rumit digunakan.

Metode transmisi DVB-S didefinisikan dalam Standar ETSI ETS 300421 “Sistem Penyiaran Digital untuk Layanan Televisi, Suara dan Data; Struktur Pembangkitan, Pengkodean Channel, dan Modulasi untuk Layanan Satelit 11/12 GHz” dan diadopsi pada tahun 1994.

14.1. Parameter Sistem DVB-S

Metode modulasi yang dipilih untuk DVB-S adalah *quadrature phase shift keying* (QPSK). Untuk beberapa waktu, penggunaan modulasi 8PSK sebagai pengganti QPSK juga telah dipertimbangkan untuk meningkatkan kecepatan data. Pada prinsipnya, transmisi satelit memerlukan metode modulasi yang relatif tahan terhadap noise dan, pada saat yang sama, mampu menangani nonlinier yang parah. Karena jarak yang jauh 36000 km antara satelit dan antena penerima, transmisi satelit mengalami gangguan noise yang parah yang disebabkan oleh redaman ruang bebas sekitar 205 dB. Elemen aktif dalam transponder satelit adalah penguat tabung gelombang berjalan/*traveling wave tube amplifier* (TWA) yang menunjukkan ketidaklinieran parah dalam karakteristik modulasinya. Nonlinier ini tidak dapat dikompensasi karena ini akan dikaitkan dengan penurunan efisiensi energi. Pada siang hari, sel surya memberikan daya baik untuk elektronik satelit dan baterai. Pada malam hari, energi untuk elektronik hanya berasal dari baterai cadangan. Jika ada sejumlah besar nonlinier, oleh karena itu, tidak boleh ada konten informasi dalam amplitudo sinyal modulasi.

Baik di QPSK maupun di 8PSK, konten informasi berada dalam fase saja. Dalam transmisi satelit TV analog juga, modulasi frekuensi digunakan sebagai pengganti modulasi amplitudo karena alasan ini.



Gambar 14.5. Koreksi kesalahan maju (FEC) di DVB-S dan DVB-T. Modulator DVB-S Bagian 1

Channel satelit dari satelit siaran langsung biasanya memiliki lebar 26 hingga 36 MHz (misalnya 33 MHz di ASTRA 1F, 36 MHz di EUTELSAT Hot Bird 2), uplink berada di pita 14 ... 19 GHz dan downlink berada 11 ... 13 GHz. Kemudian perlu untuk memilih tingkat simbol yang menghasilkan spektrum yang lebih sempit dari bandwidth transponder. Oleh karena itu, kecepatan simbol yang dipilih seringkali 27,5 MS/s. Karena QPSK memungkinkan transmisi 2 bit per simbol, kecepatan data kotor 55 Mbit/s diperoleh.

$$\text{gross_data_rate} = 2 \text{ bits/symbol} \cdot 27.5 \text{ Megasymbols/s} = 55 \text{ Mbit/s};$$

Namun, MPEG-2 transport stream sekarang untuk dikirim ke satelit sebagai sinyal termodulasi QPSK harus terlebih dahulu dilengkapi dengan perlindungan kesalahan sebelum dimasukkan ke modulator yang sebenarnya. Dalam DVB-S, dua mekanisme perlindungan kesalahan digunakan, yaitu kode blok Reed-Solomon yang digabungkan dengan pengkodean konvolusi (teralis). Dalam kasus perlindungan kesalahan Reed-Solomon, yang sudah diketahui dari CD audio, data dirangkai menjadi paket-paket dengan panjang tertentu dan ini dilengkapi dengan checksum khusus dengan panjang tertentu. Checksum ini memungkinkan tidak hanya kesalahan untuk dideteksi tetapi juga sejumlah kesalahan tertentu untuk diperbaiki. Jumlah kesalahan yang dapat diperbaiki adalah fungsi langsung dari panjang checksum. Di Reed-Solomon, jumlah kesalahan yang dapat diperbaiki selalu sesuai dengan tepat setengah dari byte perlindungan kesalahan (checksum).

Kemudian dimungkinkan untuk selalu mempertimbangkan tepat satu paket Transport stream sebagai satu blok data dan untuk melindungi blok ini dengan perlindungan kesalahan Reed Solomon. Paket stream transport MPEG-2 memiliki panjang 188 byte. Di DVB-S, diperluas 16 byte Reed Solomon meneruskan koreksi kesalahan untuk membentuk paket data dengan panjang 204 byte. Ini disebut pengkodean RS (204.188). Di sisi penerima, hingga 8 kesalahan dapat diperbaiki dalam paket sepanjang 204 byte ini. Posisi kesalahan ini/ini tidak ditentukan. Jika ada lebih dari 8 kesalahan dalam sebuah paket, ini akan tetap dapat dideteksi dengan andal tetapi tidak mungkin lagi untuk memperbaiki kesalahan ini. Paket aliran transport kemudian ditandai sebagai error dengan menggunakan indikator error transport di header aliran transport. Paket ini kemudian harus dibuang oleh decoder MPEG. Koreksi kesalahan penerusan Reed Solomon mengurangi kecepatan data:

$$\begin{aligned} \text{net_data_rate}_{\text{Reed-Solomon}} &= \text{gross_data_rate} \cdot 188/204 \\ &= 55 \text{ Mbit/s} \cdot 188/204 = \\ &= 50.69 \text{ Mbit/s}; \end{aligned}$$

Namun, perlindungan kesalahan sederhana tidak akan cukup untuk transmisi satelit, itulah sebabnya perlindungan kesalahan lebih lanjut dalam bentuk pengkodean konvolusi dimasukkan setelah koreksi kesalahan maju Reed Solomon. Ini semakin memperluas datastream. Perluasan ini dibuat dapat dikontrol melalui parameter, laju kode. Laju kode menggambarkan rasio antara laju data input dan laju data output dari blok koreksi kesalahan kedua ini:

$$\text{code}_{\text{rate}} = \frac{\text{input_data_rate}}{\text{ouput_data_rate}}$$

Di DVB-S, laju kode dapat dipilih dalam kisaran 1/2, 3/4, 2/3,...7/8. Jika laju kode 1/2, datastream diperluas dengan faktor 2. Perlindungan kesalahan sekarang maksimum dan laju data bersih telah turun ke minimum. Tingkat kode 7/8 hanya menyediakan

overhead minimum tetapi juga hanya perlindungan kesalahan minimum. Kecepatan data bersih yang tersedia kemudian maksimum. Kompromi yang baik biasanya tingkat kode 3/4. Tingkat kode kemudian dapat digunakan untuk mengontrol perlindungan kesalahan dan dengan demikian, sebagai kebalikan dari ini, juga kecepatan data bersih.

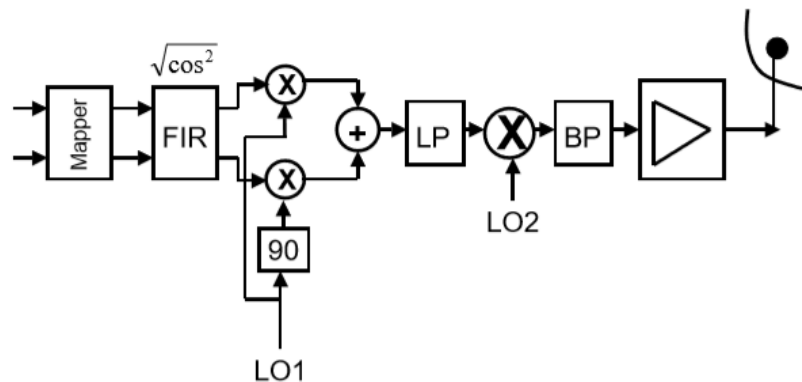
Laju data bersih dalam DVB-S dengan laju kode 3/4, setelah pengkodean konvolusi, adalah:

$$\begin{aligned} \text{net_data_rate}_{\text{DVB-S } 3/4} &= \text{code_rate} \cdot \text{net_data_rate}_{\text{Reed-Solomon}} \\ &= 3/4 \cdot 50.69 \text{ Mbit/s} \\ &= 38.01 \text{ Mbit/s;} \end{aligned}$$

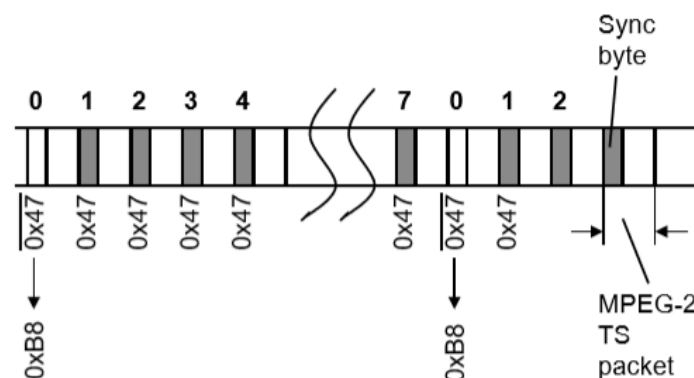
14.2. Modulator DVB-S

Uraian berikut membahas semua bagian komponen modulator DVB-S secara rinci. Karena bagian sirkuit ini juga ditemukan dalam modulator DVB-T, disarankan untuk membaca bagian ini juga dalam hubungannya dengan yang terakhir.

Tahap pertama dari modulator DVB-S (Gbr. 14.5.) adalah antarmuka pita dasar. Di sinilah sinyal disinkronkan dengan Transport stream MPEG-2. MPEG-2 transport stream ini terdiri dari paket-paket dengan panjang konstan 188 byte, terdiri dari header 4 byte dan payload 184 byte., header dimulai dengan byte sinkronisasi. Ini memiliki nilai konstan 0x47 dan mengikuti interval konstan 188 byte. Dalam antarmuka pita dasar, sinyal disinkronkan ke struktur byte sinkronisasi ini. Sinkronisasi terjadi dalam sekitar 5 paket dan semua sinyal clock berasal dari ini.

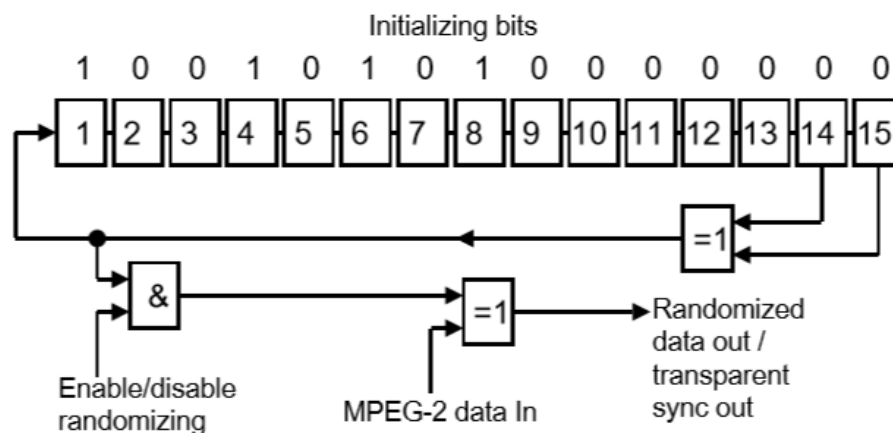


Gambar 14.6. Modulator DVB-S, bagian 2



Gambar 14.7. Sinkronkan inversi byte

Di blok berikutnya, unit dispersi energi, setiap byte sinkronisasi kedelapan dibalik terlebih dahulu. Yaitu, 0x47 kemudian menjadi 0xB8 dengan inversi bit. 7 byte sinkronisasi lainnya di antara ini tetap tidak berubah. Menggunakan inversi byte sinkronisasi ini, stempel waktu tambahan kemudian dimasukkan ke dalam sinyal data yang merupakan stempel lama tertentu di atas 8 paket, dibandingkan dengan struktur Transport stream. Stempel waktu ini diperlukan untuk mengatur ulang proses di blok penyebaran energi di ujung transmisi dan penerima. Ini, pada gilirannya, berarti bahwa baik modulator atau pemancar dan demodulator atau penerima menerima urutan delapan paket inversi byte sinkronisasi ini secara transparan dalam Transport stream dan menggunakannya untuk mengontrol langkah-langkah pemrosesan tertentu. Ini mungkin terjadi bahwa urutan nol atau satu yang relatif panjang terjadi murni secara tidak sengaja dalam sinyal data. Namun, ini tidak diinginkan karena tidak mengandung informasi jam atau menyebabkan garis spektral diskrit selama periode tertentu. Untuk menghilangkannya, hampir setiap metode transmisi digital menerapkan penyebaran energi sebelum modulasi yang sebenarnya.

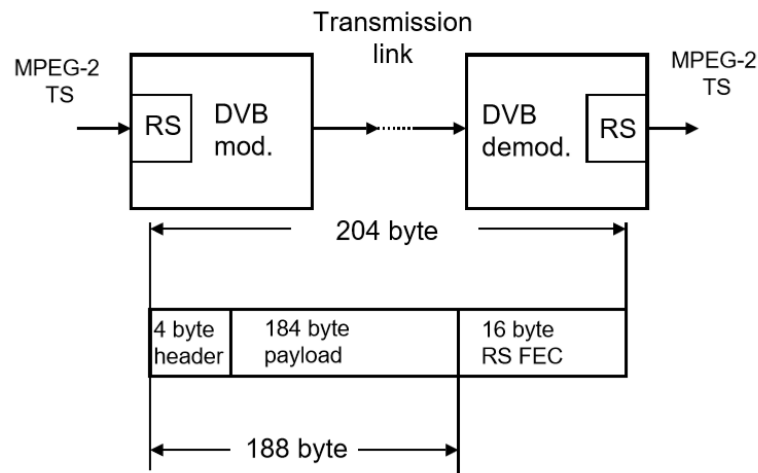


Gambar 14.8. Tahap penyebaran energi (pengacak)

Untuk mencapai penyebaran energi, urutan biner acak semu (PRBS) (Gbr. 14.8.) pertama-tama dihasilkan yang, bagaimanapun, diulang berkali-kali dengan cara yang ditentukan. Di DVB-S, permulaan dan pengaturan ulang terjadi setiap kali byte sinkronisasi dibalik.

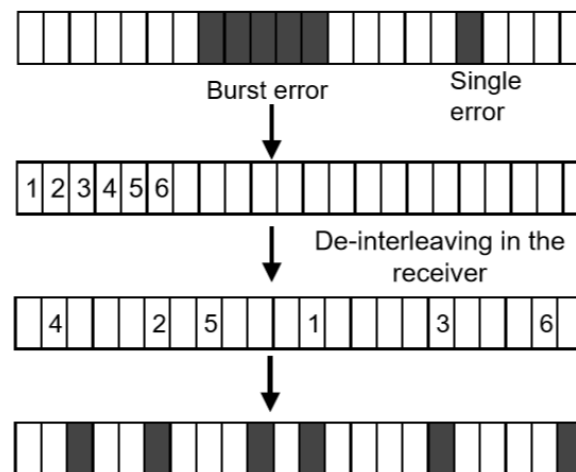
Datastream kemudian dicampur dengan urutan biner acak semu (PRBS) melalui operasi OR Eksklusif yang memecah urutan panjang satu atau nol. Jika datastream dispersi energi ini dicampur lagi dengan urutan biner acak semu yang sama di ujung penerima, dispersi dibatalkan lagi.

Ujung penerima, oleh karena itu, berisi sirkuit yang identik, terdiri dari register geser 15-tahap dengan umpan balik yang dimuat dengan cara yang ditentukan dengan kata awal setiap kali byte sinkronisasi terbalik terjadi. Ini berarti bahwa dua register geser di ujung transmisi dan di ujung penerima beroperasi sepenuhnya secara sinkron dan disinkronkan dengan urutan 8 paket blok inversi byte sinkronisasi. Sinkronisasi ini hanya menjadi mungkin karena byte sinkronisasi dan byte sinkronisasi terbalik dilewatkan sepenuhnya secara transparan dan tidak dicampur dengan urutan biner acak semu.



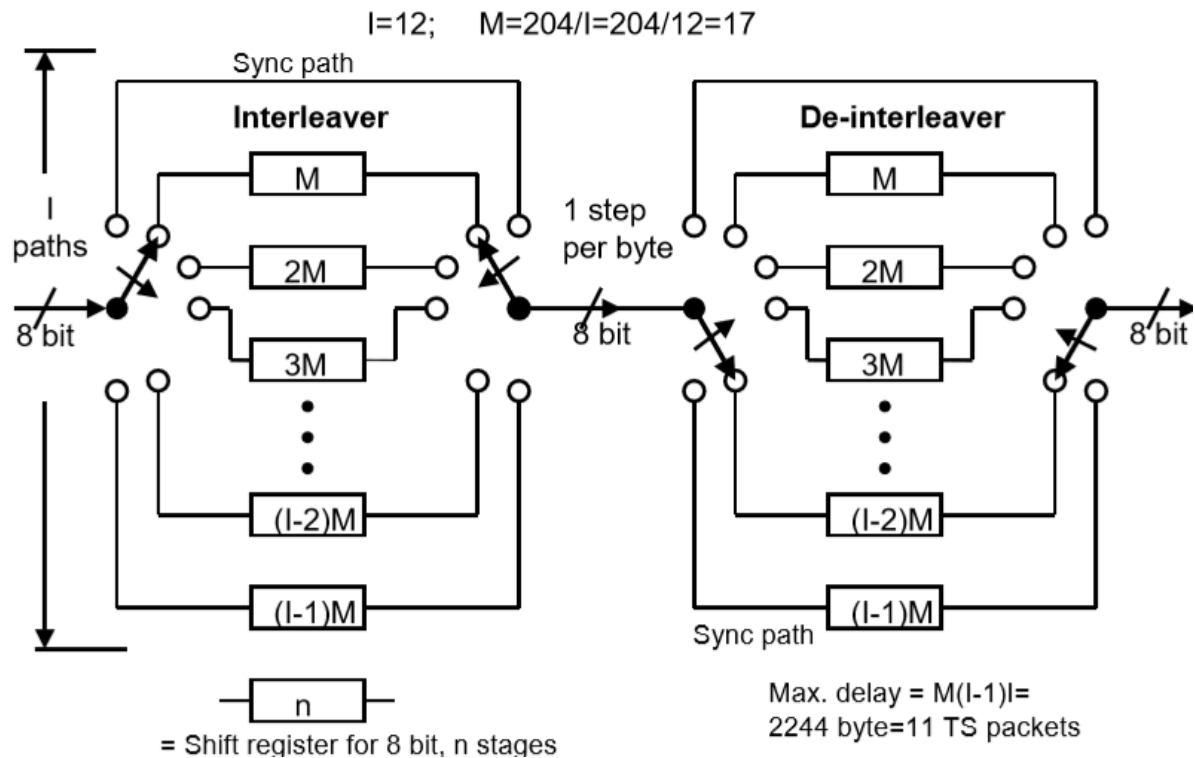
Gambar 14.9. Pengkodean Reed-Salomo

Tahap berikutnya berisi coder luar (Gbr. 14.5. dan 14.9.), koreksi kesalahan maju ReedSolomon. Pada titik ini, 16 byte proteksi kesalahan ditambahkan ke paket data yang panjangnya masih 188 byte tetapi sekarang energinya tersebar. Paket sekarang memiliki panjang 204 byte yang memungkinkan untuk memperbaiki hingga 8 kesalahan di sisi penerima. Jika ada lebih banyak kesalahan, perlindungan kesalahan gagal dan paket ditandai sebagai kesalahan oleh demodulator oleh indikator kesalahan transportasi di header Transport stream yang disetel ke 'satu'.



Gambar 14.10. De-interleaving

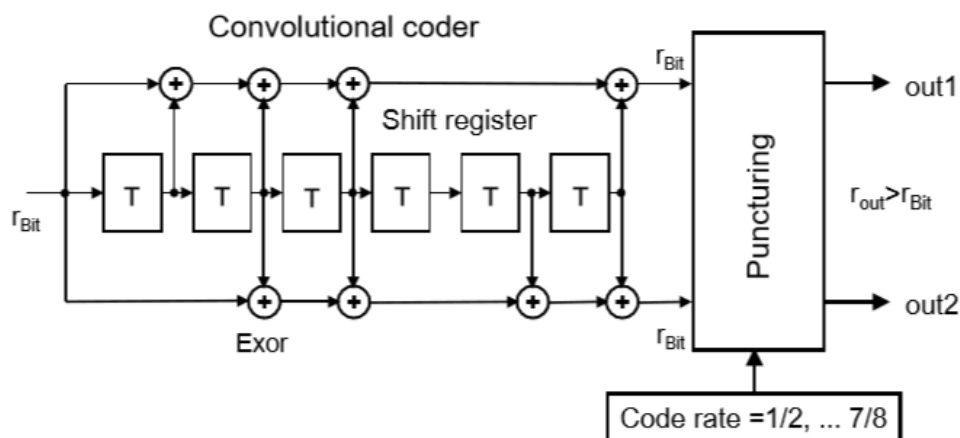
Akan tetapi, sering kali terjadi error burst selama transmisi. Jika ini menghasilkan lebih dari 8 kesalahan dalam paket yang dilindungi oleh pengkodean Reed-Solomon, perlindungan kesalahan blok akan gagal. Oleh karena itu, data tersebut disisipkan, yaitu didistribusikan selama periode waktu tertentu dalam langkah operasi lebih lanjut.



Gambar 14.11. Forney interleaver dan de-interleaver

Setiap kesalahan burst yang ada kemudian dipecah dalam de-interleaving (Gbr. 14.10.) di ujung penerima dan didistribusikan melalui sejumlah paket Transport stream. Maka lebih mudah untuk memperbaiki kesalahan burst ini, yang sekarang telah menjadi kesalahan tunggal, dan tidak diperlukan overhead data tambahan.

Dalam DVB-S, interleaving dilakukan dalam apa yang disebut interleaver Forney (Gbr. 14.11.) yang terdiri dari dua sakelar berputar dan sejumlah register geser. Ini memastikan bahwa data diacak, dan dengan demikian didistribusikan, se"tidak sistematis" mungkin. Interleaving maksimum lebih dari 11 paket Transport stream. Byte sinkronisasi dan byte sinkronisasi terbalik selalu mengikuti jalur tertentu dengan tepat. Ini berarti bahwa kecepatan rotasi sakelar sesuai dengan kelipatan tepat dari panjang paket dan interleaver dan de-interleaver sinkron dengan MPEG-2 transport stream.



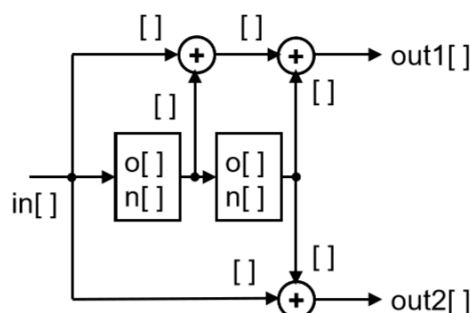
Gambar 14.12. Pembuat kode konvolusi dalam DVB-S dan DVB-T

Tahap selanjutnya dari modulator adalah convolutional coder (teralis coder). Tahap ini mewakili yang kedua, yang disebut perlindungan kesalahan batin. Convolutional coder memiliki struktur yang relatif sederhana tetapi memahaminya tidak sesederhana itu. Pengkode konvolusi terdiri dari register geser 6 tahap dan dua jalur sinyal di mana sinyal input dicampur dengan isi register geser pada titik sadapan tertentu. Datastream input dibagi menjadi 3 datastream. Data pertama-tama masuk ke register geser di mana mereka mempengaruhi datastream atas dan bawah dari pembuat kode konvolusi dengan operasi OR Eksklusif yang berlangsung 6 siklus jam. Ini menyebarkan informasi satu bit lebih dari 6 bit. Pada titik-titik tertentu baik di cabang data atas maupun di cabang data bawah terdapat gerbang EXOR yang mencampur datastream dengan isi register geser. Ini memberikan dua datastream pada output dari pengkode konvolusi, yang masing-masing menunjukkan kecepatan data yang sama dengan sinyal input. Selain itu, datastream hanya dilengkapi dengan memori tertentu yang memperpanjang lebih dari 6 siklus clock. Kecepatan data output total kemudian dua kali lebih tinggi dari kecepatan data input yang sesuai dengan kecepatan kode = $1/2$. Overhead sebesar 100% kini telah ditambahkan ke sinyal data.

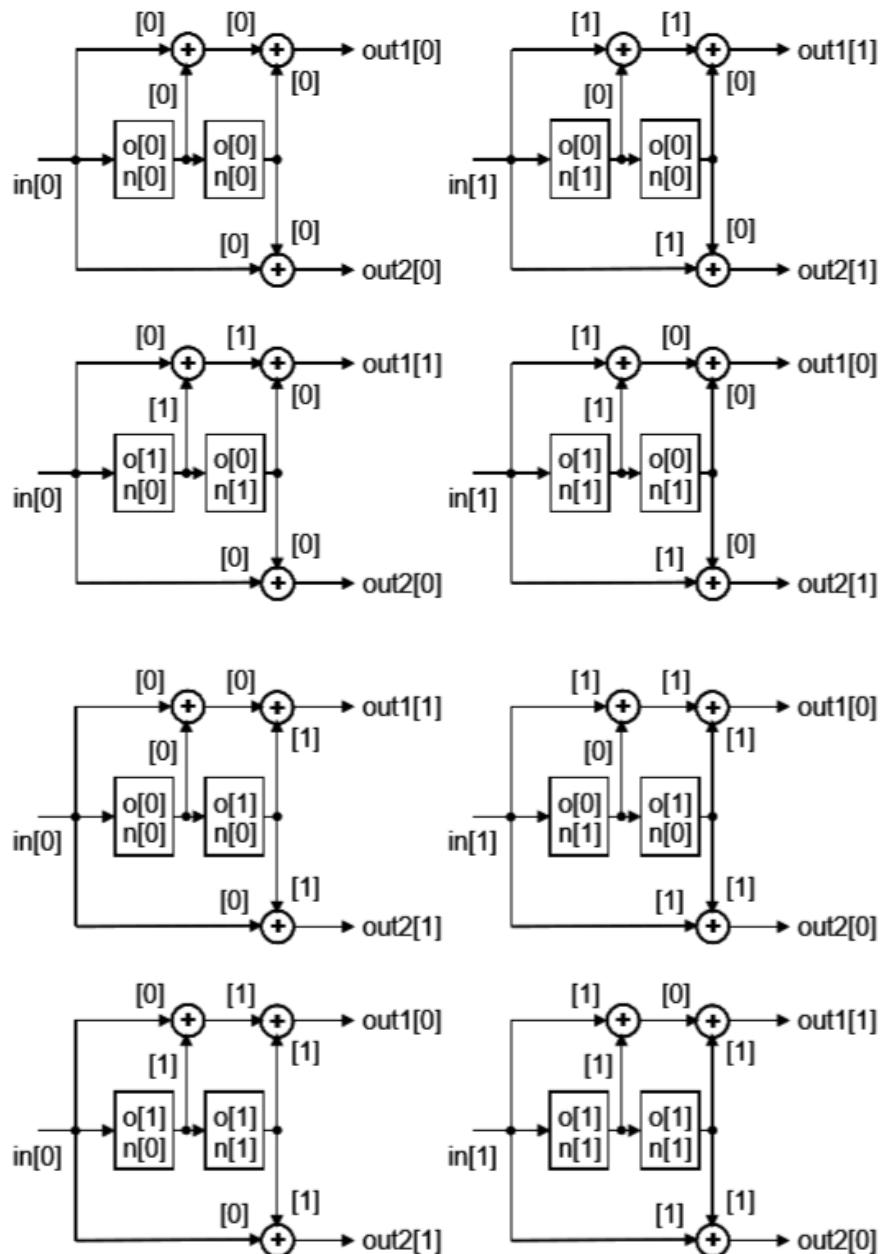
14.3. Pengkodean Konvolusi

Setiap convolutional coder (Gbr. 14.12.) terdiri dari tahapan dengan penundaan yang lebih atau kurang dan dengan memori yang, dalam praktiknya, diimplementasikan dengan menggunakan register geser. Di DVB-S, dan juga di DVB-T, diputuskan untuk menggunakan register geser enam tahap dengan masing-masing 5 tap di jalur sinyal atas dan bawah. Aliran bit tunda waktu yang diambil dari tap ini di-ORE dengan aliran bit yang tidak ditunda dan dengan demikian menghasilkan dua datastreamoutput, yang mengalami apa yang disebut konvolusi, masing-masing dengan kecepatan data yang sama dengan kecepatan data input. Konvolusi terjadi setiap kali sinyal "memanipulasi" dirinya sendiri, tertunda dalam waktu.

Filter digital/*Digital Filter* (FIR) juga melakukan konvolusi. Akan memakan waktu terlalu lama untuk menganalisis convolutional coder yang digunakan di DVB-S dan DVB-T secara langsung karena, karena enam tahapannya, memorinya $26 = 64$. Oleh karena itu, mereduksinya menjadi encoder sampel yang hanya memiliki dua tahap hanya perlu melihat $22 = 4$ negara. Register geser dapat mengasumsikan keadaan internal 00, 01, 10 dan 11. Untuk menguji perilaku susunan rangkaian, maka perlu memasukkan nol dan satu ke dalam register geser untuk masing-masing dari 4 keadaan ini dan kemudian menganalisis keadaan yang dihasilkan dan juga untuk menghitung output sinyal karena operasi Exclusive OR. Jika, misalnya, sebuah nol diumpankan ke register geser yang memiliki konten saat ini 00, konten baru yang dihasilkan juga akan menjadi 00 karena satu nol digeser keluar dan pada saat yang sama nol baru digeser masuk. Dalam sinyal atas jalur, dua operasi EXOR menghasilkan hasil keseluruhan 0 pada output. Hal yang sama berlaku untuk jalur sinyal yang lebih rendah.

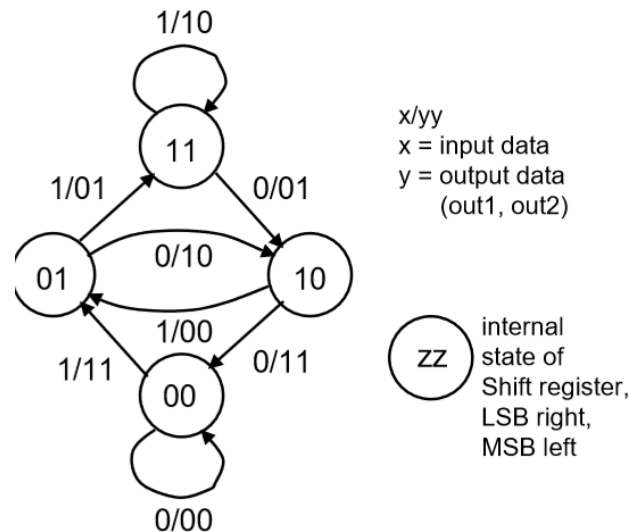


Gambar 14.13. Contoh pembuat kode konvolusi 2 tahap



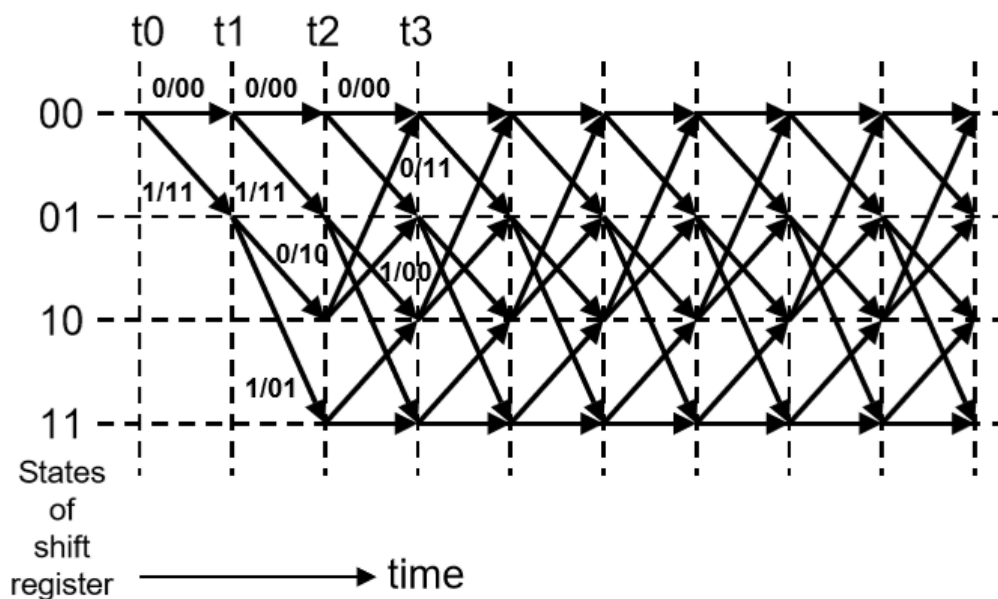
Gambar 14.14. Keadaan sampel convolutional coder (keadaan o = lama, n = baru)

Jika satu dimasukkan ke register geser dengan isi 00, keadaan baru akan menjadi 10 dan satu diperoleh sebagai output sinyal di jalur sinyal atas serta di jalur sinyal bawah. Tiga status lainnya dapat dikerjakan dengan cara yang sama dengan memasukkan satu dan nol dalam setiap kasus. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar. 14.14. Hasil total dari analisis dapat diilustrasikan lebih jelas dalam diagram keadaan (Gbr. 14.15.) di mana empat keadaan internal register geser dimasukkan dalam lingkaran.



Gambar 14.15. State diagram dari convolutional coder sampel

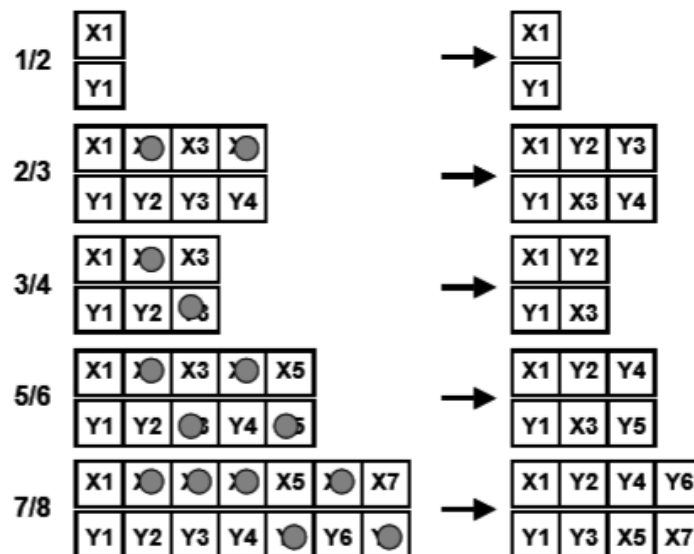
Bit paling tidak signifikan dimasukkan di sebelah kanan dan bit paling signifikan di sebelah kiri yang berarti bahwa susunan register geser harus dibayangkan terbalik. Panah di antara lingkaran ini menandai transisi status yang mungkin. Angka-angka di sebelah lingkaran menggambarkan masing-masing bit stimulus dan bit output dari pengaturan, masing-masing. Dapat dilihat dengan jelas bahwa tidak semua transisi antara masing-masing status dimungkinkan. Jadi, tidak mungkin, misalnya, untuk lulus langsung dari 00 ke 11 tanpa melewati terlebih dahulu, mis. melalui negara bagian 01.



Gambar 14.16. Diagram teralis

Merencanakan transisi keadaan yang diizinkan terhadap waktu menghasilkan apa yang disebut diagram teralis. Dalam diagram teralis, hanya mungkin untuk bergerak di sepanjang jalur atau cabang tertentu dan tidak semua jalur melalui teralis dimungkinkan. Di banyak daerah pedesaan, tanaman tertentu (pohon buah-buahan, anggur) ditanam tumbuh di sepanjang teralis di dinding. Dengan demikian mereka dipaksa untuk tumbuh secara teratur sesuai dengan pola tertentu dengan cara difiksasi pada titik-titik tertentu di dinding. Namun, kadang-kadang terjadi titik teralis seperti itu putus karena cuaca buruk, dan teralis kemudian menjadi berantakan. Namun, pola yang ada memungkinkan untuk

mengetahui di mana cabang itu seharusnya berada dan dengan demikian dapat diperbaiki kembali. Hal yang sama terjadi dengan datastream kami setelah transmisi di mana datastream yang dikodekan secara konvolusi dapat dipaksa keluar dari teralis karena kesalahan bit yang disebabkan, mis. noise. Tetapi karena sejarah datastream, yaitu jalurnya melalui diagram teralis diketahui, kesalahan bit dapat dikoreksi berdasarkan probabilitas terbesar dengan merekonstruksi jalur. Inilah tepatnya prinsip operasi dari apa yang disebut dekoder Viterbi, dinamai menurut penemunya. Dekoder Viterbi sebenarnya adalah mitra dari dekoder konvolusi dan oleh karena itu, tidak ada dekoder konvolusi. Dekoder Viterbi juga jauh lebih kompleks daripada pembuat kode konvolusi.



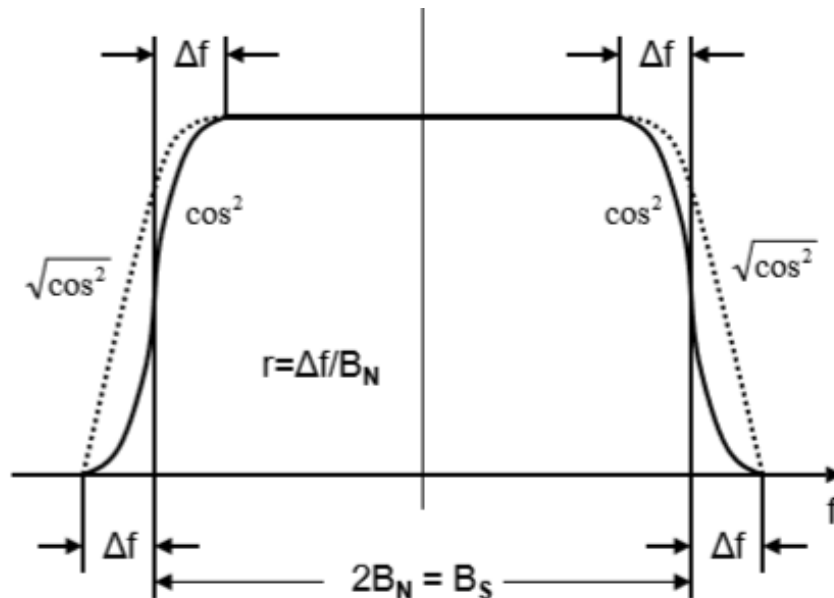
Gambar 14.17. Menusuk di DVB-S

Setelah pengkodean konvolusi, datastream sekarang meningkat dengan faktor 2. Misalnya, 10 Mbit/s kini menjadi 20 Mbit/s tetapi dua output datastreamersama-sama sekarang membawa 100% overhead, yaitu perlindungan kesalahan. Di sisi lain, ini menurunkan kecepatan data bersih yang tersedia. Overhead ini, dan dengan demikian juga perlindungan kesalahan, dapat dikontrol di unit penusuk (Gbr. 14.17.), mis. kecepatan data dapat diturunkan lagi dengan menghilangkan bit secara selektif. Penghilangan, yaitu penusukan, dilakukan sesuai dengan susunan yang disebut pola penusukan, yang diketahui oleh pemancar dan penerima.

Hal ini memungkinkan untuk memvariasikan tingkat kode antara 1/2 dan 7/8. 1/2 berarti tidak ada penusukan, yaitu perlindungan kesalahan maksimum, dan 7/8 berarti perlindungan kesalahan minimum dan kecepatan data bersih maksimum mengikuti secara bersamaan. Di sisi penerima, bit yang tertusuk diisi dengan bit 'Jangan Peduli' dan diperlakukan seperti kesalahan dalam dekoder Viterbi dan dengan demikian direkonstruksi. Sampai di sini tahapan pemrosesan DVB-S dan DVB-T 100% sama. Dalam kasus DVB-T, dua datastream digabungkan untuk membentuk datastream umum dengan mengakses datastream tertusuk atas dan bawah secara bergantian. Dalam DVB-S, datastream atas dan datastream bawah dalam setiap kasus berjalan langsung ke mapper di mana kedua datastream diubah menjadi konstelasi yang sesuai dari modulasi QPSK.

Pemetaan tersebut diikuti dengan penyaringan digital sehingga spektrum “berputar” dengan lembut menuju channel yang berdekatan. Ini membatasi bandwidth sinyal dan pada saat yang sama mengoptimalkan pola mata sinyal data. Dalam DVB-S,

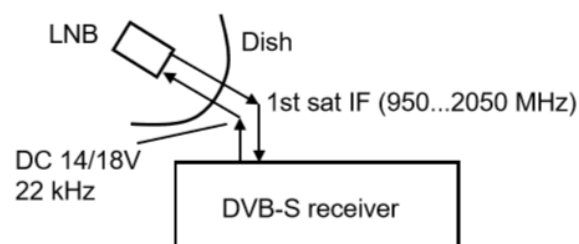
penyaringan roll-off dilakukan dengan faktor roll-off $r = 0,35$. Sinyal bergulir dengan bentuk kuadrat akar kosinus di dalam pita frekuensi. Bentuk kuadrat kosinus dari spektrum yang sebenarnya diperlukan hanya dihasilkan dengan menggabungkan filter output pemancar dengan filter penerima karena kedua filter menunjukkan penyaringan roll-off kuadrat akar kosinus. Faktor rolloff menggambarkan kemiringan penyaringan roll-off dan didefinisikan sebagai $r = f/f_N$. Setelah penyaringan roll-off, sinyal dimodulasi QPSK dalam modulator IQ, dikonversi ke RF satelit yang sebenarnya dan kemudian, setelah penguatan daya, diumpankan ke antena satelit. Kemudian di-uplink ke satelit di pita 14...17 GHz.



Gambar 14.18. Penyaringan roll-off

14.4. Pemrosesan Sinyal di Satelit

Satelit penyiaran langsung geostasioner yang terletak secara permanen di atas khatulistiwa dalam orbit sekitar 36.000 km di atas permukaan bumi menerima sinyal DVB-S yang berasal dari stasiun uplink dan membatasinya terlebih dahulu dengan filter band-pass. Karena jarak uplink lebih dari 36000 km menghasilkan kehilangan ruang bebas lebih dari 200 dB dan, sebagai akibatnya, sinyal yang berguna secara bersamaan dilemahkan, antena uplink dan antena penerima pada satelit harus menunjukkan penguatan yang sesuai. Di satelit, sinyal DVB-S diubah menjadi frekuensi downlink di pita 11...14 GHz dan kemudian diperkuat melalui TWA (Travelling Wave tube Amplifier). Amplifier ini sangat nonlinier dan, dalam praktiknya, juga tidak dapat dikoreksi karena anggaran daya di satelit. Pada siang hari, satelit disuplai energi oleh sel surya dan energi ini disimpan dalam baterai. Pada malam hari, satelit kemudian dipasok hanya dari baterainya.

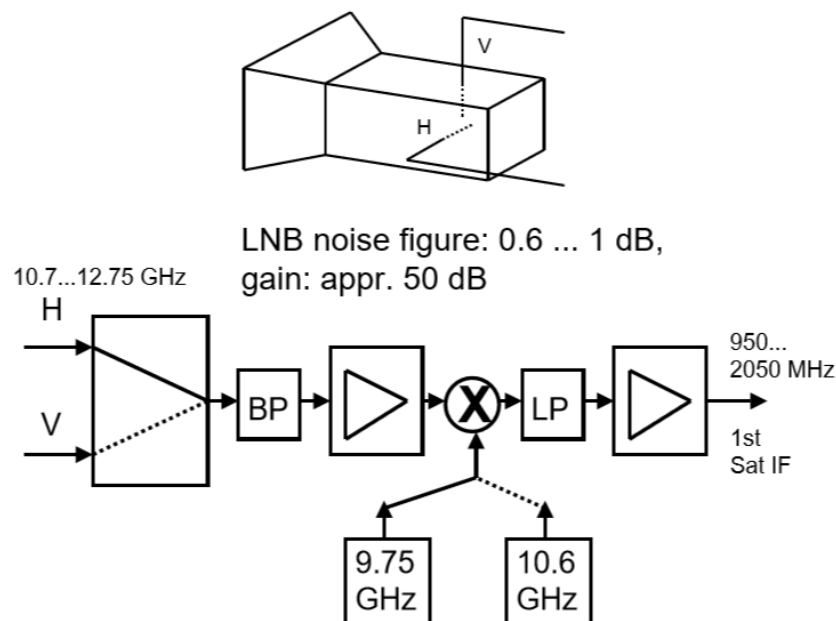


Gambar 14.19. Penerima satelit dengan LNB dan penerima

Sebelum sinyal dikirim kembali ke Bumi, terlebih dahulu disaring lagi untuk menekan komponen out-of-band. Antena pemancar satelit memiliki pola tertentu sehingga diperoleh coverage yang optimum pada daerah penerima yang akan dicover di darat. Ini menghasilkan apa yang disebut footprint di mana program dapat diterima. Karena hilangnya ruang bebas yang tinggi sekitar 200 dB karena jarak downlink lebih dari 36000 km, antena pemancar satelit harus menunjukkan penguatan yang tinggi. Daya pancarnya sekitar 60 ... 80 W. Unit pemrosesan sinyal untuk channel satelit disebut transponder. Uplink dan downlink terpolarisasi, yaitu ada channel terpolarisasi horizontal dan vertikal. Polarisasi digunakan agar dapat menambah jumlah channel.

14.5. Penerima DVB-S

Setelah sinyal DVB-S yang datang dari satelit kembali bergerak sepanjang 36000 km dan, oleh karena itu, telah dilemahkan oleh 200 dB dan kekuatannya telah dikurangi lebih lanjut oleh kondisi atmosfer seperti hujan atau salju, sinyal tersebut tiba di satelit. antena penerima dan difokuskan pada titik fokus parabola. Ini adalah titik yang tepat di mana blok noise rendah (LNB) dipasang. LNB berisi pandu gelombang dengan detektor masing-masing untuk polarisasi horizontal dan vertikal. Tergantung pada bidang polarisasi mana yang dipilih, sinyal dari detektor horizontal atau dari detektor vertikal yang dialihkan. Bidang polarisasi dipilih dengan pemilihan amplitudo tegangan suplai ke LNB (14/18V). Sinyal yang diterima kemudian diperkuat dalam penguat gallium arsenide dengan noise rendah dan kemudian dikonversi ke satelit pertama IF di pita 900...2100 MHz.



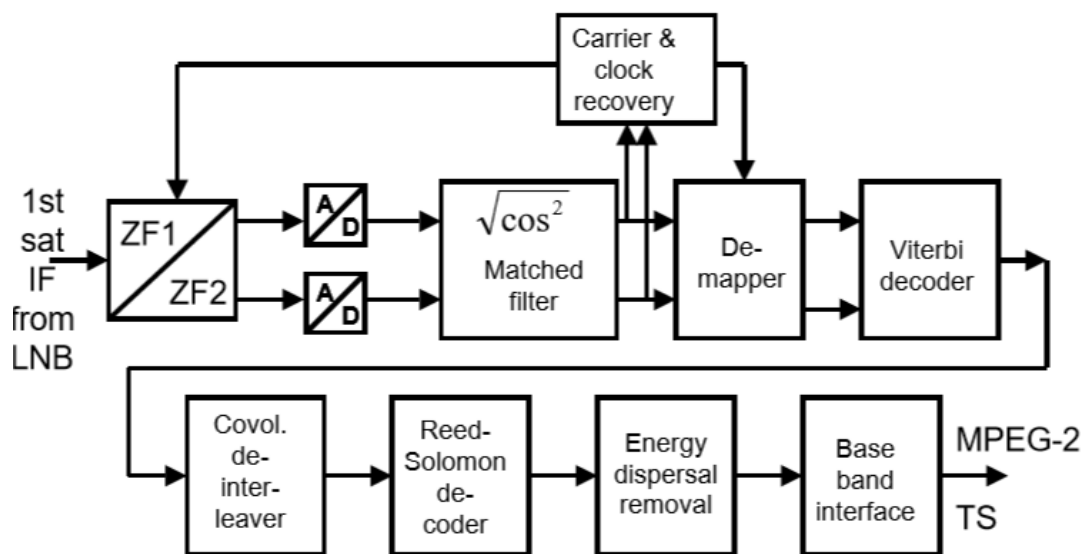
Gambar 14.20. Unit luar ruangan - LNB

LNB "universal" modern (cocok untuk menerima TV digital) berisi dua osilator lokal yang mengeluarkan pembawa pada 9,6 GHz dan 10,6 GHz dan sinyal yang diterima dikonversi ke bawah dengan dicampurkan dengan 9,75 GHz atau dengan 10,6 GHz tergantung pada apakah channel yang diterima berada di pita frekuensi satelit atas atau bawah. Channel DVB-S biasanya di pita atas dan osilator 10,6 GHz kemudian digunakan.

Ungkapan "cocok untuk menerima TV digital" hanya mengacu pada keberadaan osilator 10,6 GHz dan dengan demikian menyesatkan. LNB dialihkan antara 9,75 dan 10,6 GHz melalui tegangan switching 22 kHz yang ditumpangkan pada tegangan suplai LNB atau

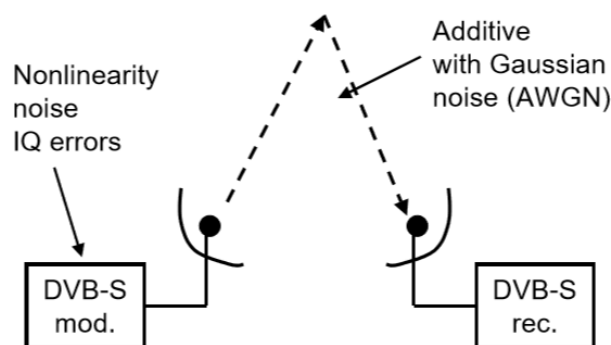
tidak. LNB disuplai melalui kabel koaksial yang mendistribusikan frekuensi menengah satelit di pita 900...2100 MHz yang sekarang dikeluarkan. Oleh karena itu, selama pekerjaan pemasangan, harus dilakukan dengan hati-hati untuk menonaktifkan penerima satelit karena jika tidak, kemungkinan korsleting dapat merusak suplai tegangan untuk LNB.

Di penerima DVB-S (terintegrasi dalam layar datar TV) sinyal mengalami konversi turun kedua ke IF satelit kedua. Konversi turun ini dilakukan dengan bantuan mixer IQ yang diumpankan oleh osilator yang dikendalikan oleh sirkuit pemulihan pembawa. Setelah konversi IQ, sinyal analog I dan Q tersedia kembali. Sinyal I dan Q kemudian A/D diubah dan dipasok ke filter yang cocok di mana proses penyaringan akar kosinus kuadrat yang sama seperti pada ujung transmisi berlangsung dengan faktor roll-off 0,35. Bersama dengan filter pemancar, ini kemudian menghasilkan penyaringan roll-off kuadrat kosinus yang sebenarnya dari sinyal DVB-S. Proses penyaringan harus disesuaikan dengan faktor roll-off di ujung transmisi dan di ujung penerima.



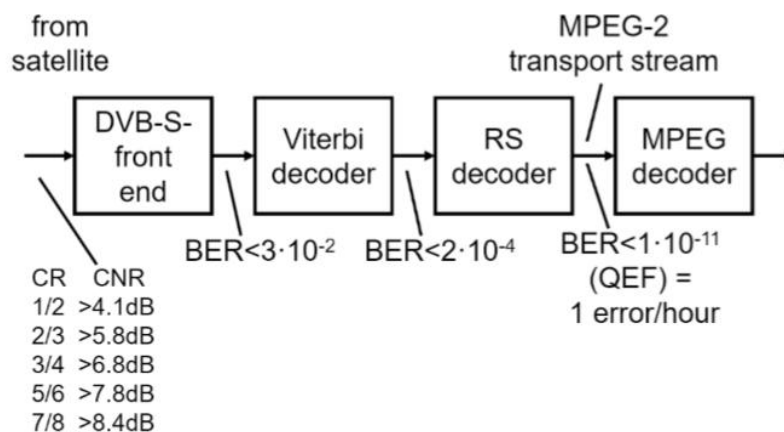
Gambar 14.21. Penerima DVB-S (tanpa dekoder MPEG-2)

Setelah filter yang cocok, pembawa dan sirkuit pemulihan jam dan demapper menentuk sinyal inputnya. Demapper kembali menghasilkan datastream dari mana kesalahan pertama dihapus dalam dekoder Viterbi. Decoder Viterbi adalah mitra dari convolutional coder. Dekoder Viterbi harus memiliki pengetahuan tentang tingkat kode yang saat ini digunakan. Dekoder harus diberitahu tentang tingkat kode ini ($1/2...2/3...7/8$) melalui intervensi operator.

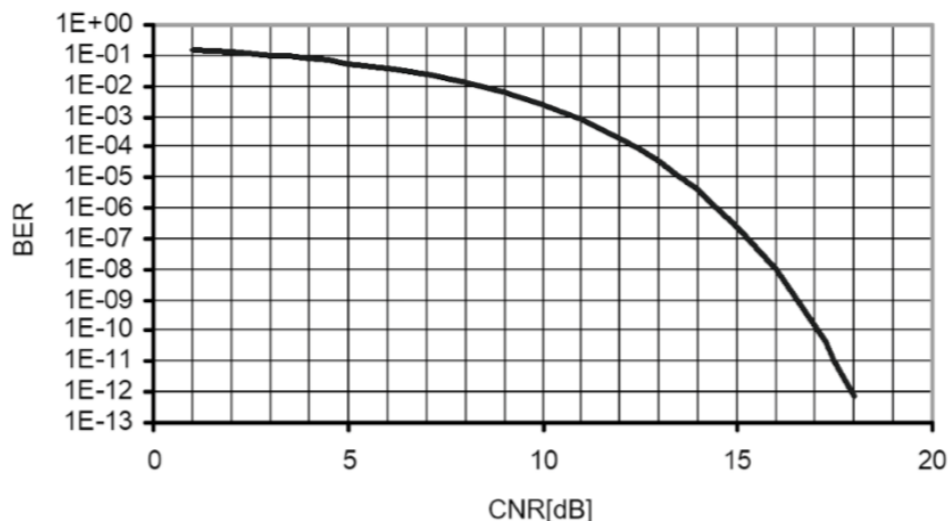


Gambar 14.22. Pengaruh yang mempengaruhi link transmisi satelit

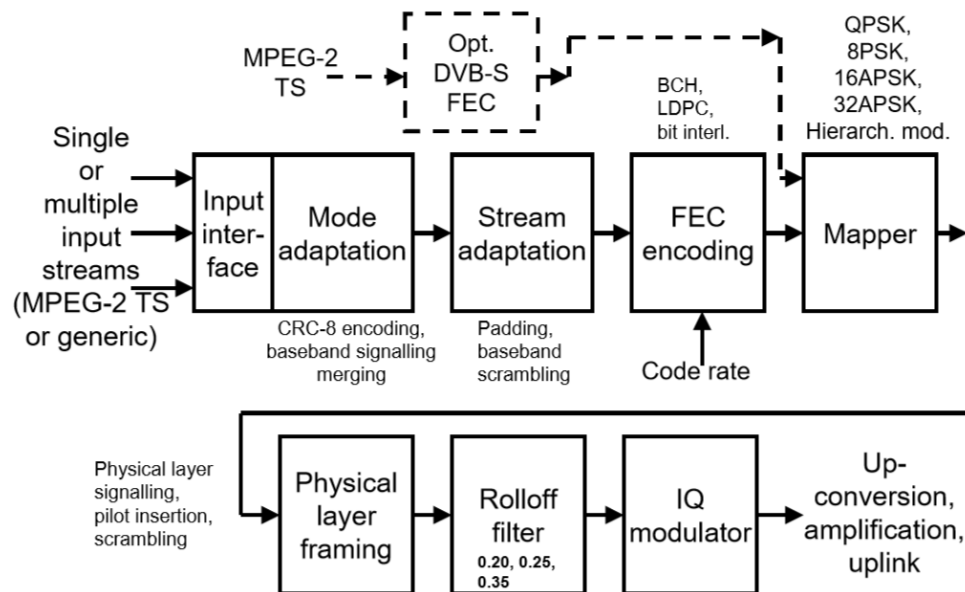
Dekoder Viterbi diikuti oleh de-interleaving konvolusi di mana setiap kesalahan burst dipecah menjadi kesalahan individu. Kesalahan bit yang masih ada kemudian diperbaiki dalam dekoder Reed Solomon. Paket Transport stream, yang memiliki panjang asli 188 byte, telah dilengkapi dengan perlindungan kesalahan 16 byte pada akhir transmisi. Ini dapat digunakan di ujung penerima untuk mengoreksi hingga 8 kesalahan dalam paket yang sekarang memiliki panjang 204 byte. Burst error, yaitu beberapa kesalahan dalam sebuah paket, seharusnya sudah dipecahkan oleh proses deinterleaving sebelumnya. Namun, jika paket TS yang dilindungi kesalahan dengan panjang 204 byte berisi lebih dari 8 kesalahan, perlindungan kesalahan akan gagal. Indikator Kesalahan Transportasi di header Transport stream kemudian diatur ke "1" untuk menandai paket ini sebagai kesalahan. Panjang paket sekarang 188 byte lagi. Paket TS yang ditandai sebagai error tidak boleh digunakan oleh dekoder MPEG dan penyembunyian error harus diterapkan.



Gambar 14.23. Rasio pembawa/noise minimum yang diperlukan pada ujung penerima dan rasio kesalahan bit



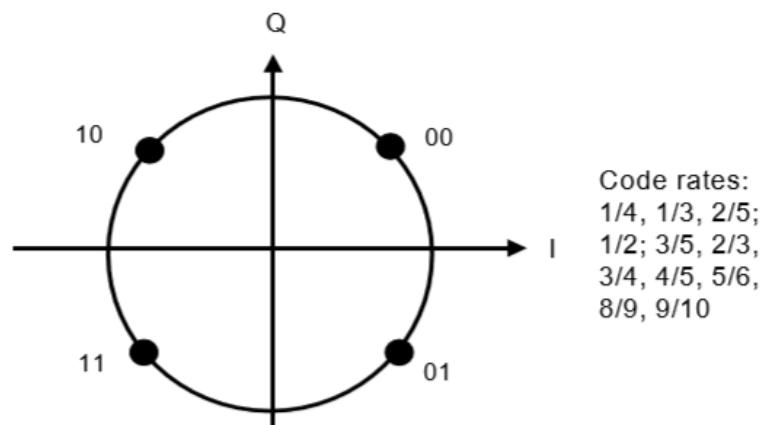
Gambar 14.24. Rasio kesalahan bit channel di DVB-S sebagai fungsi CNR



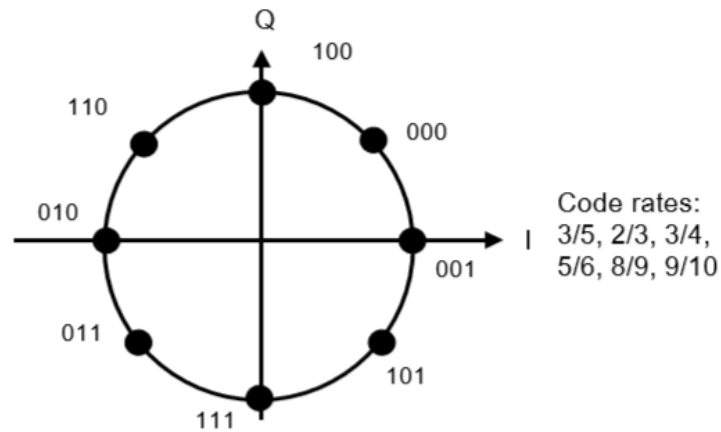
Gambar 14.25. Diagram blok modulator DVB-S2

Setelah decoding Reed Solomon, penyebaran energi dihapus dan inversi byte sinkronisasi dibatalkan. Selama proses ini, unit penyebaran energi disinkronkan dengan urutan 8 paket inversi byte sinkronisasi ini. Pada output antarmuka pita dasar berikut, aliran transport MPEG-2 tersedia lagi dan kemudian dipasok ke dekoder MPEG.

Saat ini, seluruh dekoder DVB-S setelah konverter A/D terletak pada satu chip yang biasanya terintegrasi dengan tuner satelit. Yaitu, tuner, yang dikendalikan melalui bus I2C, memiliki input konektor F untuk sinyal dari LNB dan output aliran transport paralel.



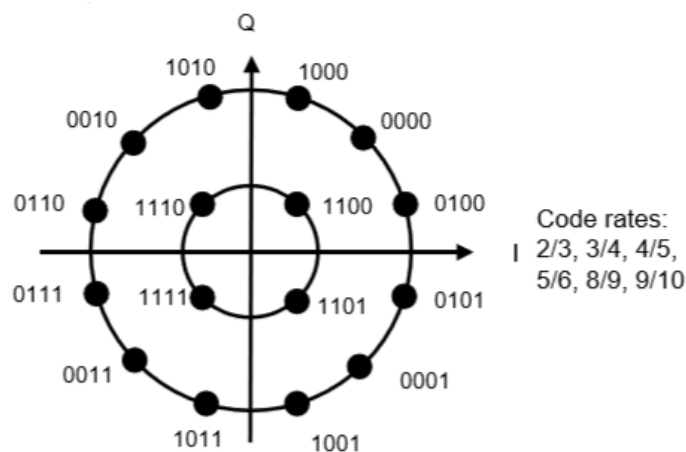
Gambar 14.26. QPSK berkode abu-abu, pemetaan absolut (seperti DVB-S)



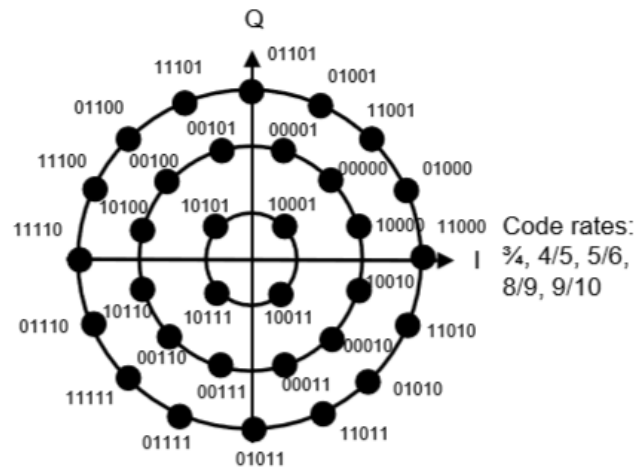
Gambar 14.27. 8PSK berkode abu-abu

14.6. Hal yang Mempengaruhi Tautan Transmisi Satelit

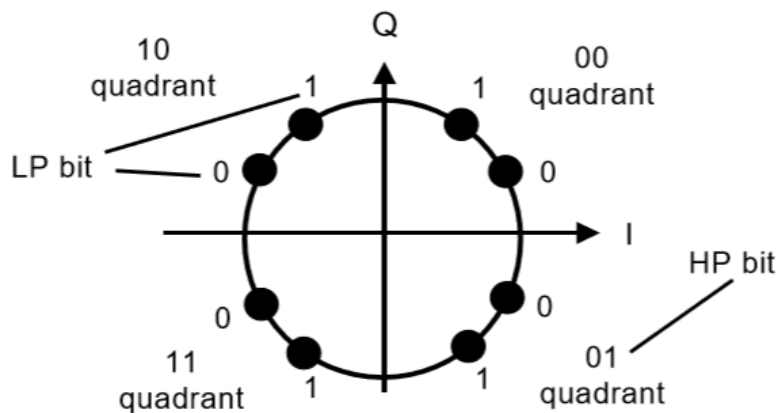
Bagian ini membahas pengaruh yang diharapkan pada link transmisi satelit (Gbr. 14.22.) dan akan terlihat bahwa pengaruh ini terutama terbatas pada noise. Namun, mari mulai dengan modulator. Ini dapat dianggap ideal hingga modulator IQ. Modulator IQ dapat menunjukkan keuntungan yang berbeda di cabang I dan Q, kesalahan fase pada pemindah fase 90o dan kurangnya penekanan pembawa. Mungkin juga ada efek noise dan fase jitter yang berasal dari bagian sirkuit ini. Masalah ini dapat diabaikan, bagaimanapun, karena sifat kasar dari modulasi QPSK dan biasanya tidak akan pernah mencapai urutan besarnya yang akan sangat mempengaruhi kualitas sinyal. Di satelit, tabung gelombang perjalanan menghasilkan non-linier yang parah tetapi ini tidak berperan, dalam praktiknya. Namun, di wilayah uplink dan downlink, di mana sinyal DVB-S dilemahkan lebih dari 200 dB karena jarak 36000 km sekali jalan yang dilalui oleh sinyal, efek noise yang kuat akan dialami. Efek noise inilah, additive white gaussian noise (AWGN) yang ditumpangkan pada sinyal, yang merupakan satu-satunya pengaruh yang akan dibahas.



Gambar 14.28. 16APSK



Gambar 14.29. 32 APSK

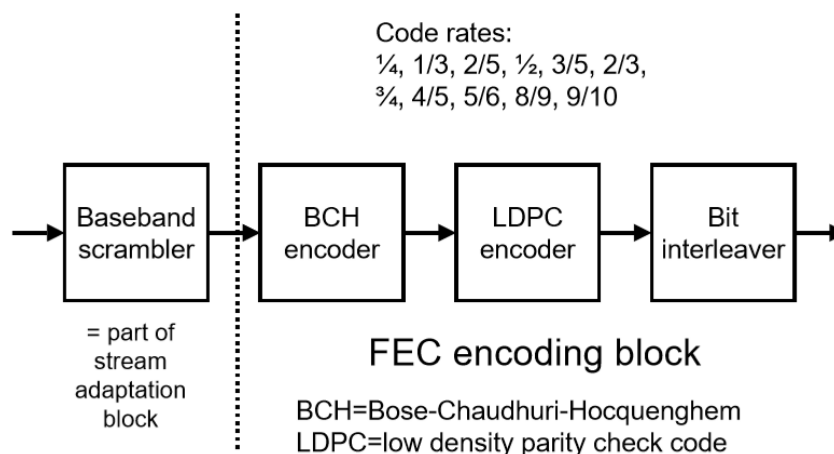


Gambar 14.30. Modulasi QPSK hierarkis

Pada bagian berikut, downlink satelit akan dianalisa melalui contoh yang berkaitan dengan redaman sinyal dan efek noise yang dihasilkan.

Rasio pembawa/noise minimum (CNR) yang diperlukan dan laju kesalahan bit channel yang diperlukan diketahui dan ditentukan sebelumnya dari koreksi kesalahan maju (FEC, Reed-Solomon dan pengkodean konvolusi) (Gbr. 14.23.).

Untuk mendapatkan gambaran tentang CNR yang diharapkan, level pada downlink satelit sekarang akan dipertimbangkan.



Gambar 14.31. Blok FEC DVB-S2

Gambar 14.23. menunjukkan rasio CNR minimum sebagai fungsi dari laju kode yang digunakan. Selain itu, tingkat kesalahan bit pra-Viterbi, pasca-Viterbi (= pra-Reed-Solomon) dan pasca-Reed-Solomon diplot. Tingkat kode yang sering digunakan adalah 3/4. Dengan rasio CNR minimum 6,8 dB, ini menghasilkan tingkat kesalahan bit channel pra-Viterbi 3-2. Tingkat kesalahan bit pasca-Viterbi kemudian menjadi 2-4 yang sesuai dengan batas di mana dekoder Reed-Solomon berikutnya masih memberikan tingkat kesalahan bit output 1-11 atau lebih baik. Ini kira-kira sesuai dengan satu kesalahan per hari dan didefinisikan sebagai quasi error-free (QEF). Pada saat yang sama, kondisi ini juga hampir sesuai dengan "jatuh dari tebing" (atau "efek dinding bata"). Sedikit lebih banyak noise dan transmisi rusak secara tiba-tiba.

Dalam contoh perhitungan CNR yang diharapkan pada link transmisi satelit, oleh karena itu, masih tersedia margin sekitar 3 dB dengan laju kode 3/4. Hubungan yang tepat antara tingkat kesalahan bit channel, yaitu tingkat kesalahan bit pra-Viterbi, dan rasio CNR ditunjukkan pada Gambar 14.24.

14.7. DVB-S2

DVB-S diadopsi pada tahun 1994, menggunakan QPSK sebagai metode modulasi dan sistem perlindungan kesalahan gabungan dari Reed-Solomon FEC dan pengkodean konvolusi. Pada tahun 1997, standar DVB DSNG [ETS301210] ditetapkan yang dibuat untuk tujuan pelaporan (DSNG = Digital Satellite News Gathering). Sinyal langsung ditransmisikan oleh satelit, mis. dari siaran luar di acara publik besar ke studio. DVB DSNG sudah menggunakan 8PSK dan 16QAM. Pada tahun 2003, metode baru ditetapkan, baik untuk siaran langsung maupun untuk aplikasi profesional, sebagai "DVB-S2" (Gbr. 14.25.)

Baik QPSK, 8PSK (seragam dan tidak seragam) dan 16APSK (16 amplitudo phase shift keying) disediakan sebagai metode modulasi, yang terakhir hanya digunakan di bidang profesional (DSNG). Perlindungan kesalahan yang digunakan benar-benar baru, mis. LDPC (pemeriksaan paritas kepadatan rendah). Standarnya cukup terbuka untuk penyiaran, layanan interaktif, dan DSNG.

Datastream yang tidak sesuai dengan Transport stream MPEG-2 juga dapat ditransmisikan dan dimungkinkan untuk mengirimkan salah satu atau beberapa Transport stream. Ini juga berlaku untuk datastream generik yang juga dapat dibagi menjadi paket-paket. Gambar 14.25. menunjukkan diagram blok modulator DVB-S2. Pada antarmuka input, datastream atau aliran muncul dalam bentuk Transport stream MPEG-2 atau datastream umum. Mengikuti blok adaptasi mode dan aliran, data diumpankan ke blok penyandian FEC.

Tabel 14.1. Rasio CNR minimum yang diperlukan dalam DVB-S dan DVB-S2

Mod.	CR =1/4	CR =1/3	CR =2/5	CR =1/2	CR =3/5	CR =2/3	CR =3/4	CR =4/5	CR =5/6	CR =8/9	CR =9/10
QPSK	-2.4 dB	-1.2 dB	0 dB	1 dB	2.2 dB	3.1 dB	4 dB	4.6 dB	5.2 dB	6.2 dB	6.5 dB
8PSK	-	-	-	-	5.5 dB	6.6 dB	7.9 dB	-	9.4 dB	10.6 dB	11 dB
16APSK	-	-	-	-	-	9 dB	10.2 dB	11 dB	11.6 dB	12.9 dB	13.1 dB
32APSK	-	-	-	-	-	-	12.6 dB	13.6 dB	14.3 dB	15.7 dB	16.1 dB

Dalam pemetaan downstream, QPSK (Gbr. 14.26.), 8PSK (Gbr. 14.27.), 16APSK (Gbr. 14.28.) atau 32APSK (Gbr. 14.29.) kemudian dipetakan. Ini selalu pemetaan mutlak, yaitu non-diferensial. Modulasi hierarkis adalah kasus khusus. Ini hampir kompatibel dengan standar DVB-S, sehingga memungkinkan untuk mentransmisikan aliran DVB-S dan aliran DVB-S2 tambahan. Dalam mode modulasi hierarkis (Gbr. 14.30.), konstelasi dapat diinterpretasikan dalam dua cara berbeda.

Tabel 14.2. Parameter pengkodean di DVB-S2

LDPC code rate	k_{BCH}	k_{LDPC}	t_{BCH}	FEC frame
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21600	12	64800
2/5	25728	25920	12	64800
1/2	32208	32400	12	64800
3/5	38688	38880	12	64800
2/3	43040	43200	10	64800
3/4	48408	48600	12	64800
4/5	51648	51840	12	64800
5/6	53840	54000	10	64800
8/9	57472	57600	8	64800
9/10	58192	58320	8	64800
1/4	3072	3240	12	16200
1/3	5232	5400	12	16200
2/5	6312	6480	12	16200
1/2	7032	7200	12	16200
3/5	9552	9720	12	16200
2/3	10632	10800	12	16200
3/4	11712	11880	12	16200
4/5	12432	12600	12	16200
5/6	13152	13320	12	16200
8/9	14232	14400	12	16200
9/10	NA	NA	NA	16200

Kuadran dapat diartikan sebagai titik konstelasi, memperoleh 2 bit untuk jalur prioritas tinggi yang sesuai dengan DVB-S. Akan tetapi, juga dimungkinkan untuk mencari dua titik diskrit di kuadran, mendekode bit lebih lanjut untuk jalur prioritas rendah dalam proses. Dalam hal ini, 3 bit per simbol ditransmisikan. Ada juga modulasi hierarkis di DVB-T. Setelah pemetaan, sinyal melewati tahap pembangkitan lapisan fisik dan penyaringan roll-off dan kemudian diubah menjadi sinyal modulasi yang tepat di modulator IQ. Faktor roll-off adalah 0,20, 0,25 atau 0,35.

Proteksi kesalahan (Gbr. 14.31.) terdiri dari coder BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) dan encoder LDPC (low density parity check) diikuti oleh bit interleaver. Tingkat kode yang mungkin adalah 1/4 ... 9/10 dan ditunjukkan pada gambar untuk diagram konstelasi masing-masing (QPSK ... 32APSK).

Dibandingkan dengan DVB-S, rasio CNR minimum yang diperlukan dalam DVB-S2 jauh lebih bergantung pada metode modulasi dan juga dapat divariasikan dengan laju kode.

Tabel 14.1 menunjukkan rasio CNR minimum dari Standar DVB-S2

Tidak seperti DVB-S, DVB-S2 memiliki struktur rangka. Ada bingkai FEC dan bingkai lapisan fisik. Bingkai FEC pertama-tama berisi data yang akan ditransmisikan yang

merupakan data yang memiliki struktur Transport stream MPEG-2 atau data yang cukup independen dari ini, yang disebut data generik.

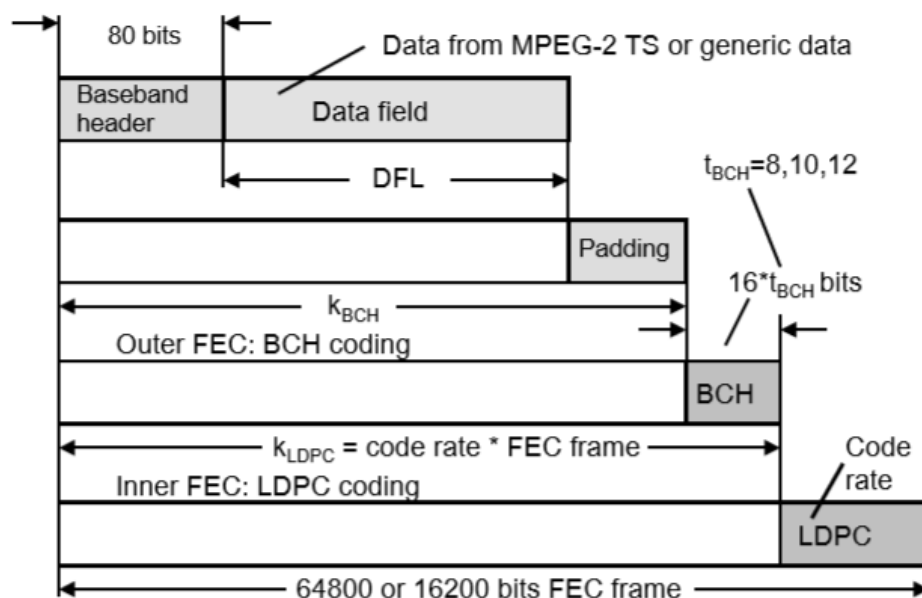
Di depan bidang data ini ada header baseband panjang 80 bit. Blok data dengan header pita dasar kemudian diisi dengan panjang yang tergantung pada tingkat kode yang dipilih dari perlindungan kesalahan dan kemudian diberikan dengan kode BCH ditambah kode LDPC. Tergantung pada mode, frame FEC kemudian memiliki panjang 64800 atau 16200 bit.

Bingkai FEC kemudian dibagi menjadi bingkai lapisan fisik yang terdiri dari n slot. Bingkai lapisan fisik dimulai dengan header lapisan fisik satu slot-panjang di mana pembawa dimodulasi BPSK /2-shift. Ini diikuti oleh slot 1 ... slot 16.

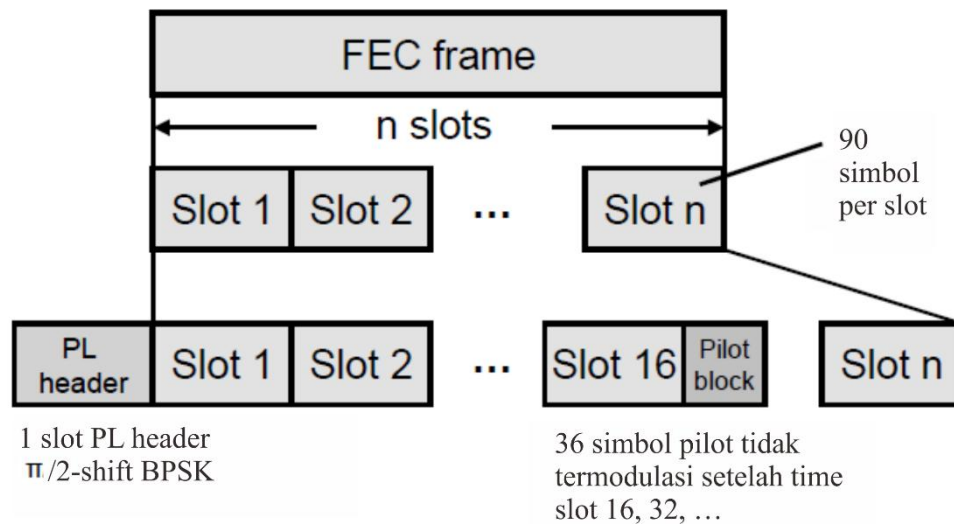
Slot 17 dapat menjadi pilot block jika pilot ditransmisikan (opsional). Ini diikuti oleh 16 slot waktu lain dengan data dan kemudian, setelah slot 32, mungkin pilot block lain dll.

Tabel 14.3. Contoh kecepatan data dalam DVB-S dan DVB-S2 dengan kecepatan simbol 27,5 MS/dtk

Standard	Modulation	CR	Pilots	Net data rate [Mbit/s]
DVB-S	QPSK	$\frac{3}{4}$	--	38.01
DVB-S2	QPSK	9/10	On	48.016345
DVB-S2	QPSK	9/10	Off	49.186827
DVB-S2	QPSK	8/9	On	47.421429
DVB-S2	QPSK	8/9	Off	48.577408
DVB-S2	8PSK	9/10	On	72.005046
DVB-S2	8PSK	9/10	Off	73.678193



Gambar 14.32. Bingkai FEC di DVB-S2



Gambar 14.33. Bingkai lapisan fisik di DVB-S2

$$\text{Net_data_rate} = \text{symbol_rate} / (\text{FEC_frame}/q + 90 + \text{ceil}((\text{FEC_frame}/q/90/16 - 1) \cdot 36) - 80);$$

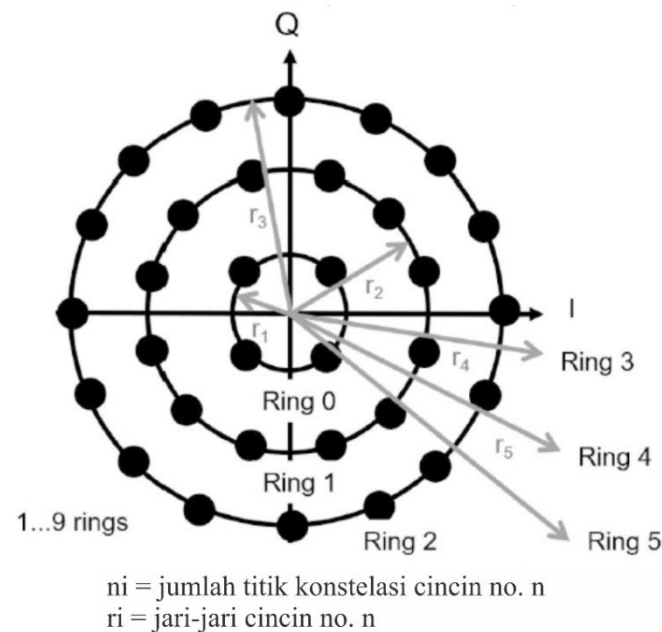
The equation is annotated with labels: '90 symbols PL header' points to the '90' term; '36 pilot symbols' points to the '36' term inside the ceiling function; 'no. of BCH polynomes' points to the '16' term; and '80 bit DF header' points to the '80' term.

Gambar 14.34. Rumus untuk menghitung kecepatan data bersih di DVB-S2

Sebuah slot memiliki panjang 90 simbol. Balok percontohan memiliki panjang 36 simbol. Tabel 14.1. menunjukkan parameter pengkodean bingkai FEC. Kecepatan data dalam DVB-S2 dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang ditunjukkan pada Gambar 14.33. Dalam prakteknya (simbol rate 27,5 MS/s), mereka sekitar 49 Mbit/s. Contoh data rate tercantum pada Tabel 14.3.

Perlindungan kesalahan yang digunakan dalam DVB-S2 memungkinkan efisiensi meningkat pesat (sekitar 30%), mendekati batas Shannon jauh lebih dekat. Ini juga membutuhkan kapasitas komputasi yang jauh lebih besar tetapi ini dapat disediakan oleh teknologi saat ini. Perlindungan kesalahan yang diterapkan di DVB-S2 sekarang juga digunakan dalam standar TV digital terrestrial Cina DTMB, dan dalam standar DVB baru DVB-T2 dan DVB-C2. Standar DVB-SH baru lainnya untuk TV seluler, meskipun sebagian besar berasal dari DVB-S2 (dan DVB-T), menggunakan pengkodean turbo untuk perlindungan kesalahannya.

DVB-S2 terutama ditujukan untuk HDTV - Televisi Definisi Tinggi. Sejak tahun 2005, beberapa program HD telah disiarkan dengan cara ini di Eropa, di antaranya "Sky", "Sat1" dan "Pro7" di Jerman. "Sat1" dan "Pro7" telah berhenti mentransmisikan HD untuk sementara waktu, setidaknya hingga 2010. Sejak satelit analog dimatikan pada tahun 2012, sebagian besar program TV tersedia dalam HDTV.



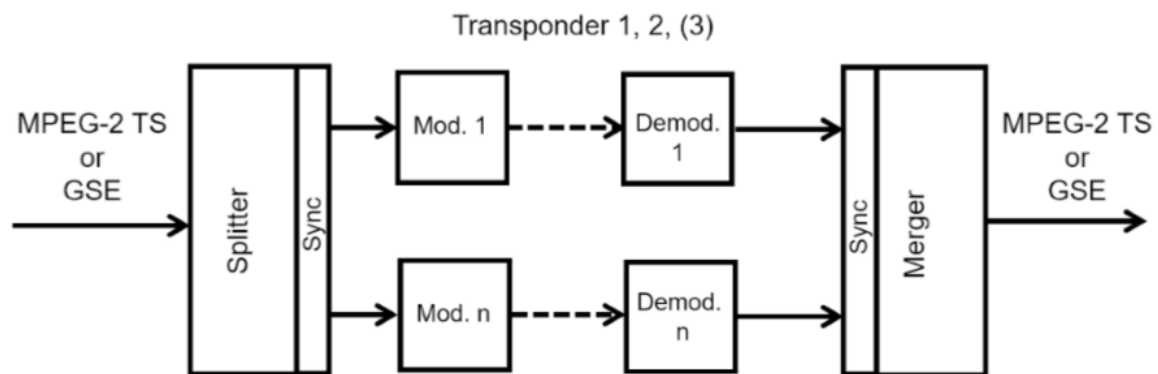
Gambar 14.35. Diagram konstelasi di DVB-S2X

14.8. DVB-S2X – Ekstensi dalam Standar DVB-S2

Sejak 2013 “Ultra High Definition Television” atau “4K” telah menjadi topik umum dari pameran siaran. Peralatan pengguna akhir berlabel logo ini telah tersedia sejak 2014. Standar kompresi video baru HEVC juga telah ada di pasaran sejak 2013. Video UHDTV yang dikompresi oleh prosedur HEVC memiliki kecepatan data biasanya 20 hingga 30 Mbit/s, yang menyebabkan ahli dari proyek DVB untuk mengembangkan standar transmisi satelit DVB baru. Namun, hasil dari pekerjaan ini bukanlah DVB-S3, hanya DVB-S2X; ekstensi ini ke standar DVB-S2 diterbitkan pada tahun 2014 sebagai "Ekstensi Kecepatan Data Tinggi Opsional". Itu ditunjuk hanya sebagai DVB-S2X karena perubahan yang diperkenalkan tidak terlalu signifikan. FEC DVB-S2X sama dengan DVB-S2, meskipun laju kode lebih lanjut telah ditentukan untuk DVB-S2X. Varian baru ini berfungsi untuk penerimaan Direct to Home (DTH), "Layanan Interaktif" dan DSNG, serta untuk aplikasi profesional. Pola modulasinya memungkinkan ketahanan tinggi dan rendah, akibatnya juga kecepatan data rendah dan tinggi. Fitur utama DVB-S2X adalah sebagai berikut:

- Pola modulasi baru dari QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK hingga 64APSK, 128APSK dan 256APSK
- Titik-titik konstelasi diatur pada satu hingga sembilan lingkaran, dengan radius tergantung pada pola modulasi dan laju kode (disebut NUC Non-Uniform Constellation)
- Berbagai pola modulasi (seragam dan tidak seragam)
- Lebih banyak kombinasi tingkat kode / modulasi untuk mendukung lebih banyak skenario SNR
- Super-Frame sebagai pilihan
- Faktor roll-off yang lebih kecil untuk meningkatkan efisiensi spektral (sebesar 5% dan 10%)
- Ikatan channel
- Dukungan Mode Efisiensi Tinggi (GSE)
- Dukungan mode SNR sangat rendah hingga -10 dB
- VCM (Variable Coding and Modulation) juga untuk Direct to Home (DTH)
- FEC seperti pada DVB-S2 (BCH dan LDPC)

Di DVB-S2X konstelasi telah didefinisikan yang melampaui 32 poin hingga 256APSK; semua keadaan ini disusun hingga sembilan lingkaran konsentris dengan jari-jari yang berbeda (r_1 hingga r_9). Jumlah titik pada lingkaran tertentu dan jari-jari (Gbr. 14.35. dan Gbr. 14.37.) bergantung pada kombinasi pola modulasi dan laju kode. Di DVB-S tidak ada bingkai, hanya simbol; hanya simbol gabungan DVB-S2 ke dalam slot dan struktur bingkai pada beberapa slot ditentukan. Di DVB-S2X, ada level opsional lebih lanjut, yang disebut super-frame, yang menggabungkan beberapa frame. Faktor roll-off 5% dan 10% menghasilkan efisiensi spektral yang lebih baik. Konstelasi dan tingkat kode dikelompokkan ke dalam pasangan yang memungkinkan perincian SNR yang lebih baik untuk kondisi penerimaan “Jatuh-dari-Tebing”. Lebih penting lagi, bahkan ada mode operasi yang mendukung rasio sinyal-noise hingga -10 dB.



Gambar 14.36. Ikatan channel di DVB-S2X (hingga 3 transponder)

Untuk penerimaan langsung ke rumah (DTH) kecepatan data yang berguna dapat ditingkatkan hingga 50 hingga 60 Mbit/dtk per transponder, sehingga antenna penerima satelit yang memiliki penguatan lebih tinggi dan diameter melebihi 1 m dapat dihindari. Aplikasi UHD-TV berbasis HEVC memerlukan kecepatan data 20 hingga 30 Mbit/s per layanan, artinya hanya dua layanan UHD yang dapat ditransfer per transponder. Untuk mencapai keuntungan multipleks statistik yang tinggi, lebih banyak layanan harus digabungkan dalam satu multipleks statistik. Bandwidth transponder tidak dapat diperpanjang karena filter IMUX dan OMUX dari satelit, oleh karena itu DVB-S2X memungkinkan untuk menggabungkan transponder yang berbeda secara fisik ke dalam channel data logis - ini disebut "ikatan channel". Dalam ikatan channel DVB-S2X dilakukan dengan membagi datastream "besar" menjadi beberapa datastream sinkron yang lebih kecil, yang ditransfer melalui transponder non-berdekatan yang berbeda (Gbr. 14.36.). Hingga tiga transponder dapat terikat channel. Penerima yang kompatibel dengan DVB-S2X harus dapat mendemodulasi tiga transponder secara paralel dan menggabungkannya kembali ke datastream "besar" menggunakan sinyal sinkronisasi dalam aliran parsial yang dimasukkan oleh Modulator DVBS2X.

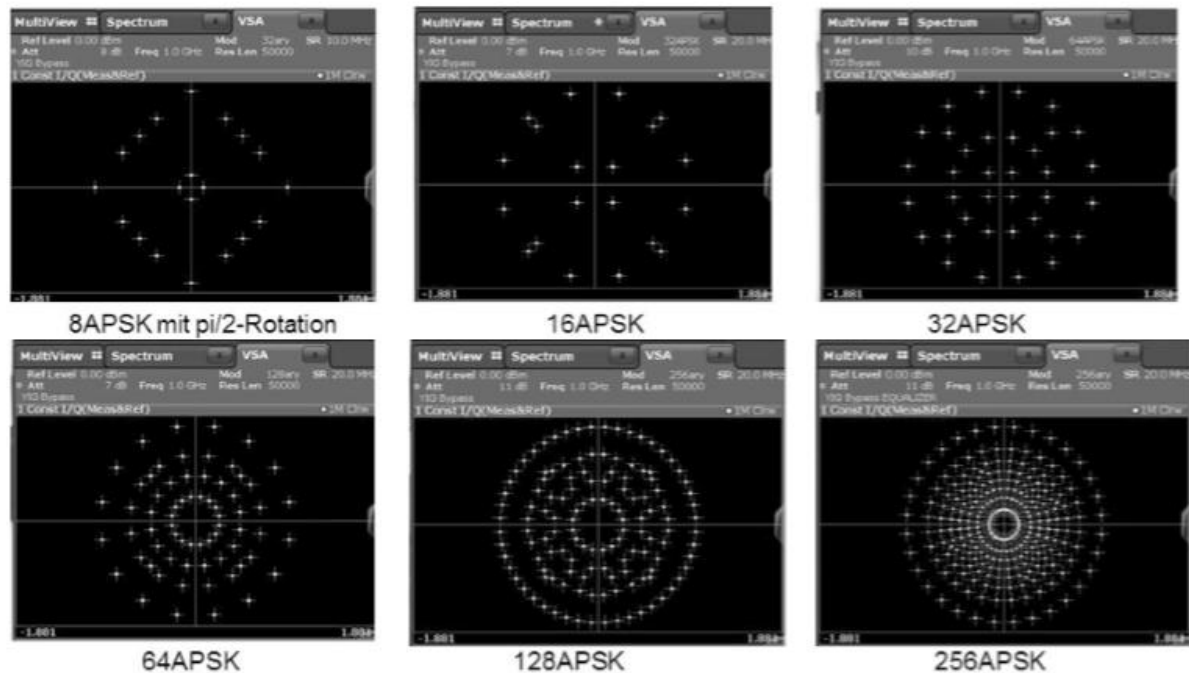
Tabel 14.4. Kemungkinan kombinasi pola modulasi DVB-S2X dan kecepatan kode jika "FEC-Frame panjang"

Modulasi	Koderat	Aplikasi
QPSK	1/4, 1/3, 2/5 (wie S2) 1/2, 3/5, 2/3, 4/5, 5/6, 8/9, 8/10 (wie S2) 13/45 9/20, 11/20	Siaran, Interaktif, DSNG, Profesional, VLSNR
8PSK	3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10 (Seperti di S2) 23/36, 25/36, 11/18	Siaran, Interaktif, DSNG, Profesional, VLSNR
8APSK-L	5/9, 26/45	Siaran, Interaktif, DSNG, Profesional, VLSNR
16APSK	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 (seperti di S2) 32/45, 11/15, 7/9	Siaran, Intektif, DSNG, Profesional, VLSNR
16APSK-L	5/9, 8/15, 1/2, 3/5, 2/3	Siaran, Interaktif, DSNG, Profesional, VLSNR
32APSK	3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 (seperti di S2) 32/45, 11/15, 7/9	Siaran, Interaktif, DSNG, Profesional, VLSNR
32APSK-L	23-Jan	Siaran, Interaktif, DSNG, Profesional, VLSNR
64APSK	11/15, 7/9, 4/5, 5/6	Opsional untuk Siaran, wajib untuk Interaktif, DSNG, wajib untuk Profesional, opsional untuk VL-SNR
64APSK-L	32/45	Opsional untuk Siaran, Interaktif, DSNG, wajib untuk Profesional, opsional untuk VL-SNR
128APSK	3/4, 7/9	Opsional untuk Interaktif, opsional untuk DSNG, wajib untuk Profesional
256APSK	32/45, $\frac{3}{4}$	Opsional untuk Interaktif, opsional untuk DSNG, wajib untuk Profesional
256APSK-L	29/45, 2/3, 31/45, 11/15	Opsional untuk Interaktif, opsional untuk DSNG, wajib untuk Profesional

Tabel 14.5. Kemungkinan kombinasi pola modulasi DVB-S2X dan kecepatan kode dalam kasus "FEC Frame pendek"

Modulasi	Koderat	Aplikasi
QPSK	1/4, 1/3, 2/5 (as in S2) 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 (seperti di S2) 11/45, 4/15, 14/45, 7/15, 8/15, 32/45	wajib untuk Interaktif, opsional untuk DSNG, wajib untuk Profesional, wajib untuk VL-SNR
8PSK	3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9 (as in S2) 7/15, 8/15, 26/45, 32/45	wajib untuk Interaktif, opsional untuk DSNG, wajib untuk Profesional, wajib untuk VL-SNR
16APSK	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 (seperti di S2) 7/15, 8/15, 26/45, 3/5, 32/45	wajib untuk Interaktif, opsional untuk DSNG, wajib untuk Profesional, wajib untuk VL-SNR
32APSK	3/4, 4/5, 5/6, 8/9 (wie S2) 2/3, 32/45	wajib untuk Interaktif, opsional untuk DSNG, wajib untuk Profesional, wajib untuk VL-SNR

Saat ini tidak ada peralatan pengguna akhir TV yang mendukung standar DVB-S2X. Transmisi UHD-TV didistribusikan melalui transponder DVB-S2 standar. Parameter DVB-S2 yang dipilih untuk aplikasi UHD memungkinkan kecepatan data sekitar 55 Mbit/dtk (contoh: konstelasi 8PSK dengan kecepatan kode 2/3, pilot dimatikan dan faktor roll-off 0,20 menghasilkan kecepatan data sebesar 54,5 Mbit/s, atau, jika kecepatan kode dinaikkan menjadi dengan pengaturan yang sama, maka kecepatan data meningkat menjadi 61,3 Mbit/s). Akibatnya, dua layanan UHD dapat diangkut melalui satu transponder tersebut.



Gambar 14.37. Diagram konstelasi DVB-S2X (NUC=Non-Uniform Constellation) (contoh, direkam oleh tipe VSA Rohde & Schwarz FSW-K70)



Gambar 14.38. Penguat daya / konverter up band ku PKU900, Rohde&Schwarz

BAB 15

TEKNOLOGI PENGUKURAN DVB-S/S2

15.1. Pendahuluan

Transmisi satelit dari sinyal TV digital sekarang telah dibahas secara rinci. Bagian berikut akan membahas teknologi pengukuran DVB-S/S2. Transmisi satelit relatif kasar dan, pada prinsipnya, hanya tunduk pada efek noise (sekitar 205 dB redaman ruang bebas), dan kemungkinan iradiasi karena tautan gelombang mikro. Ada juga gangguan noise pada IF satelit pertama karena telepon tanpa kabel (DECT).

Parameter pengujian penting pada sinyal DVB-S adalah:

- Tingkat sinyal
- Rasio kesalahan bit
- CNR (pembawa/rasio noise)
- E_b/N_0
- Rasio kesalahan modulasi (MER)
- Atenuasi bahu

Berikut ini diperlukan untuk pengukuran pada sinyal DVB-S:

- Penganalisis spektrum modern (misalnya Rohde&Schwarz FSV, FSW)
- Penerima DVB-S profesional dengan pengukuran BER atau instrumen uji antena (misalnya Kathrein MSK33, KWS Varos109) atau penganalisis MPEG dengan antarmuka RF yang sesuai (Rohde&Schwarz DVM)
- Pemancar uji DVB-S/S2 untuk pengukuran pada penerima TV dan penerima satelit eksternal (misalnya Rohde&Schwarz SFQ, SFU, SFL, SFE)

15.2. Mengukur Rasio Kesalahan Bit/*Bit Error Ratios*(BER)

Karena perlindungan kesalahan dalam dan luar, ada tiga rasio kesalahan bit yang berbeda di DVB-S:

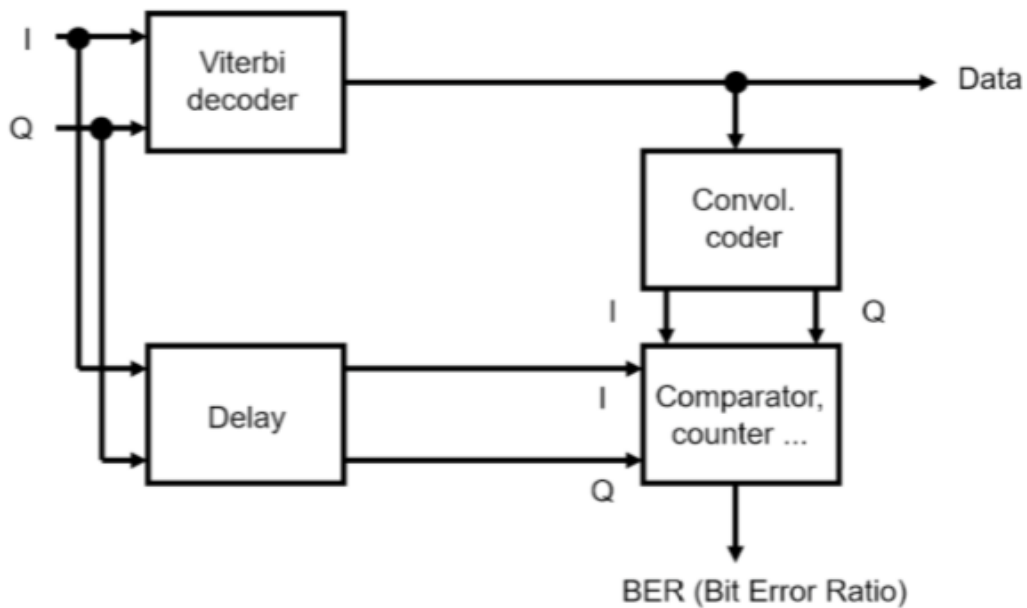
- Rasio kesalahan bit pra-Viterbi
- Rasio kesalahan bit Pra-Reed-Solomon
- Rasio kesalahan bit Post-Reed-Solomon

Rasio kesalahan bit yang paling menarik yang memberikan informasi paling banyak tentang tautan transmisi adalah rasio kesalahan bit pra-Viterbi. Ini dapat diukur dengan menerapkan kembali datastream setelah dekoder Viterbi ke pembuat kode konvolusi dengan konfigurasi yang sama dengan pemancar. Jika kemudian datastream sebelum dekoder Viterbi dibandingkan dengan datastream setelah pengkode konvolusi (Gbr. 15.1.) (dengan mempertimbangkan penundaan pengkode), keduanya identik jika tidak ada kesalahan. Sebuah pembanding untuk cabang I dan untuk cabang Q kemudian menentukan perbedaan, dan dengan demikian kesalahan bit.

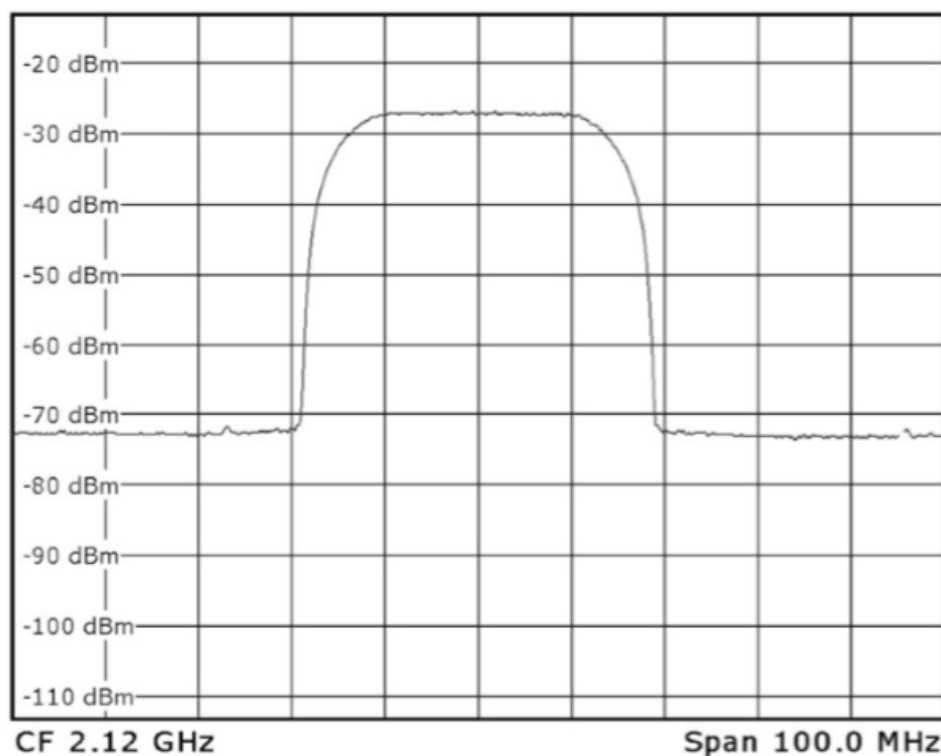
Kesalahan bit yang dihitung kemudian dikaitkan dengan jumlah bit yang ditransmisikan dalam periode yang sesuai, menghasilkan rasio kesalahan bit

$$\text{BER} = \text{kesalahan bit} / \text{bit yang ditransmisikan};$$

Kisaran rasio kesalahan bit pra-Viterbi adalah antara $1 \cdot 10^{-4}$ hingga $1 \cdot 10^{-2}$. Ini berarti bahwa setiap bit sepersepuluh ribu hingga keseratus mengalami kesalahan.



Gambar 15.1. Sirkuit untuk mengukur rasio kesalahan bit pra-Viterbi



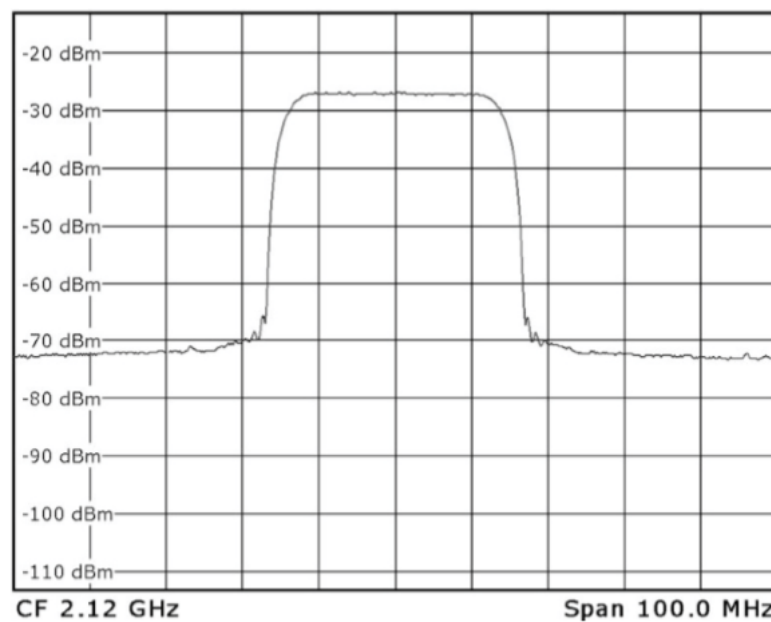
Gambar 15.2. Spektrum sinyal DVB-S (10 dB/Div, 10 MHz/Div, Rentang 100 MHz)

Dekoder Viterbi hanya dapat memperbaiki sebagian dari kesalahan bit. Dengan demikian ada rasio kesalahan bit sisa yang tersisa sebelum decoder Reed-Solomon. Menghitung proses koreksi decoder Reed-Solomon dan menghubungkannya dengan jumlah bit yang ditransmisikan dalam periode waktu yang sesuai memberikan rasio kesalahan bit pra-Reed-Solomon. Batas rasio kesalahan bit sebelum Reed-Solomon adalah sekitar $2 \cdot 10^{-4}$. Sampai di sana, decoder Reed Solomon dapat memperbaiki semua kesalahan. Namun, pada saat yang sama, transmisi "di ambang". Sedikit lebih

banyak gangguan, mis. karena terlalu banyak redaman akibat hujan, dan transmisi akan rusak dan gambar akan mulai menunjukkan "pemblokiran". Tetapi dekoder Reed-Solomon, juga, tidak dapat memperbaiki semua kesalahan bit, menghasilkan paket Transport stream yang salah yang kemudian ditandai di header TS (indikator kesalahan transportasi bit = 1). Jika paket Transport stream yang salah dihitung, rasio kesalahan bit dekoder pasca-Reed-Solomon dapat dihitung. Jika rasio kesalahan bit yang sangat rendah (misalnya kurang dari 10^{-6}) diukur, waktu pengukuran yang lama dalam kisaran menit atau jam harus dipilih untuk mendeteksi ini dengan tingkat akurasi apa pun. Karena ada hubungan langsung antara rasio kesalahan bit dan rasio pembawa/suara, ini dapat digunakan untuk menentukan yang terakhir (lihat diagram di Bagian 14.6 "Pengaruh yang mempengaruhi tautan transmisi satelit", Gambar 14.24.). Hampir setiap chip DVB-S atau penerima DVB-S berisi sirkuit untuk menentukan rasio kesalahan bit pra-Viterbi karena nilai ini dapat digunakan untuk menyelaraskan antena penerima satelit dan untuk menentukan kualitas penerimaan. Sirkuit itu sendiri tidak terlalu rumit. Dalam kebanyakan kasus, receiver DVB-S menampilkan dua grafik batang di menu pengaturannya, satu untuk kekuatan sinyal dan satu lagi untuk kualitas sinyal. Yang terakhir ini berasal dari rasio kesalahan bit.

Karena perlindungan kesalahan yang diubah, rasio kesalahan bit berikut ditentukan dalam DVB-S2:

- Rasio bit eror sebelum LDPC
- Rasio bit eror sebelum BCH
- Rasio bit eror setelah BCH



Gambar 15.3. Spektrum sinyal DVB-S2 dengan rolloff=0,25

15.3. Pengukuran pada Sinyal DVB-S menggunakan Spectrum Analyzer

Penganalisis spektrum sangat cocok untuk mengukur daya di channel DVBS, setidaknya di uplink. Tentu saja, penggunaan pengukur daya termal juga cukup sederhana, tetapi penganalisis spektrum juga dapat digunakan untuk menentukan rasio pembawa/suara di uplink. Namun, pertama-tama, kekuatan sinyal DVB-S/S2 akan ditentukan menggunakan penganalisis spektrum. Sinyal DVB-S/S2 memiliki tampilan noise dan memiliki faktor puncak yang agak besar. Karena kemiripannya yang kuat dengan derau Gaussian putih, kekuatannya diukur persis seperti dalam kasus derau.

Untuk menentukan daya pembawa, penganalisis spektrum diatur sebagai berikut: Pada penganalisis, bandwidth resolusi 2 MHz dan lebar pita video 3 hingga 10 kali bandwidth resolusi (10 MHz) dipilih. Untuk mencapai beberapa rata-rata, waktu operasi yang lambat harus diatur (2000 ms). Parameter ini diperlukan karena detektor RMS digunakan dalam penganalisis spektrum. Pengaturan berikut digunakan:

- Frekuensi tengah di tengah channel DVB-S/S2,
- Rentang pada 100 MHz,
- Resolusi bandwidth pada 2 MHz,
- Bandwidth video pada 10 MHz (karena detektor RMS dan representasi log.),
- Detektor RMS
- Waktu pengoperasian lambat (2000 ms)
- Penanda noise di pusat channel (menghasilkan C' dalam dBm/Hz)

Ini menghasilkan spektrum seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 15.2. Detektor RMS menghitung densitas daya sinyal di jendela dengan bandwidth 1 Hz, jendela uji terus didorong ke jendela frekuensi yang akan diukur (rentang sapuan). Pada prinsipnya, pertama-tama nilai tegangan RMS (root mean square) ditentukan dari semua sampel di jendela sinyal bandwidth 1 Hz:

$$U_{RMS} = \frac{1}{N} \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots};$$

Dari sini, daya di jendela sinyal ini dihitung dengan mengacu pada impedansi 50Ω dan diubah menjadi dBm. Ini kemudian kepadatan daya sinyal di jendela bandwidth 1 Hz. Semakin lambat waktu sapuan yang dipilih, semakin banyak sampel yang dapat ditampung di jendela ini dan hasil pengujian akan semakin halus dan rata-rata lebih baik.

Karena sinyal seperti noise, kami menggunakan kekuatan pengukur penanda noise. Penanda noise diatur ke pusat pita untuk tujuan ini. Prasyaratnya adalah channel datar tetapi ini selalu dapat dianggap sebagai kasus di uplink. Jika channel tidak datar, fungsi pengukuran lain yang sesuai harus digunakan untuk mengukur daya channel tetapi ini tergantung pada penganalisis spektrum.

Alat analisa memberikan nilai C' sebagai densitas daya noise pada posisi penanda noise dalam dBm/Hz, dan bandwidth filter serta karakteristik penguat logaritmik alat analisa secara otomatis dipertimbangkan. Untuk menghubungkan densitas daya sinyal C' dengan Nyquist bandwidth BN dari sinyal DVB-S/S2, perlu untuk menghitung daya sinyal C sebagai berikut:

$$C = C' + 10 \cdot \log B_N = C' + 10 \cdot \log (\text{symbol rate/Hz}) \text{ dB}; \square \text{ dBm} \square$$

Bandwidth Nyquist sinyal sesuai dengan tingkat simbol sinyal DVB-S.

15.4. Perkiraan Penentuan Daya Noise N

Jika dimungkinkan untuk mematikan sinyal DVB-S tanpa mengubah rasio noise di channel, penanda noise di tengah pita sekarang akan memberikan informasi tentang rasio noise di channel. Namun, ini tidak dapat dilakukan dengan cara yang begitu sederhana. Jika bukan nilai pengukuran yang tepat, maka setidaknya "ide bagus", diperoleh jika penanda derau digunakan di bahu sinyal DVB-S/S2 untuk mengukur di dekat sinyal. Hal ini karena dapat diasumsikan bahwa noise fringe pada band yang diinginkan berlanjut sama dengan penampilannya di bahu.

Nilai N' dari densitas daya derau dikeluarkan oleh penganalisis spektrum. Daya derau N pada channel dengan bandwidth B_C channel transmisi DVB-S kemudian dihitung dari rapat daya derau N' sebagai berikut:

$$N = N' + 10 \cdot \log B_C = N' + 10 \cdot \log(\text{channel bandwidth/Hz}) \text{dB}; \quad \square \text{ dBm} \square$$

CNR yang dihasilkan adalah:

$$CNR_{[dB]} = C_{[dBm]} - N_{[dBm]};$$

Sebenarnya, untuk mengukur CNR di downlink, noise diukur di celah antara channel individu. Kemungkinan lain untuk mengukur CNR adalah dengan menggunakan penganalisis konstelasi yang sesuai untuk DVB-S/S2 (misalnya DVM Rohde&Schwarz dengan opsi RF) atau melalui jalan memutar untuk mengukur tingkat kesalahan bit. Secara alami, penganalisis semacam itu juga dapat digunakan untuk mengukur level.

15.5. C/N, S/N dan E_b/N_0

Rasio carrier-to-noise CNR merupakan nilai penting dalam menilai kualitas link transmisi satelit. Dari CNR, kesimpulan langsung dapat ditarik sehubungan dengan tingkat kesalahan bit yang diharapkan. CNR adalah hasil dari daya yang diradiasikan oleh satelit ($< \sim 100\text{W}$), penguatan antena pada ujung pemancar dan penerima (ukuran antena penerima) dan hilangnya ruang antara. Penjajaran antena penerima satelit dan noise figure LNB juga berperan. Penerima DVB-S mengeluarkan nilai CNR sebagai bantuan untuk menyelaraskan antena penerima.

$$CNR_{[dB]} = 10 \cdot \log(P_{\text{Carrier}}/P_{\text{Noise}});$$

Selain rasio carrier-to-noise, ada juga rasio signal-to-noise:

$$SNR_{[dB]} = 10 \cdot \log(P_{\text{Signal}}/P_{\text{Noise}});$$



Gambar 15.4. Diagram konstelasi sinyal DVB-S yang tidak terganggu dengan pengukuran MER dan BER

15.6. Menemukan Rasio EB/N0 di DVB-S(1)

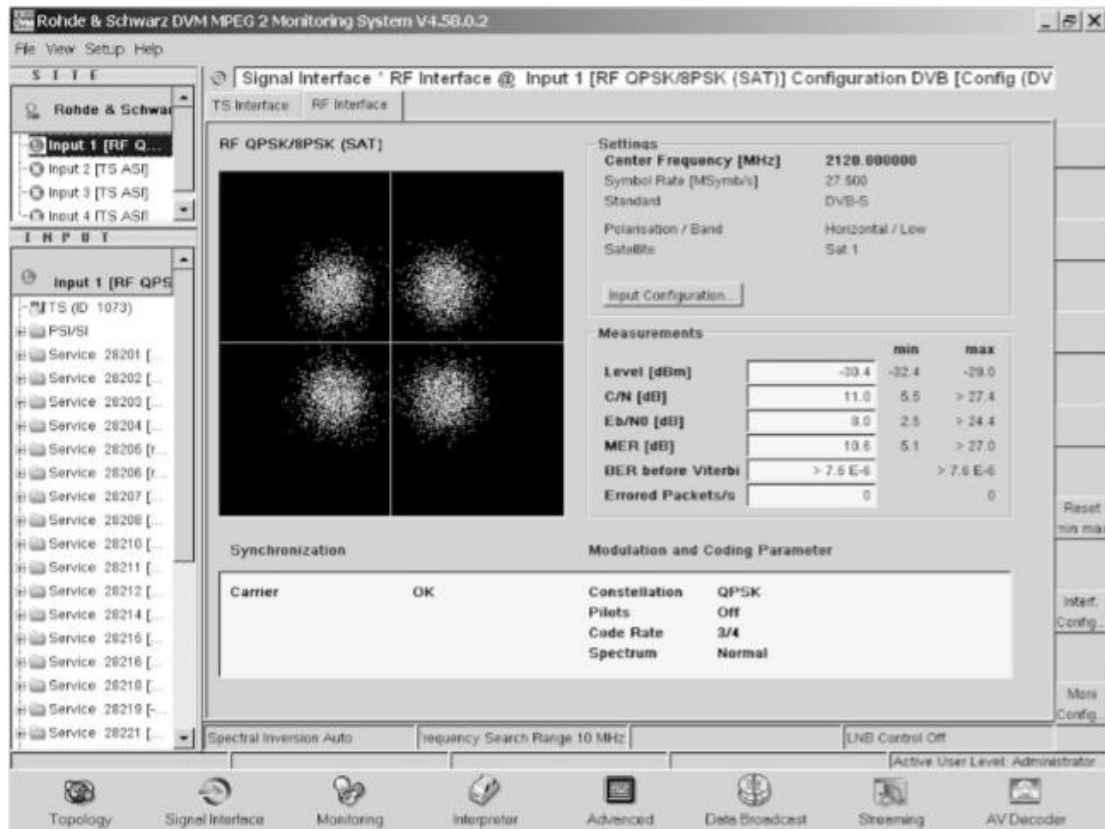
Dalam DVB-S, istilah EB/N0 sering disebutkan. Ini adalah energi per bit sehubungan dengan kepadatan daya noise.

E_B = energi per bit;

N_0 = kerapatan daya noise dalam dBm/Hz;

E_B/N_0 dapat dihitung dari rasio CNR:

$$E_B/N_0 [dB] = CNR[dB] + 10\log(188/204) - 10\log(m) - 10\log(\text{tingkat kode});$$



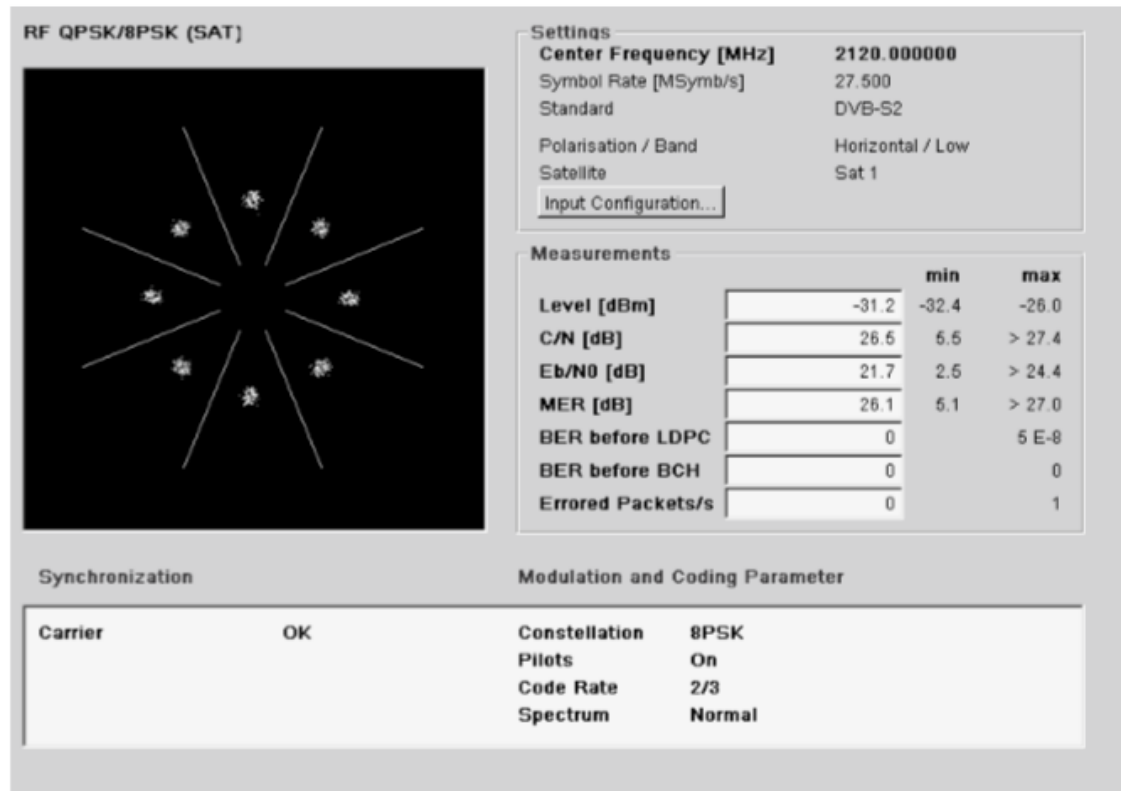
Gambar 15.5. Diagram konstelasi sinyal DVB-S yang terganggu

15.7. Modulation Error Ratio (MER)

Rasio kesalahan modulasi (MER) adalah parameter agregat di mana semua sinyal yang mengganggu yang mempengaruhi sinyal yang dimodulasi secara digital dipetakan. Setiap peristiwa yang mengganggu, atau hit, dapat dijelaskan oleh vektor kesalahan yang mendorong titik konstelasi keluar dari pusat ideal bidang keputusan. Rasio nilai RMS yang diukur dari amplitudo sinyal dengan rata-rata kuadrat dari vektor kesalahan adalah MER. Ini didefinisikan secara rinci dalam bab tentang teknologi pengukuran DVB-C dan DVB-T. Dalam kasus DVB-S/S2, MER hampir identik dengan nilai SNR karena hanya ada efek noise.

15.8. Mengukur Redaman Bahu

Sinyal DVB-S/2 dalam channel DVB-S/2 yang diinginkan harus sedatar mungkin, yaitu tidak menunjukkan riak atau kemiringan apa pun. Menjelang tepi channel, spektrum DVB-S/2 turun disaring dengan rolloff yang mulus. Namun demikian, masih ada komponen sinyal di luar pita yang diinginkan dan ini disebut 'bahu' sinyal DVB-S/2. Tujuannya adalah untuk mencapai redaman bahu terbaik setidaknya 40 dB. [ETS 300421] menentukan toleransi topeng untuk spektrum sinyal DVB-S/2 tetapi, pada prinsipnya, operator satelit dapat menentukan topeng toleransi tertentu untuk redaman bahu.



Gambar 15.6. Diagram konstelasi sinyal DVB-S2 yang tidak terganggu (8PSK)

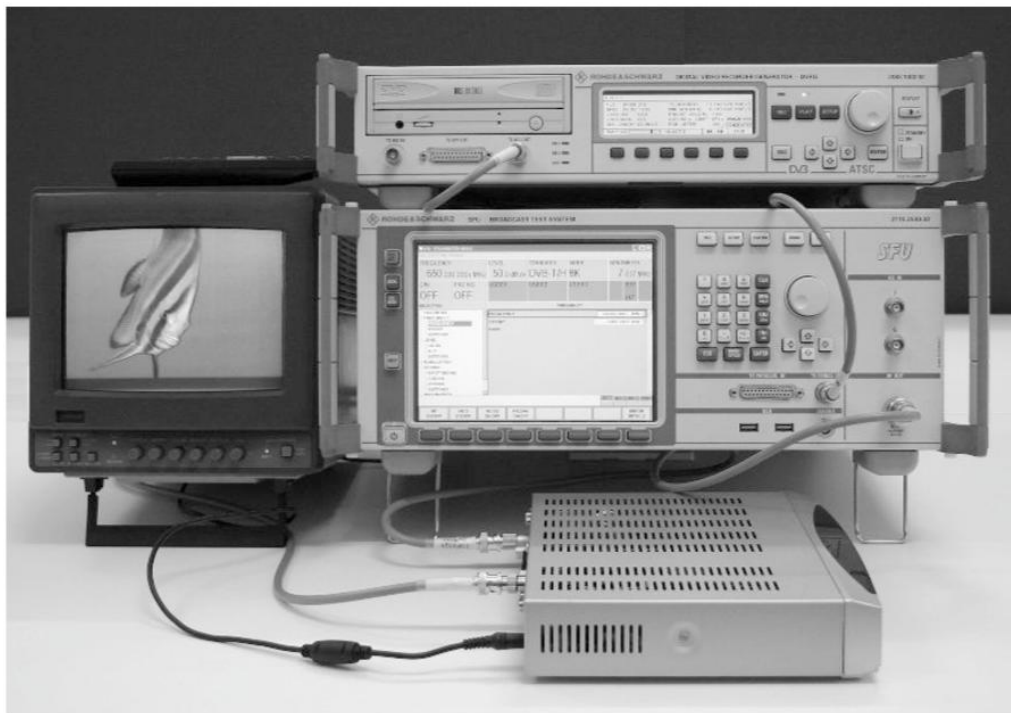


Gambar 15.7. Spektrum DVB-S dengan "bahu"

Spektrum sinyal dianalisis menggunakan penganalisis spektrum dan fungsi penanda sederhana.

15.9. Uji Penerima DVB-S/S2

Pengujian receiver DVB-S/S2 (penerima TV, penerima satelit eksternal, Gambar 15.4.) dianggap sangat penting. Pemancar uji DVB-S/S2 digunakan untuk tujuan ini, yang dapat mensimulasikan tautan transmisi satelit dan proses modulasi. Pemancar uji semacam itu (misalnya Pemancar Uji TV Rohde & Schwarz SFQ, SFU, BTC) termasuk, selain modulator DVB-S/S2 dan upconverter, sumber noise tambahan dan bahkan mungkin simulator channel. Pemancar uji diumpankan dengan Transport stream MPEG-2 dari generator MPEG-2. Pemancar uji kemudian memasok sinyal DVB-S/S2 dalam jangkauan IF satelit pertama (900 - 2100 MHz). Sinyal ini dapat diumpankan langsung ke input penerima DVB-S/S2. Kemudian dimungkinkan untuk membuat berbagai kondisi sinyal yang merugikan untuk penerima DVB-S/S2 dengan mengubah banyak parameter di pemancar uji. Dimungkinkan juga untuk mengukur rasio kesalahan bit sebagai fungsi dari rasio CNR. Pemancar uji tersebut digunakan baik dalam pengembangan maupun dalam produksi dan jaminan kualitas receiver DVB-S/S2.



Gambar 15.8. Menguji penerima DVB oleh generator MPEG-2 (Rohde & Schwarz DVRG) dan pemancar uji (Rohde & Schwarz SFU)

Generator MPEG-2 (atas) memasok MPEG-2 transport stream dengan konten uji dan mengumpankan pemancar uji DVB (tengah) yang, pada gilirannya, menghasilkan sinyal RF termodulasi IQ yang sesuai dengan DVB untuk penerima DVB (bawah). Sinyal video output dari penerima DVB ditampilkan pada monitor TV (kiri).



Gambar 15.9. Pengukuran pada sistem antenna satelit menggunakan antenna penerima uji (KWS VAROS 109).

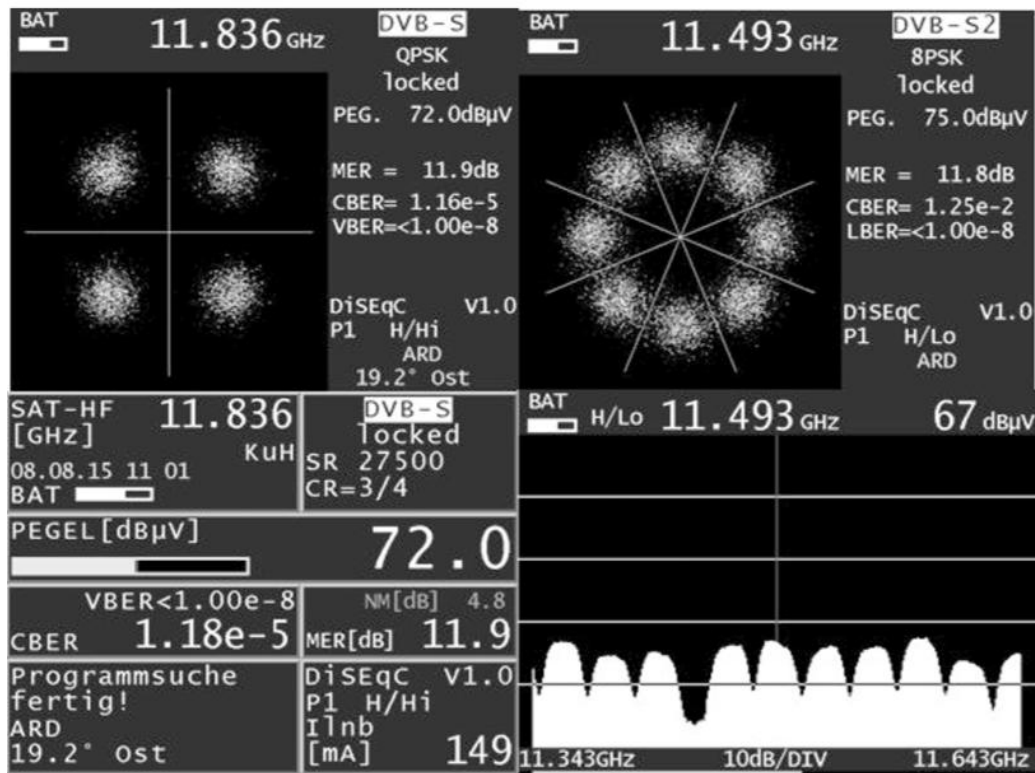
Sisi kiri: parameter pengukuran penting (level, MER, BER) dan diagram konstelasi. Sisi kanan: sinyal video yang didekodekan; peralatan ini juga mencakup antarmuka LNB dengan output IF optik.

15.10. Pengukuran pada Sistem Antena Satelit

Kualitas sinyal sistem antenna satelit dapat diukur dengan penerima uji antenna satelit, memungkinkan juga untuk menyesuaikan antenna penerima dengan benar ke orbit satelit. Penerima uji antenna (lihat Gambar 15.10. dan 15.11, KWS Electronic, VAROS 109) [KWS] menyediakan parameter pengukuran yang telah dibahas seperti

- Tingkat RF dalam dB μ V (60... 80 dB μ V, idealnya sekitar 70 dB μ V)
- MER dalam dB (7...13 dB, idealnya >11 dB)
- BER sebelum Viterbi atau LDPC
- BER sebelum Reed-Solomon atau BCH.

Selain itu, spektrum channel satelit dapat ditampilkan yang sangat membantu untuk penyesuaian antenna satelit yang benar. Layanan dapat didekodekan juga. Untuk tujuan ini, modul CA dengan kartu pintar dari penyedia layanan mungkin diperlukan. Gambar 15.11. menunjukkan beberapa contoh layar pengukuran dari penerima uji satelit yang menampilkan parameter pengukuran terpenting, diagram konstelasi (DVB-S/QPSK, DVB-S2/8PSK) dan spektrum.



Gambar 15.10. Tampilan pengukuran penerima uji antenna satelit yang diproduksi KWS tipe VAROS 109 (diagram konstelasi DVB-S/QPSK, DVBS2/8PSK, parameter dan spektrum pengukuran terpenting)

Untuk menyelaraskan parabola penerima ke posisi satelit yang diinginkan, penerima uji antenna satelit harus digunakan. Selain itu, lokasi geografis titik penerima, posisi orbit satelit dan parameter teknis transponder satelit terpopuler pada satelit yang bersangkutan harus diketahui. Ini adalah sebagai berikut:

- Frekuensi transponder satelit (GHz)
- Pita tinggi/rendah
- Polarisasi horizontal/vertikal
- Tingkat simbol
- Koreksi Kesalahan Teruskan (FEC, Code Rate).

Dengan menggunakan tabel (dari majalah satelit atau Internet), sudut azimuth dan elevasi dari lokasi penerima dapat ditentukan dari data geografis (bujur, lintang). Berdasarkan informasi ini, antenna dapat disetel secara kasar ke posisi orbit satelit. Kemudian LNB antenna penerima harus disetel melalui penerima uji satelit, menggunakan data transponder yang terkenal. Kemudian spektrum yang ditampilkan pada penerima uji harus dioptimalkan (peningkatan daya terlihat dari spektrum transponder satelit di atas lantai noise). Pada langkah berikutnya, harus diperiksa apakah satelit yang benar disetel dengan mendekode transponder dan membacakan data SI. Setelah penyesuaian kasar, nilai MER harus dioptimalkan (sasaran: melebihi sekitar 11 dB). Semakin tinggi MER, semakin tinggi margin noise dan semakin tinggi cadangan jika terjadi kondisi cuaca buruk. Penting untuk diketahui bahwa transponder yang berbeda akan menunjukkan kualitas yang berbeda (nilai MER yang berbeda). Batas penerimaan bebas kesalahan biasanya pada MER 7 dB.

Kadang-kadang perlu untuk menghitung frekuensi menengah satelit (sat IF) dari frekuensi transponder; LNB berisi dua osilator, satu berjalan pada 9,75 GHz (Band

Rendah) dan yang lainnya pada 10,6 GHz (Band Tinggi). Tabel 15.1. dan 15.2. daftar pengaturan parameter yang benar untuk LNB. Model LNB yang berbeda ada sebagai berikut:

- LNB tunggal dengan sinyal kontrol 14/18V/22kHz
- Quad LNB dengan sinyal kontrol 14/18V/22kHz, memiliki empat output yang dapat dialihkan untuk empat receiver
- LNB Quattro, empat output tetap (untuk multi switch)
- Quad LNB dengan kontrol DiSEqC, dengan empat output yang dapat dialihkan untuk empat receiver (= LNB Quattro Switch)
- LNB tunggal untuk aplikasi Unicable,
- LNB dengan IF optik untuk keempat domain satelit

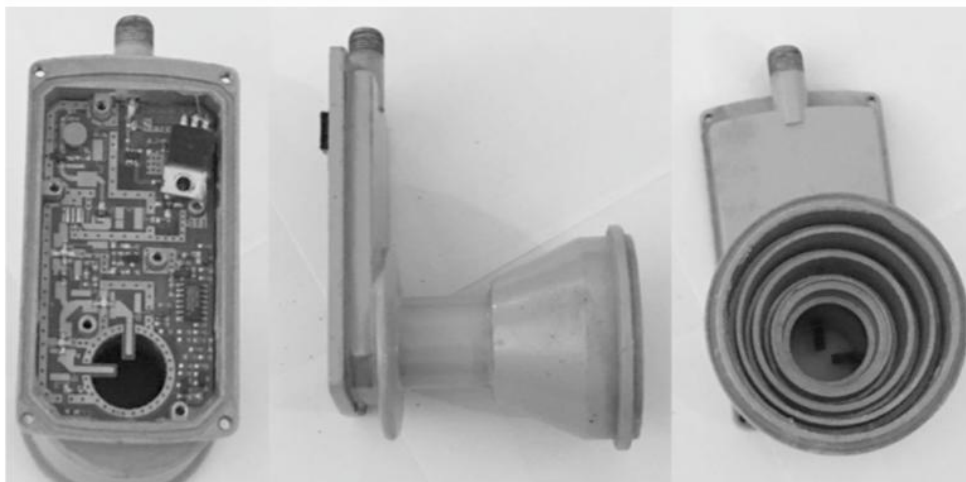
Penerima uji antenna satelit harus diprogram sesuai dengan jenis LNB.

Tabel 15.1. Sinyal kontrol untuk LNB (tegangan suplai LNB dan sinyal switching 22kHz)

Sat band	Polarization	LNB supply
Low band	Vertical	14V
High band	Horizontal	18V
High band	Vertical	14V/22 kHz
High band	Horizontal	18V/22 kHz

Tabel 15.2. Rentang frekuensi pita rendah / pita tinggi

Ku band range	Transponder frequency range
Low band	10.7-11.7 GHz
High band	11.7-12.75 GHz



Gambar 15.11. LNB tunggal, dibongkar; kiri: antenna untuk polarisasi vertikal dan horizontal; kanan: struktur pandu gelombang melingkar.

BAB 16

TRANSMISI KABEL BOARDBAND MENURUT DVB-C

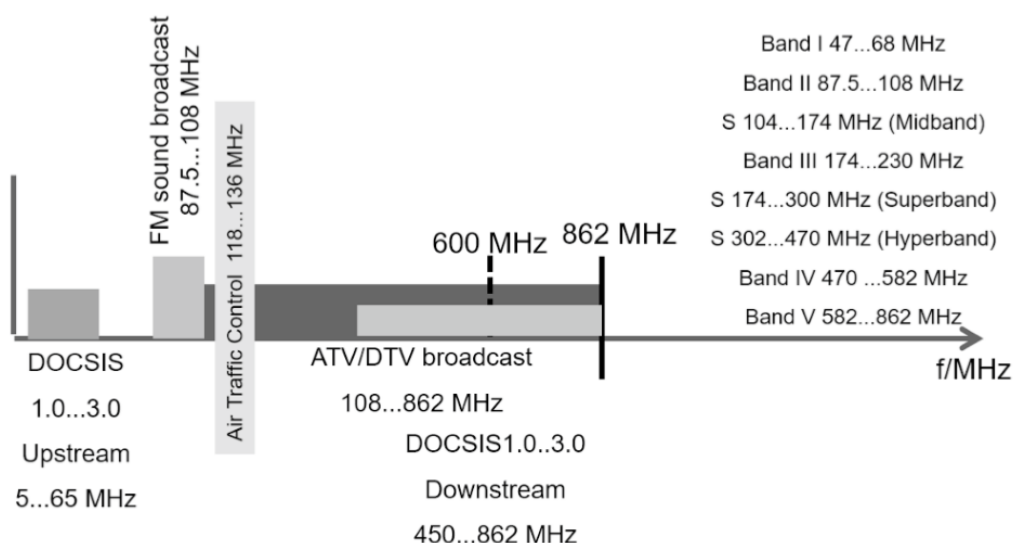
Awalnya hanya digunakan sebagai jaringan antena TV komunitas, pada tahun 1980-an TV kabel atau jaringan kabel broadband (CATV) telah berkembang. Banyak negara sekarang menggunakan jaringan kabel broadband (CATV) di wilayah metropolitan untuk distribusi layanan siaran. Di beberapa wilayah, jaringan CATV hanya digunakan hingga 600 MHz untuk waktu yang lama tetapi sekarang digunakan hingga 860 MHz (Gbr. 16.1). Sekarang bahkan ada rencana untuk menggunakan jaringan itu juga untuk frekuensi di atas 1 GHz. Selain definisi channel TV VHF dan UHF terrestrial, ada "channel khusus" lebih lanjut di jaringan CATV ("superband", "hyperband"). Layanan TV analog dapat diterima oleh perangkat TV mana pun tanpa peralatan teknis lebih lanjut tetapi channel TV analog juga akan segera hilang di jaringan CATV.

Di jaringan CATV, biaya kabel bulanan (20 hingga 30 EUR) harus dibayar.

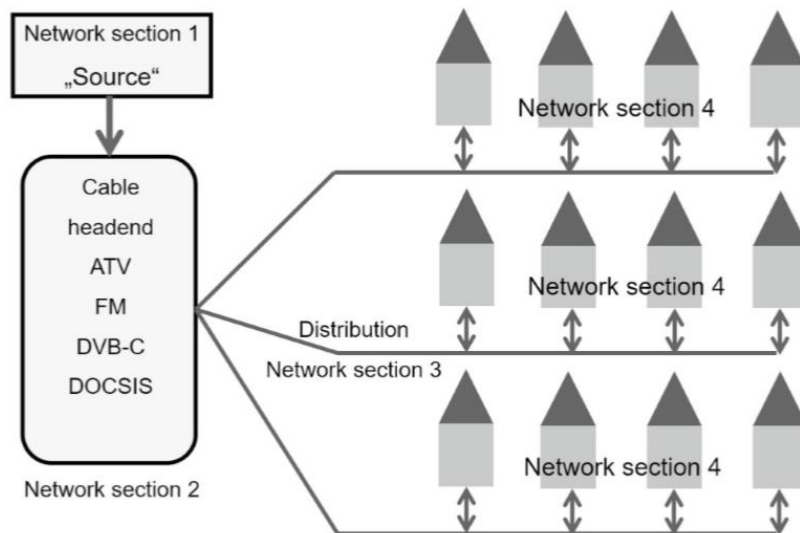
Karena konversi dari digital ke analog dan karena beberapa produk pencampuran intermodulasi, layanan TV analog di CATV menawarkan kualitas gambar yang buruk. CATV telah dikembangkan dari aplikasi ATV dan itulah alasan mengapa bandwidth channel di jaringan CATV adalah 6, 7 atau 8 MHz. Layanan di jaringan CATV yang digunakan adalah

- Channel kembali untuk telepon dan internet (5...65 MHz)
- Siaran suara FM (87,5...108 MHz)
- Pita Kontrol Lalu Lintas Udara "Berlekuk" 118...136 MHz
- Layanan ATV/DTV (sekitar 140 ... 862 MHz)
- DOCSIS downstream (dari sekitar 600 MHz).

Sejak sekitar tahun 1995, banyak jaringan kabel membawa sinyal TV digital sesuai dengan standar DVB-C dan banyak lainnya dalam pita frekuensi yang lebih tinggi di atas sekitar 300 MHz. Bagian ini dimaksudkan untuk menjelaskan metode transmisi sinyal TV digital melalui kabel broadband secara lebih rinci. Metode dan parameter transmisi yang dipilih dipilih dengan mengacu pada karakteristik khas kabel broadband. Kabel menunjukkan rasio sinyal/noise yang jauh lebih baik daripada transmisi satelit dan juga tidak banyak masalah dengan pantulan, yang semuanya memungkinkan metode modulasi digital dengan kualitas lebih tinggi untuk digunakan, dari 64QAM (membujuk) hingga 256QAM (serat optik).



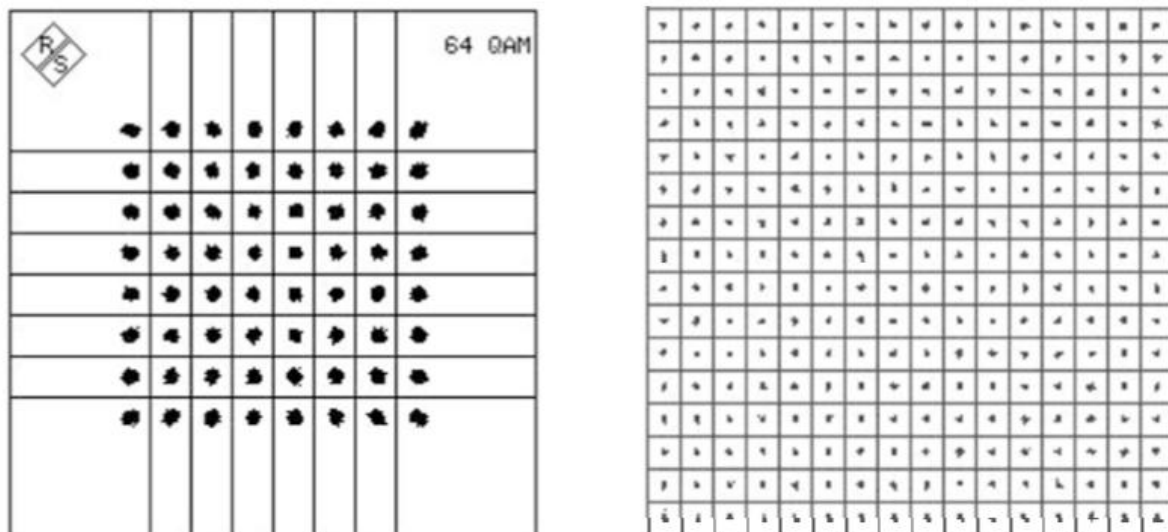
Gambar 16.1. pendudukan frekuensi CATV



Gambar 16.2. Struktur jaringan kabel broadband (CATV)

Bagian jaringan 1 = sumber, bagian jaringan 2 = headend, bagian jaringan 3 = distribusi (serat, coax 75 Ohm), bagian jaringan 4 = jaringan distribusi inhouse, bagian jaringan 5 = stopkontak ke peralatan pengguna akhir.

Jaringan kabel broadband terdiri dari ujung kepala kabel (bagian jaringan 2), dari tautan distribusi kabel yang terdiri dari kabel koaksial dan amplifier kabel (bagian jaringan 3), dari 'last mile' dari distributor ke sambungan rumah pelanggan dan jaringan internal pelanggan itu sendiri (bagian jaringan 4). Tautan distribusi kabel dari ujung kepala ke kotak distribusi terakhir juga dapat dijalankan sebagai serat optik. Sistem kabel broadband ini kemudian mendistribusikan program radio dan program TV analog dan digital. Ada juga link channel kembali di pita frekuensi di bawah sekitar 65 MHz.



Gambar 16.3. 64QAM (kiri) dan 256QAM (kanan)

16.1. Standar DVB-C

Siaran video digital untuk aplikasi kabel telah ditetapkan pada sekitar tahun 1994 dalam standar [ETS 300429]. Layanan ini telah tersedia di jaringan kabel sejak saat itu, atau segera setelahnya. Modulator DVB-C, MPEG-2 transport stream melewati tahap pengkondisian yang hampir sama seperti pada standar satelit DVB-S. Hanya tahap

terakhir dari pengkodean konvolusi yang hilang di sini: ini tidak diperlukan karena media propagasi jauh lebih kuat.

Ini diikuti oleh modulasi amplitudo kuadratur 16, 32, 64, 128 atau 256QAM. Dalam sistem kabel coax, 64QAM digunakan secara virtual sedangkan jaringan serat optik sering menggunakan 256QAM.

Mengingat sistem coax konvensional dengan jarak channel 8 MHz. Biasanya menggunakan sinyal pembawa termodulasi 64QAM dengan simbol rate, misalnya 6,9 MS/s. Kecepatan simbol harus lebih rendah dari bandwidth sistem 8 MHz dalam kasus ini. Sinyal termodulasi digulirkan dengan mulus ke arah tepi channel dengan faktor roll-off $r = 0,15$. Diberikan 6,9 MS/s dan 64 QAM (6 bit/simbol), kecepatan data kotor:

$$\text{Gross_data_rateDVB-C} = 6 \text{ bit/Simbol} \cdot 6,9 \text{ MSymbol/dt} = 41,4 \text{ Mbit/dtk};$$

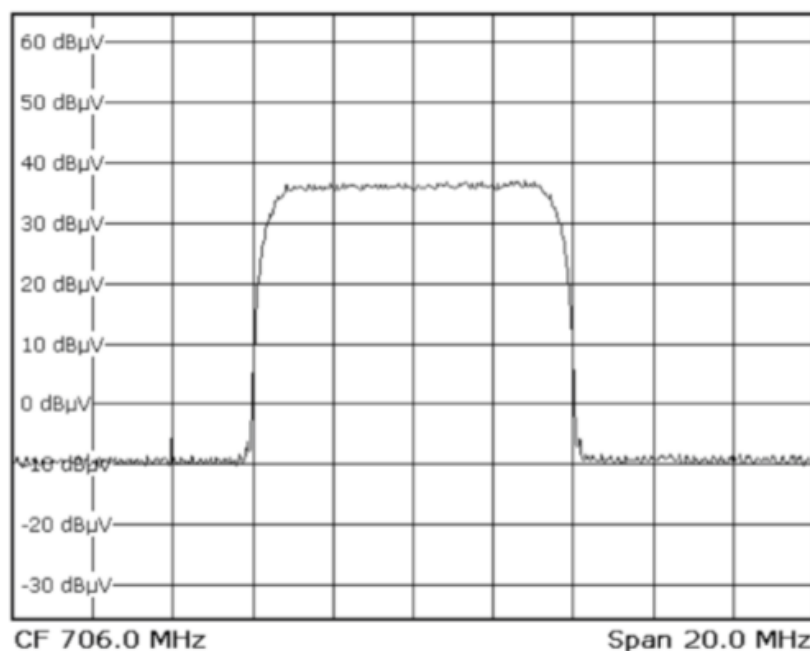
Kecepatan data bersih yang dihasilkan adalah:

$$\text{Net_data_rateDVB-C} = \text{Tingkat_data_kotor} \cdot 188/204 = 38,15 \text{ Mbit/dtk};$$

Dengan demikian, channel satelit dengan lebar 36-MHz dengan simbol rate 27,5 MS/s dan code rate 3/4 memiliki kecepatan data bersih yang sama, yaitu kapasitas transport yang sama dengan channel DVB-C ini dengan lebar hanya 8MHz.

Berikut ini umumnya berlaku untuk DVB-C:

$$\text{Net_data_rateDVB-C} = \text{ld}(m) \cdot \text{tingkat_simbol} \cdot 188/204;$$

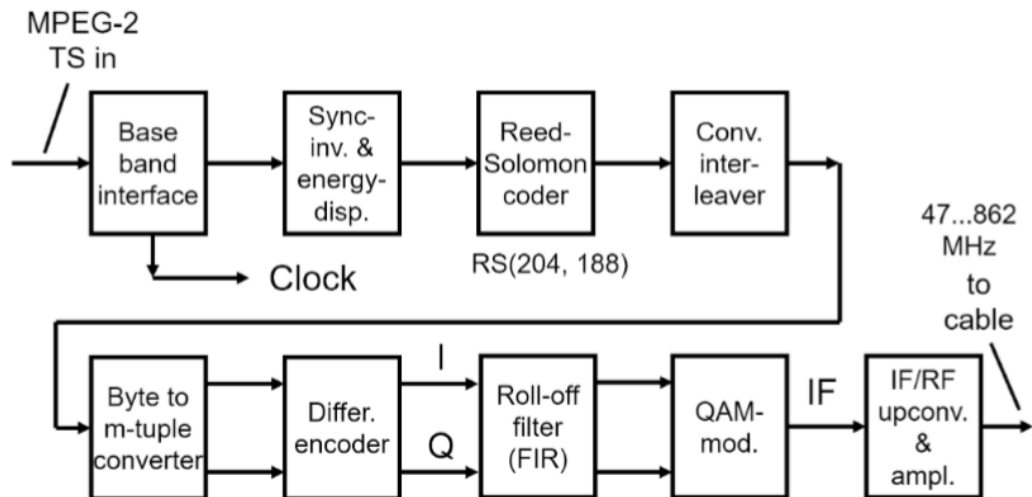


Gambar 16.4. Spektrum DVB-C (channel 8 MHz, kecepatan simbol = 6,9 MS/s) diukur menggunakan R&S ETL

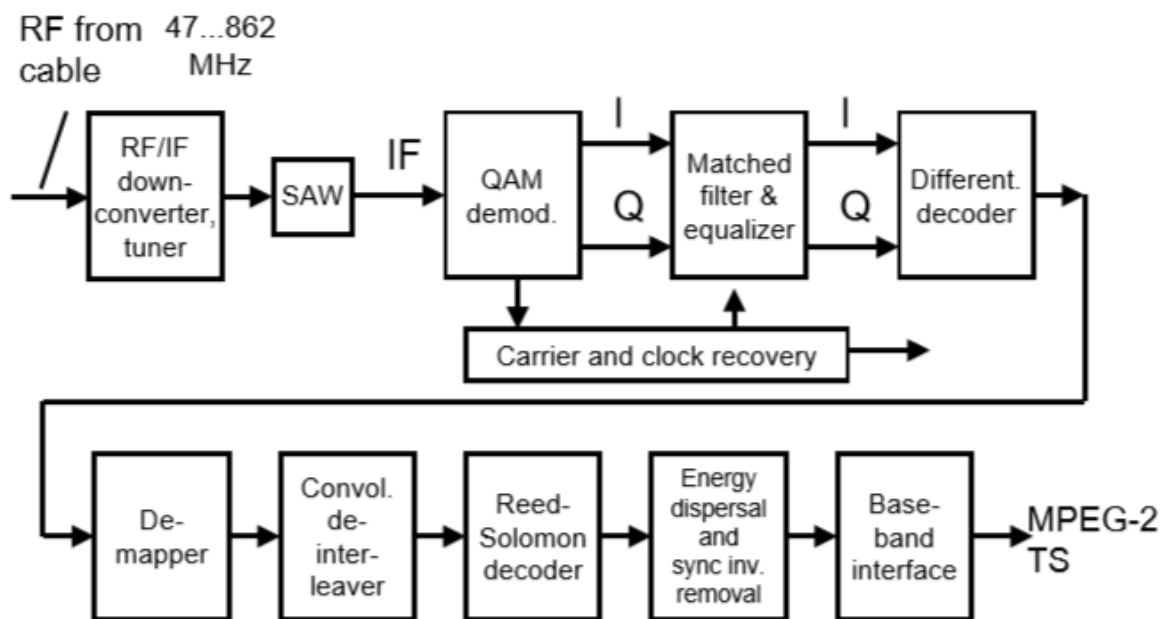
Namun demikian, channel DVB-C memiliki rasio sinyal terhadap noise (SNR) yang jauh lebih baik dengan sekitar >30 dB dibandingkan dengan sekitar 10 dB dalam kasus DVB-S.

Rasi bintang yang disediakan dalam standar DVB-C adalah 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM dan 256QAM. Menurut DVB-C, spektrum adalah roll-off filter dengan faktor

roll-off $r = 0,15$. Metode transmisi yang ditentukan dalam DVB-C juga dikenal sebagai standar internasional ITU-T J83A. Ada juga standar paralel ITU-T J83B yang digunakan di Amerika Utara, yang akan dijelaskan kemudian, dan ITU-T J83C yang digunakan pada kanal dengan lebar 6 MHz di Jepang. Pada prinsipnya, J83C memiliki struktur yang sama dengan DVB-C tetapi menggunakan faktor roll-off yang berbeda untuk 128QAM ($r = 0,18$) dan untuk 256QAM ($r = 0,13$). Segala sesuatu yang lain identik. ITU-T J83B, metode yang ditemukan di AS dan Kanada, memiliki FEC yang sama sekali berbeda dan dijelaskan dalam Bagian terpisah.



Gambar 16.5. Modulator DVB-C



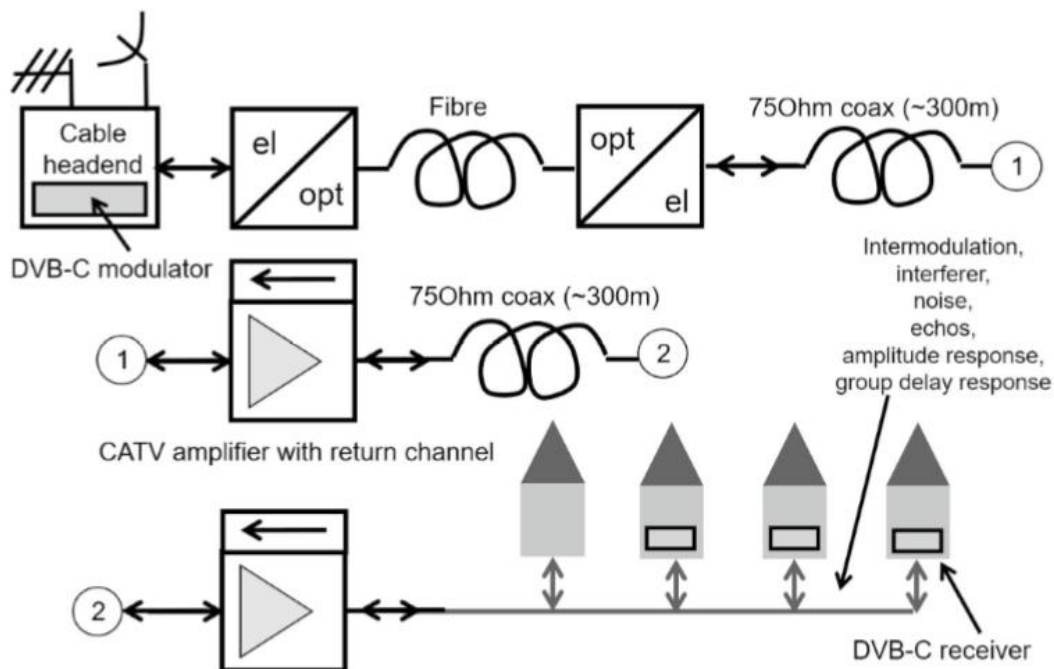
Gambar 16.6. Penerima DVB-C

16.2. Modulator DVB-C

Modulator DVB-C tidak perlu dijelaskan secara rinci karena sebagian besar tahapan benar-benar identik dengan modulator DVB-S. Modulator mengunci ke Transport stream MPEG-2 yang diumpankan ke antarmuka pita dasar dan terdiri dari paket Transport stream sepanjang 188 byte. Paket TS terdiri dari header 4 byte, dimulai dengan byte sinkronisasi (0x47), diikuti oleh 184 byte payload. Setelah ini, setiap byte sinkronisasi dibalikkan ke 0xB8 untuk membawa penanda waktu jangka panjang dalam

datastream ke penerima untuk penyebaran energi dan pembatalannya. Ini diikuti oleh tahap penyebaran energi (atau pengacak) yang tepat, dan kemudian pembuat kode Reed-Solomon yang menambahkan 16 byte perlindungan kesalahan untuk setiap paket TS sepanjang 188 byte. Paket-paket yang kemudian panjangnya 204 byte, kemudian dipasok ke interleaver Forney untuk membuat datastream lebih tahan terhadap ledakan kesalahan. Semburan kesalahan dipecah oleh pembatalan interleaving dalam demodulator DVB-C yang memudahkan dekoder blok Reed Solomon untuk memperbaiki kesalahan.

Datastream yang dilindungi kesalahan kemudian dimasukkan ke dalam mapper di mana kuadran QAM harus dikodekan secara berbeda, berbeda dengan DVB-S dan DVB-T. Ini karena pembawa hanya dapat dipulihkan dalam kelipatan 90o di demodulator 64QAM dan penerima DVB-C dapat mengunci ke kelipatan fase pembawa 90o apa pun. Pemetaan diikuti oleh modulasi amplitudo kuadratur yang sekarang dilakukan secara digital. Biasanya, 64QAM dipilih untuk tautan koaksial dan 256QAM untuk tautan serat optik. Sinyal roll-off disaring dengan faktor roll-off $r = 0,15$. Roll-off bertahap menuju tepi pita ini mengoptimalkan pembukaan mata dari sinyal termulasi. Setelah penguatan daya, sinyal kemudian disuntikkan ke sistem kabel broadband.



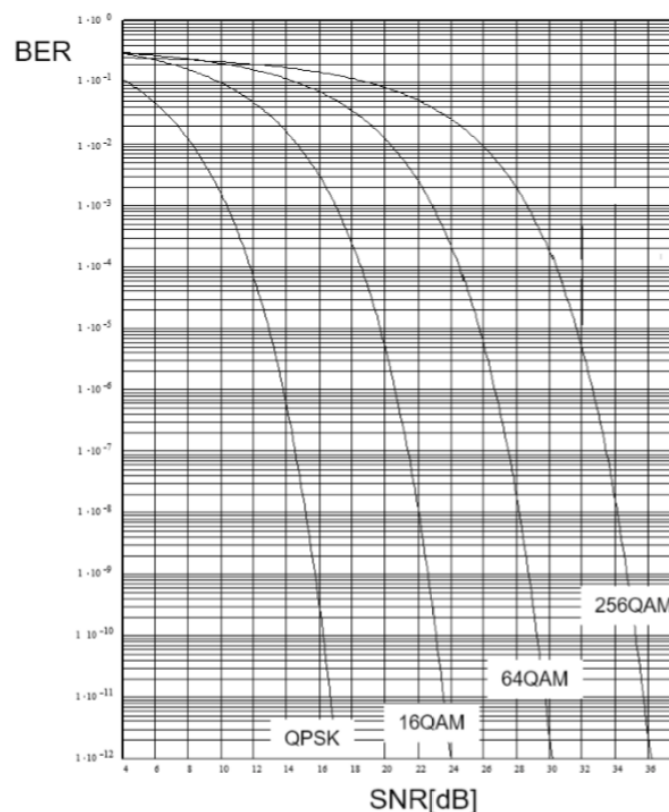
Gambar 16.7. Jaringan distribusi DVB-C dan efek interferensi

16.3. Penerima DVB-C

Penerima DVB-C (- eksternal atau terintegrasi -) menerima channel DVB-C pada pita 50 - 860 MHz. Transmisi telah menambahkan efek karena link transmisi seperti noise, refleksi dan amplitudo dan distorsi kelompok delay. Efek ini akan dibahas kemudian dalam Bagian terpisah.

Modul pertama penerima DVB-C adalah tuner kabel yang pada dasarnya identik dengan tuner untuk televisi analog. Tuner mengubah channel DVB-C selebar 8 MHz menjadi IF dengan pusat pita sekitar 36 MHz. 36 MHz ini juga sesuai dengan pusat pita channel JIKA TV analog menurut standar ITU BG/Eropa. Komponen channel yang berdekatan ditekan oleh filter SAW downstream yang memiliki bandwidth tepat 8 MHz. Jika channel 7 atau 6 MHz dimungkinkan, filter harus diganti dengan tepat. Penyaringan band-pass ke 8, 7 atau 6 MHz diikuti dengan konversi lebih lanjut ke frekuensi

menengah yang lebih rendah untuk menyederhanakan konversi analog/digital berikutnya. Namun, sebelum konversi A/D, semua komponen frekuensi di atas setengah laju pengambilan sampel harus dihilangkan melalui filter lolos-rendah. Sinyal tersebut kemudian diambil sampelnya pada sekitar 20 MHz dengan resolusi 10 bit. IF, yang sekarang didigitalkan, dipasok ke demodulator IQ dan kemudian ke filter pencocokan akar cosinus kuadrat yang beroperasi secara digital. Sejalan dengan ini, pembawa dan jam dipulihkan. Pembawa yang dipulihkan dengan ketidakpastian kelipatan 90 derajat dimasukkan ke dalam input pembawa demodulator IQ. Ini diikuti oleh equalizer channel, sebagian dikombinasikan dengan filter yang cocok, filter FIR kompleks di mana filter ini berusaha untuk memperbaiki distorsi channel karena respons amplitudo dan kesalahan penundaan grup. Equalizer ini beroperasi sesuai dengan prinsip kemungkinan maksimum, yaitu berusaha untuk mengoptimalkan kualitas sinyal dengan “tweaking” digital “setscrews” yang merupakan tap dari filter digital. Sinyal, dengan demikian dioptimalkan, masuk ke demapper di mana datastream dipulihkan. Datastream ini masih akan memiliki kesalahan bit dan, oleh karena itu, perlindungan kesalahan ditambahkan. Pertama, interleaving dibatalkan dan semburan kesalahan diubah menjadi kesalahan tunggal. Dekoder Reed Solomon berikut dapat menghilangkan hingga 8 kesalahan per paket RS sepanjang 204 byte. Hasilnya lagi-lagi mengangkut paket aliran dengan panjang 188 byte yang, bagaimanapun, masih tersebar energi. Jika ada lebih dari 8 kesalahan dalam sebuah paket, mereka tidak dapat lagi diperbaiki dan indikator kesalahan transportasi di header TS kemudian diatur ke 'satu'. Setelah dekode RS, penyebaran energi dan inversi setiap byte sinkronisasi ke-8 dibatalkan dan Transport stream MPEG-2 hadir kembali pada antarmuka pita dasar fisik. Dalam prakteknya, semua modul dari A/D converter ke transport stream output diimplementasikan dalam satu chip. Komponen penting dalam penerima DVB-C adalah tuner, beberapa komponen terpisah, chip demodulator DVB-C dan chip decoder MPEG-2, yang semuanya dikendalikan oleh mikroprosesor.



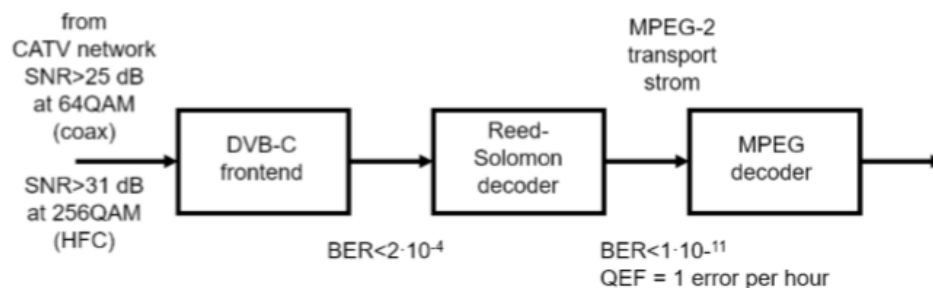
Gambar 16.8. Rasio kesalahan bit BER sebagai fungsi SNR di DVB-C

16.4. Efek Interferensi pada Tautan Transmisi DVB-C

Karena, dalam praktiknya, modulator DVB-C hanya menggunakan modulator IQ digital, kesalahan IQ seperti ketidakseimbangan amplitudo, kesalahan fase, dan kebocoran pembawa dapat diabaikan saat ini. Efek ini tidak lagi hadir berbeda dengan transmisi generasi pertama. Efek yang terjadi selama transmisi pada dasarnya adalah noise, intermodulasi dan interferensi modulasi silang dan Echo dan efek amplitudo dan penundaan grup. Jika penguat kabel jenuh dan, pada saat yang sama, ditempati oleh sejumlah besar channel, produk konversi frekuensi dihasilkan yang akan muncul dalam rentang sinyal yang berguna. Oleh karena itu, setiap amplifier perlu dioperasikan pada titik operasi yang benar. Oleh karena itu, penting bahwa level pada tautan transmisi benar. Level yang terlalu tinggi menghasilkan intermodulasi di amplifier, level yang terlalu rendah mengurangi rasio sinyal/noise, yang keduanya menghasilkan noise. Level di instalasi rumah, misalnya, harus disesuaikan sedemikian rupa sehingga rasio sinyal/noise maksimum diperoleh untuk DVB-C. Penguat yang mungkin ada dikalibrasi sedemikian rupa sehingga rasio sinyal/gangguan berada pada titik inversi pada soket antenna yang paling jauh. Sinyal DVB-C juga sangat sensitif terhadap amplitudo dan respons penundaan grup.

Channel penghubung yang sedikit rusak antara soket kabel TV dan penerima DVB-C seringkali cukup untuk membuat penerimaan yang benar menjadi tidak mungkin. Pengoperasian link transmisi DVB-C yang masih quasi error free (QEF) memerlukan rasio sinyal terhadap noise SNR lebih dari 25 dB untuk 64 QAM dan SNR 31 dB untuk 256QAM. Rasio kesalahan bit channel, yaitu rasio kesalahan bit sebelum Reed Solomon, adalah $2 \cdot 10^{-4}$. Dekoder Reed Solomon kemudian mengoreksi kesalahan hingga rasio kesalahan bit residual setelah Reed Solomon sebesar $1 \cdot 10^{-11}$. Ini sesuai dengan operasi bebas kesalahan semu (1 kesalahan per jam) tetapi juga dekat dengan "dinding bata" (atau "jatuhan tebing"). Sedikit lebih banyak noise dan transmisi akan rusak secara tiba-tiba. SNR (rasio sinyal terhadap noise) yang diperlukan untuk kasus QEF tergantung pada tingkat modulasi. Semakin tinggi derajat modulasi amplitudo kuadratur, semakin sensitif sistem transmisi. Gambar 16.5. menunjukkan variasi rasio kesalahan bit sehubungan dengan SNR untuk QPSK, 16QAM, 64QAM dan 256QAM.

Dalam jaringan CATV, sinyal termulasi 64QAM dan 256QAM termulasi digunakan. 64QAM memerlukan SNR lebih dari 25 dB dan 256QAM membutuhkan SNR lebih dari 31 dB yang kemudian sesuai dengan operasi yang dekat dengan "dinding bata" (atau "jatuh dari tebing").



Gambar 16.9. Rasio kesalahan bit DVB-C (BER)

Pada tahun 2009 standar transmisi kabel generasi kedua DVB-C2 diterbitkan. DVB-C2 akan dibahas pada bab 38. DOCSIS adalah standar untuk telepon dan internet cepat melalui kabel broadband; DOCSIS 3.1 mungkin merupakan satu-satunya teknologi masa depan dalam kabel broadband; teknologi ini juga akan dijelaskan dalam bab tambahan.

BAB 17

MENGUKUR SINYAL DIGITAL DI KABEL BROADBAND

Berbeda dengan teknik pengukuran yang digunakan pada sinyal TV digital yang ditransmisikan melalui satelit, teknik pengukuran yang lebih luas disediakan untuk pengujian kabel broadband dan juga diperlukan. Pengaruh yang bekerja pada sinyal kabel broadband, yang dapat dimodulasi hingga 256QAM, jauh lebih bervariasi, dan lebih kritis daripada di domain satelit. Pada bagian ini, instrumen uji dan metode pengukuran untuk pengukuran pada sinyal DVB-C dan J83A, B, C akan dibahas. Sejumlah besar ruang dicadangkan untuk apa yang disebut analisis konstelasi sinyal termodulasi I/Q yang juga ditemui di DVB-T. Pengaruh atau parameter yang harus diperhatikan dalam transmisi kabel adalah:

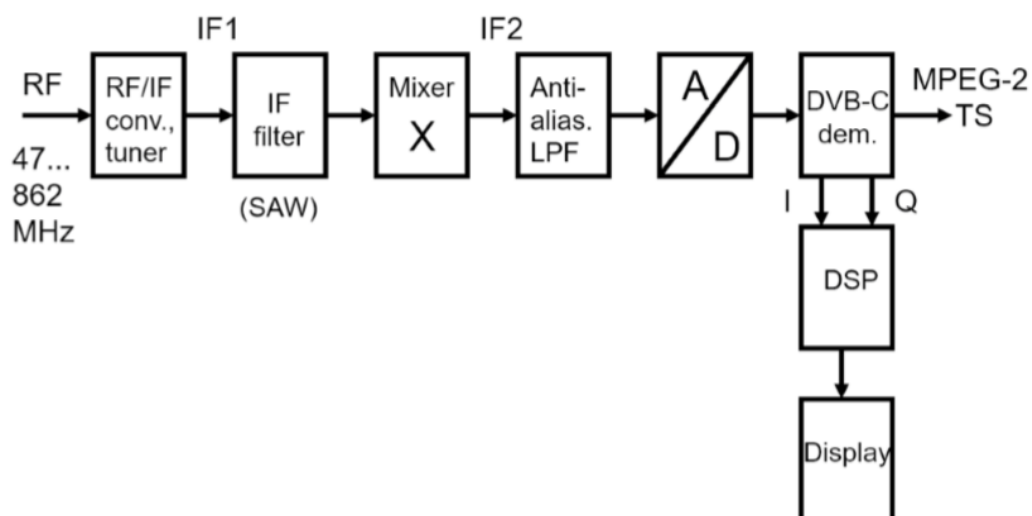
- Tingkat sinyal
- CNR (Carrier to Noise Ratio) dan SNR (Signal to Noise Ratio)
- Kesalahan modulator I/Q
- pengganggu
- Fase jitter
- Echo di kabel
- Respon frekuensi
- Rasio kesalahan bit
- Rasio kesalahan modulasi dan besaran vektor kesalahan

Untuk dapat mendeteksi dan mengevaluasi pengaruh tersebut, digunakan instrumen uji berikut ini:

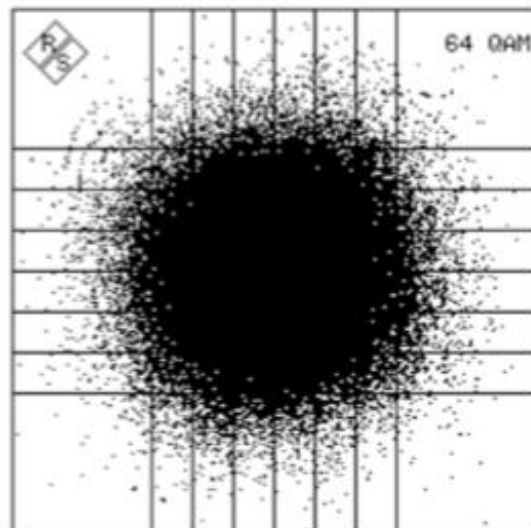
- Penganalisis spektrum modern
- Penerima tes dengan analisis konstelasi
- Pemancar uji dengan generator noise terintegrasi dan/atau simulator channel untuk pengujian tegangan penerima DVB-C dan J83A, B, C

17.1. Penerima Uji DVB-C/J83A, B, C dengan Analisis Konstelasi

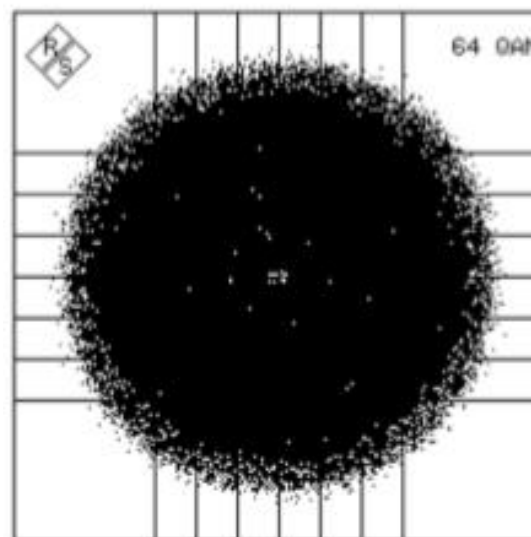
Instrumen uji paling penting untuk mengukur sinyal TV digital dalam jaringan kabel broadband adalah penerima uji DVB-C/J83A, B, C dengan penganalisis konstelasi terintegrasi. Penerima uji tersebut beroperasi sebagai berikut:



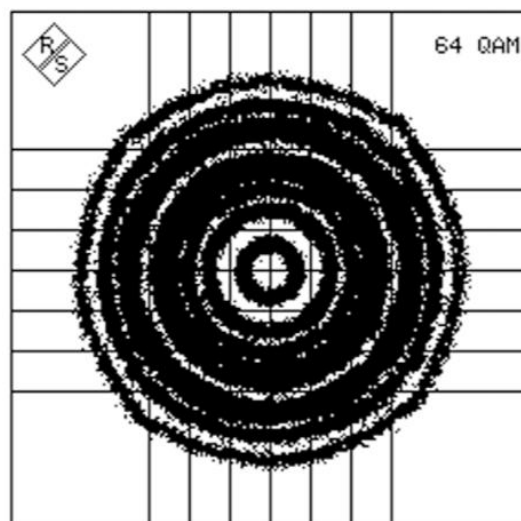
Gambar 17.1. Diagram blok penerima uji DVB-C/J83A, B, C dengan penganalisis konstelasi



Gambar 17.3. Tidak ada sinyal QAM di channel yang dipilih, hanya noise

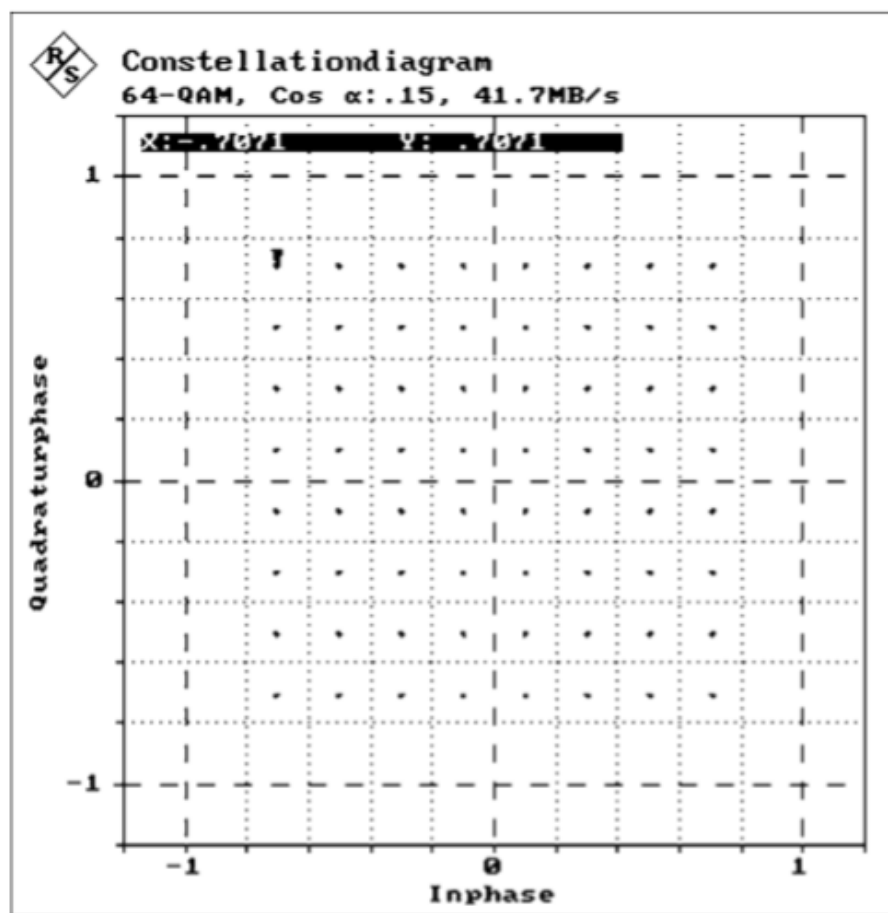


Gambar 17.4. Diagram konstelasi dengan frekuensi pembawa yang salah dan simbol yang salah Tingkat yang dipilih (sama sekali tidak sinkron)



Gambar 17.5. Sinyal QAM dengan operator tidak sinkron

Sinyal TV digital diterima oleh tuner kabel berkualitas tinggi yang mengubahnya menjadi IF. Channel TV yang akan diterima kemudian dibatasi pita hingga 8, 7 atau 6 MHz oleh filter IF, sehingga menekan channel yang berdekatan. Channel TV kemudian biasanya dikonversi ke IF ke-2 yang lebih rendah. Sinyal IF, yang telah difilter dengan filter low-pass tipe anti-aliasing, kemudian diambil sampelnya dengan konverter A/D dan didemodulasi dalam demodulator DVB-C/J83A, B, C. Selama proses ini, prosesor sinyal mengakses demodulator pada level I/Q dan mendeteksi titik konstelasi sebagai frekuensi hit dalam arah I dan Q di bidang keputusan diagram konstelasi QAM. Ini memberikan distribusi frekuensi ('awan') di sekitar titik konstelasi individu - ada awan 64QAM dalam kasus 64QAM. Parameter QAM individu kemudian ditentukan oleh analisis matematis dari distribusi frekuensi. Selain itu, diagram konstelasi itu sendiri ditampilkan secara grafis dan kemudian dapat dinilai secara visual. Sinyal tersebut kemudian juga didemodulasi menjadi aliran transpor MPEG-2 yang dapat dipasok ke penganalisis MPEG-2 untuk analisis lebih lanjut.



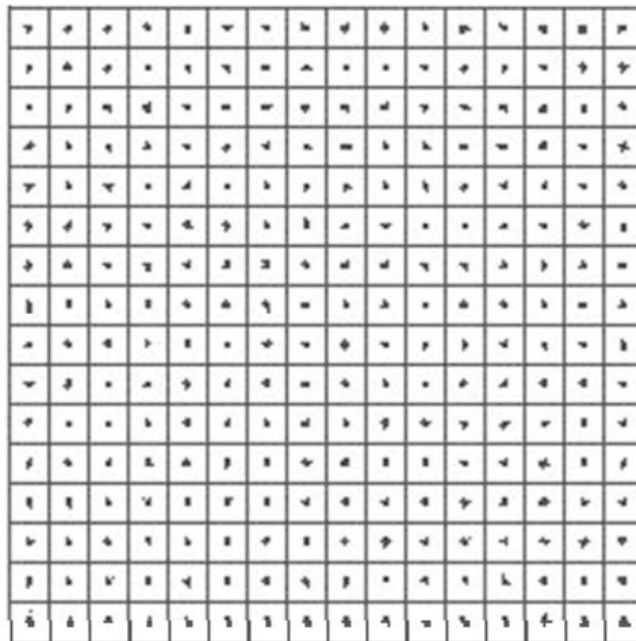
Gambar 17.6. Diagram konstelasi yang sepenuhnya tidak terdistorsi dari sinyal 64QAM ideal yang tidak terganggu

Jika sinyal DVB-C atau J83A, B, C yang benar ada pada penerima uji dan semua pengaturan pada penerima telah dipilih sehingga dapat mengunci sinyal QAM dengan benar, diagram konstelasi dengan titik konstelasi dengan berbagai ukuran (Gbr. .18.2.) dan munculnya awan noise diperoleh. Ukuran titik konstelasi tergantung pada besarnya efek interferensi. Semakin kecil titik konstelasi, semakin baik kualitas sinyal.

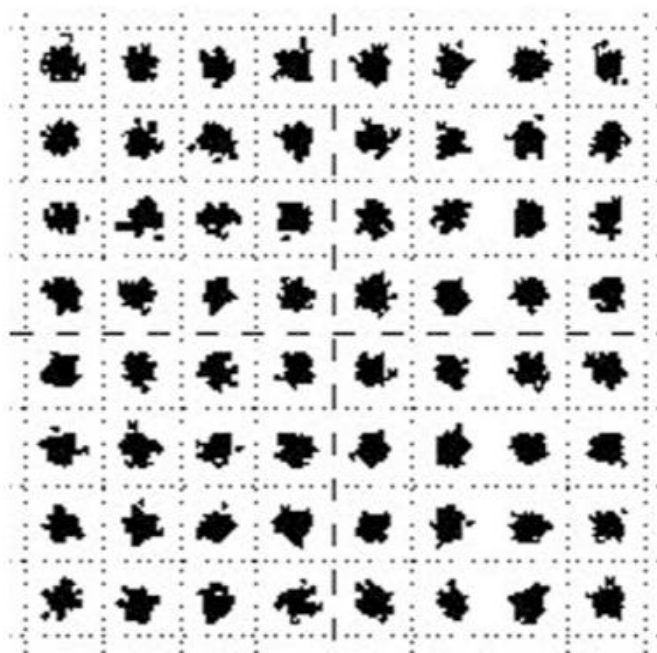
Agar receiver terkunci di DVB-C dan J83A, B, C, parameter penyesuaian receiver uji berikut harus dipilih dengan benar:

- Frekuensi channel: pusat pita channel, kira-kira. 47 hingga 862 MHz
- Standar: DVB-C/J83A, J83B atau J83C
- Bandwidth channel: 6, 7, 8 MHz
- Tingkat QAM: 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM
- Tingkat simbol: kira-kira. 2 hingga 7 MS/dtk
- Filter JIKA: saat ini tidak dapat dipilih, selalu AKTIF
- Kontrol atenuasi input: ke AUTO jika tersedia

Jika tidak ada sinyal di channel RF yang dipilih, penganalisis konstelasi dari penerima uji akan menampilkan diagram konstelasi yang benar-benar bising yang tidak menunjukkan fitur reguler apa pun. Tampak seperti titik konstelasi raksasa di tengah layar, tetapi tanpa kontur yang tajam.

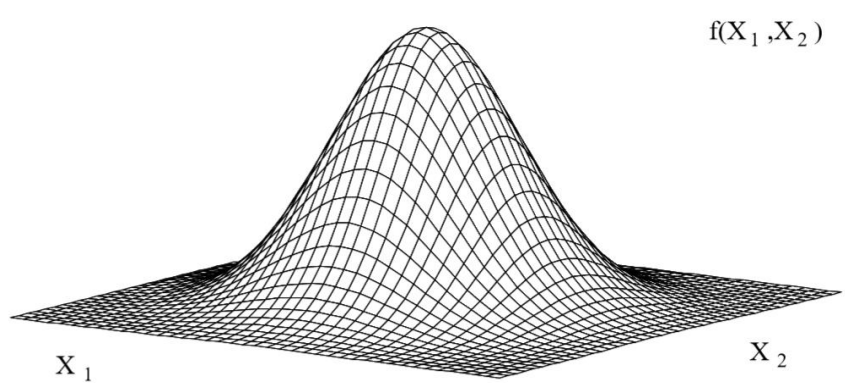


Gambar 17.7. 256QAM sinyal DVB-C termodulasi



Gambar 17.8. Diagram konstelasi sinyal 64QAM dengan noise tambahan

Jika secara tidak sengaja channel analog telah dipilih, mis. channel DVB-C, diagram konstelasi seperti gambar Lissajou diproduksi yang berubah terus menerus tergantung pada konten channel TV analog saat ini. Namun, jika ada sinyal QAM di channel yang dipilih tetapi beberapa parameter penerima telah dipilih secara salah (RF tidak sepenuhnya benar, mungkin tingkat simbol yang salah, level QAM yang salah, dll), titik konstelasi raksasa dengan kontur yang jauh lebih tajam akan muncul .



Gambar 17.9. Kurva Gaussian berbentuk lonceng dua dimensi

Jika semua parameter telah dipilih dengan benar dan hanya frekuensi pembawa yang masih divergen, diagram konstelasi akan berputar. Kemudian dimungkinkan untuk melihat lingkaran konsentris.

Diagram konstelasi ideal yang sepenuhnya tidak terdistorsi akan menunjukkan hanya satu titik konstelasi per bidang keputusan di pusat bidang yang tepat. Namun, diagram konstelasi seperti itu hanya dapat dihasilkan dalam simulasi.

Saat ini, transmisi hingga 256 QAM juga ditemukan, terutama di jaringan HFC (hybrid fiber coax). Diagram konstelasi seperti itu ditunjukkan pada Gambar. 18.7.

17.2. Mendeteksi Efek Interferensi Menggunakan Analisis Konstelasi

Pada bagian ini, efek interferensi yang paling penting pada link transmisi kabel broadband dibahas, dan bagaimana mereka dianalisis dengan menggunakan diagram konstelasi. Pengaruh berikut dapat dilihat dan dibedakan secara langsung dengan analisis konstelasi:

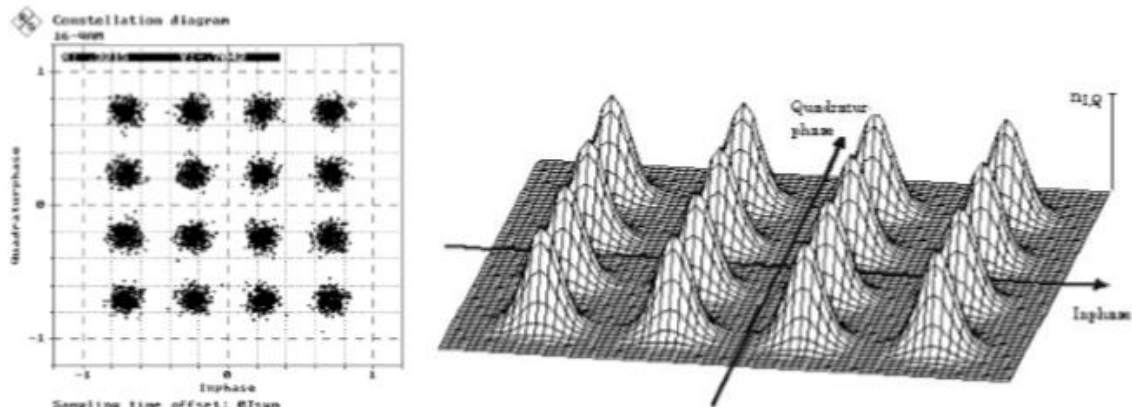
- *Additive white Gaussian noise*
- Fase jitter
- Gangguan
- Kesalahan I/Q Modulator (saat ini tidak ada lagi masalah)

Selain menilai diagram konstelasi secara visual, parameter berikut juga dapat dihitung langsung darinya:

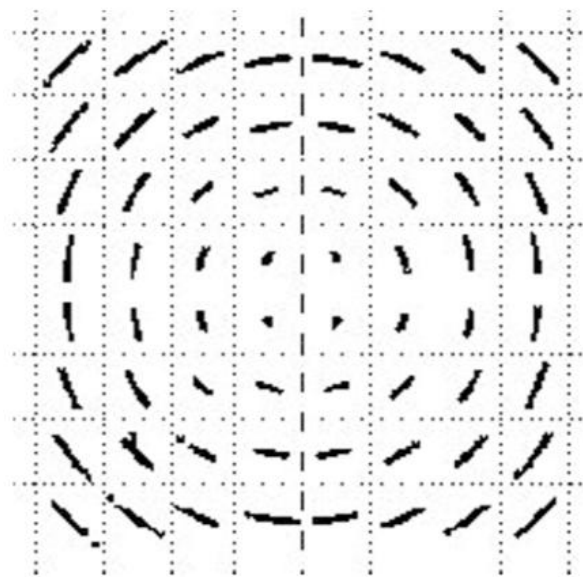
- Tingkat sinyal
- Rasio CNR dan SNR
- Fase jitter
- Ketidakseimbangan amplitudo I/Q (tidak ada lagi)
- Kesalahan fase I/Q (tidak ada lagi)
- Penekanan operator (tidak ada lagi)
- *Modulation error ratio* (MER)
- *Error vector magnitude* (EVM)

17.3. Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Salah satu efek interferensi yang mempengaruhi semua jenis link transmisi dengan cara yang sama adalah apa yang disebut white Gaussian noise (AWGN). Efek ini dapat memancar lebih atau kurang dari hampir semua titik di sepanjang link transmisi. Dalam diagram konstelasi, efek seperti noise dikenali dari titik konstelasi yang sekarang memiliki ukuran yang bervariasi. Untuk mengukur nilai RMS dari pengganggu seperti noise, hit di masing-masing area dihitung dalam bidang konstelasi individu, yaitu frekuensi pusat dan area di sekitarnya yang terkena pada jarak yang semakin meningkat terdeteksi. Jika hit atau count ini dalam bidang konstelasi ditampilkan secara multi-dimensi, kurva Gaussian berbentuk lonceng dua dimensi akan diperoleh.



Gambar 17.10. Tingkat hit dua dimensi dalam diagram konstelasi 16QAM



Gambar 17.11. Diagram status sinyal 64QAM dengan fase jitter

Distribusi dua dimensi ini kemudian akan ditemukan sama di setiap bidang konstelasi. Untuk mencari nilai RMS dari efek noise, maka standar deviasi kemudian dihitung secara sederhana dari hasil hit tersebut. Standar deviasi berhubungan langsung dengan nilai RMS dari sinyal noise. Menghubungkan nilai RMS N ini dengan amplitudo sinyal QAM S memungkinkan rasio sinyal/noise logaritmik SNR dalam dB dihitung dengan mengambil logaritma.

Pada prinsipnya, ada dua definisi untuk level signal-to-noise: rasio signal-to-noise SNR dan rasio carrier-to-noise CNR. Masing-masing dapat dikonversi ke yang lain. CNR selalu mengacu pada bandwidth channel yang sebenarnya yaitu 6, 7 atau 8 MHz pada jaringan kabel broadband. SNR mengacu pada kondisi setelah penyaringan roll-off dan bandwidth Nyquist sebenarnya dari sinyal. Tingkat simbol sinyal harus digunakan untuk bandwidth sinyal dan bandwidth noise. Tetapi pada dasarnya dianjurkan untuk menggunakan kecepatan simbol juga sebagai bandwidth referensi untuk bandwidth noise dalam mengukur CNR, memberikan definisi yang jelas untuk rasio CNR seperti yang diusulkan, misalnya, dalam Pedoman Pengukuran DVB

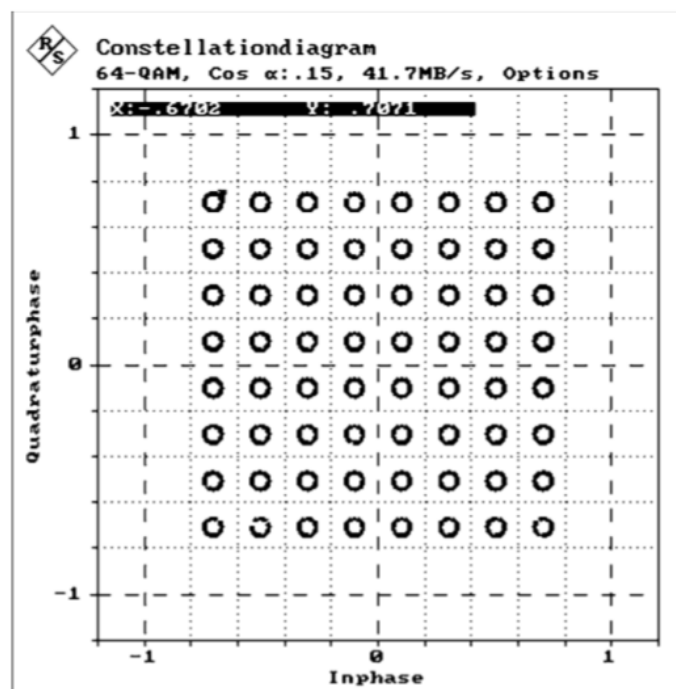
17.4. Phase Jitter

Jitter fasa atau noise fasa pada sinyal QAM disebabkan oleh konverter di jalur transmisi atau oleh modulator I/Q itu sendiri. Dalam diagram konstelasi, fase jitter menghasilkan distorsi noda dengan magnitudo lebih besar atau lebih kecil. Diagram konstelasi 'terhuyung-huyung' dalam rotasi di sekitar titik pusat.

Untuk menemukan jitter fase, distorsi noda dari titik konstelasi terluar diukur di mana jitter fase memiliki efek terbesar. Kemudian distribusi frekuensi dalam bidang keputusan dipertimbangkan sepanjang jalur melingkar yang titik pusatnya berada di titik asal diagram keadaan. Sekali lagi, standar deviasi yang masih dipengaruhi oleh noise tambahan dapat dihitung di sini. Efek noise ini kemudian masih harus diperhitungkan.

17.5. Pengganggu Sinusoidal

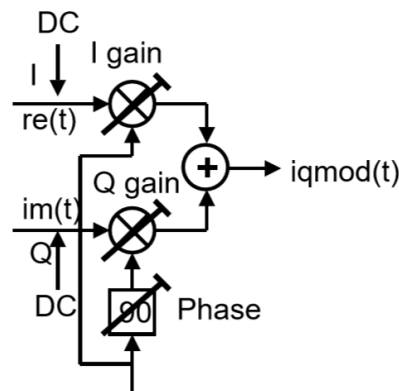
Sebuah interferensi sinusoidal menghasilkan distorsi melingkar dari titik-titik konstelasi. Lingkaran-lingkaran ini adalah hasil dari vektor interferensi yang berputar di sekitar pusat titik konstelasi. Diameter lingkaran sesuai dengan amplitudo pengganggu sinusoidal.



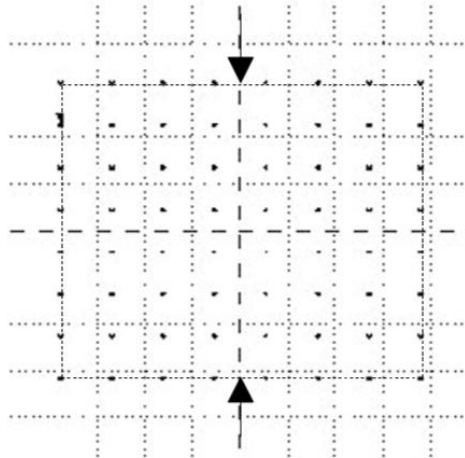
Gambar 17.12. Efek dari pengganggu sinusoidal

17.6. Efek Modulator I/Q

Pada modulator DVB-C generasi pertama, modulator I/Q analog digunakan. Kesalahan pada modulator I/Q kemudian mengakibatkan kesalahan I/Q pada sinyal termulasi QAM. Jika, misalnya, cabang I memiliki penguatan yang berbeda dari cabang Q dari modulator I/Q, ketidakseimbangan amplitudo I/Q dihasilkan. Jika pemindah fasa 90o dalam umpan pembawa ke modulator Q tidak tepat 90 derajat, kesalahan fasa I/Q dihasilkan. Kurangnya penekanan pembawa adalah masalah yang lebih sering terjadi. Hal ini disebabkan oleh cross-talk pembawa atau oleh beberapa komponen DC dalam sinyal modulasi I atau Q. Saat ini, modulator I/Q dalam kabel broadband secara eksklusif digital dan masalah modulator I/Q yang dijelaskan tidak lagi relevan. Mereka hanya akan disebutkan secara singkat di sini demi kelengkapan.



Gambar 17.13. Modulator IQ dengan kesalahan IQ



Gambar 17.14. Diagram konstelasi dengan ketidakseimbangan IQ

Ketidakseimbangan I/Q

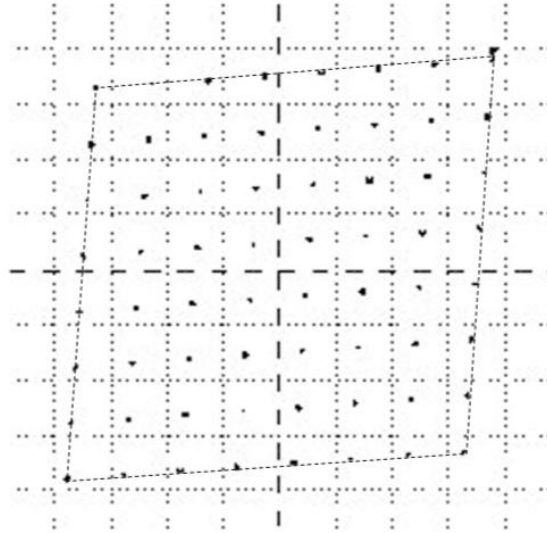
Dalam kasus ketidakseimbangan I/Q, diagram konstelasi terjepit dalam arah I atau Q menghasilkan diagram persegi panjang dan bukan persegi. Ketidakseimbangan amplitudo dapat ditentukan dengan mengukur panjang sisi persegi panjang. Ini didefinisikan sebagai

$$AI = (v_2/v_1 - 1) \cdot 100\%;$$

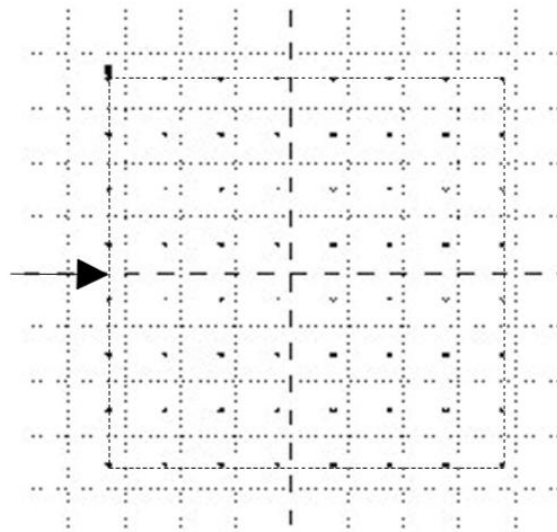
di mana v_1 adalah keuntungan dalam arah I atau sisi I dari persegi panjang, dan v_2 adalah keuntungan dalam arah Q atau sisi Q dari persegi panjang

Fase Error I/Q

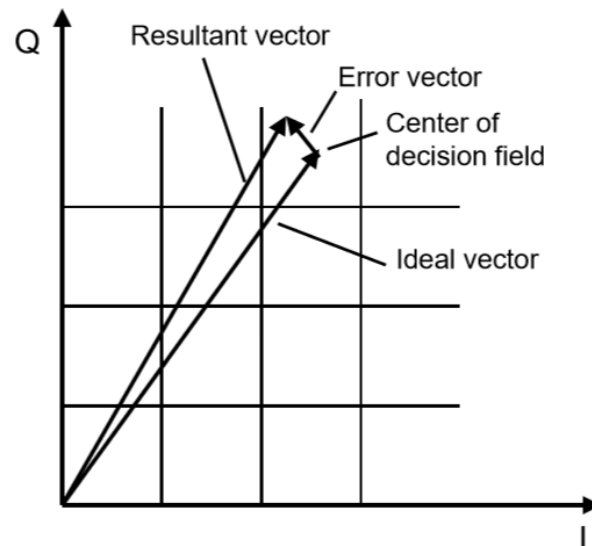
Kesalahan fase I/Q (PE) mengarah ke diagram konstelasi berbentuk berlian. Kesalahan fase pada pemindah fase 90° dari modulator I/Q dapat ditentukan dari sudut berlian dalam diagram konstelasi. Sudut lancip kemudian memiliki nilai $90^\circ - \text{PE}$ dan sudut tumpul memiliki nilai $90^\circ + \text{PE}$.



Gambar 17.15. Diagram konstelasi dengan kesalahan fase IQ



Gambar 17.16. Diagram konstelasi dengan penekanan operator yang tidak memadai



Gambar 17.17. Vektor kesalahan untuk menentukan rasio kesalahan modulasi (MER)

Penekanan Operator

Dalam kasus penekanan pembawa yang tidak mencukupi), diagram konstelasi didorong menjauh dari pusat ke beberapa arah. Derajat penekanan pembawa dapat dihitung dari besarnya perpindahan.

Tabel 17.1. MER dan EVM

QAM	MER>EVM [%]	EVM>MER [%]	MER>EVM [dB]	MER>EVM [dB]
4	EVM=MER	MER=EVM	EVM =MER	MER= EVM
16	EVM= MER/1.342	EVM= MER·1.342	EVM = MER +2.56dB	MER= EVM -2.56dB
32	EVM= MER/1.304	EVM= MER·1.304	EVM = MER +2.31dB	MER= EVM -2.31dB
64	EVM= MER/1.527	EVM= MER·1.527	EVM = MER +3.68dB	MER= EVM -3.68dB
128	EVM= MER/1.440	EVM= MER·1.440	EVM = MER +3.17dB	MER= EVM -3.17dB
256	EVM= MER/1.627	EVM= MER·1.627	EVM = MER +4.23dB	MER= EVM -4.23dB

17.7. Modulation Error Ratio (MER)

Semua efek interferensi pada sinyal TV digital dalam jaringan kabel broadband yang telah dijelaskan sebelumnya menyebabkan titik konstelasi menunjukkan penyimpangan dari posisi nominalnya di tengah bidang keputusan. Jika penyimpangan terlalu besar, ambang keputusan akan terlampaui dan kesalahan bit dihasilkan. Namun, penyimpangan dari pusat bidang keputusan juga dapat dianggap sebagai parameter

pengukuran untuk ukuran kuantitas interferensi apa pun. Yang justru objek parameter pengukuran buatan seperti rasio kesalahan modulasi (MER). Pengukuran MER mengasumsikan bahwa hit aktual di bidang konstelasi telah didorong keluar dari pusat bidang masing-masing oleh jumlah interferensi. Besaran interferensi diberikan vektor kesalahan dan titik vektor kesalahan dari pusat bidang konstelasi ke titik pukulan sebenarnya di bidang konstelasi. Kemudian panjang semua vektor kesalahan ini diukur terhadap waktu di setiap bidang konstelasi dan mean kuadrat terbentuk atau nilai puncak maksimum diperoleh dalam jendela waktu. Definisi yang tepat dari MER dapat ditemukan di Pedoman Pengukuran DVB.

17.8. Error Vector Magnitude (EVM)

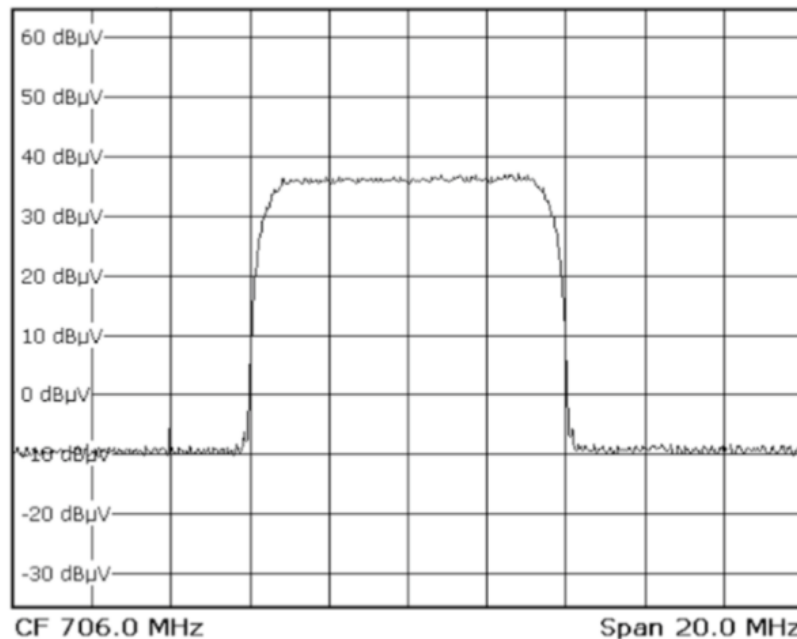
Besarnya vektor kesalahan (EVM) terkait erat dengan rasio kesalahan modulasi (MER), satu-satunya perbedaan adalah perbedaan referensi yang digunakan. Sedangkan pada MER, acuannya adalah nilai RMS dari sinyal QAM, yaitu nilai puncak dari sinyal QAM yang dijadikan acuan untuk EVM.

EVM dan MER dapat dikonversi dari satu ke yang lain dengan bantuan tabel 17.1.

17.9. Mengukur *Bit Error Ratio* (BER)

Dalam DVB-C dan J83A, C, transmisi dilindungi oleh Reed Solomon forward error correction RS (204.188). Menggunakan 16 byte perlindungan kesalahan per paket Transport stream, perlindungan ini memungkinkan 8 kesalahan tunggal per paket TS untuk diperbaiki di ujung penerima. Menghitung peristiwa koreksi yang dilakukan oleh dekoder Reed Solomon di ujung penerima dan mengasumsikan bahwa ini disebabkan oleh kesalahan tunggal, dan menghubungkannya dengan aliran bit yang masuk dalam periode yang sebanding (paket Transport stream memiliki $188 \cdot 8$ bit yang berguna dan total $204 \cdot 8$ bit), memberikan tingkat kesalahan bit, nilai antara $1 \cdot 10^{-4}$ dan $1 \cdot 10^{-11}$.

Namun, tidak semua kesalahan dapat diperbaiki oleh decoder Reed Solomon. Kesalahan dalam paket TS yang tidak lagi dapat diperbaiki menyebabkan paket yang salah yang kemudian ditandai dengan indikator kesalahan transport di header stream transport MPEG-2. Menghitung kesalahan yang tidak dapat diperbaiki dan menghubungkannya dengan volume data yang sesuai memungkinkan rasio kesalahan bit pasca-Reed Solomon dihitung.



Gambar 17.18. Spektrum sinyal DVB-C

Jadi, ada dua rasio kesalahan bit di DVB-C dan J83A, C:

- Rasio kesalahan bit sebelum Reed Solomon - rasio kesalahan bit channel
- Rasio kesalahan bit setelah Reed Solomon

Rasio kesalahan bit (BER) didefinisikan sebagai:

BER = kesalahan bit / bit yang ditransmisikan;

Degradasi Noise Setara (AKHIR):

Degradasi noise yang setara adalah ukuran 'kerugian penyisipan' dari seluruh sistem dari modulator melalui tautan kabel ke demodulator. Ini menentukan deviasi rasio SNR nyata dari ideal untuk BER $1 \cdot 10^{-4}$ dalam dB. Dalam praktiknya, nilai sekitar 1 dB tercapai.

Margin Noise:

Margin noise adalah margin antara rasio CNR yang mengarah ke BER $2 \cdot 10^{-4}$, dan nilai CNR sistem kabel. Ketika nilai CNR diukur dalam kabel, bandwidth channel sinyal QAM digunakan sebagai bandwidth noise.

17.10. Menggunakan Penganalisis Spektrum untuk Mengukur Sinyal DVB-C

Penganalisis spektrum adalah instrumen yang baik untuk mengukur kekuatan channel DVB-C, setidaknya di ujung modulasi. Sinyal DVB-C terlihat seperti noise dan memiliki faktor puncak yang cukup tinggi. Karena kesamaannya dengan derau Gaussian putih, daya diukur dengan cara yang sama seperti dalam pengukuran daya derau.

Untuk menemukan daya pembawa DVB-C/J83A,B,C, penganalisis spektrum diatur sebagai berikut:

Pada penganalisis, bandwidth resolusi 30 kHz dan bandwidth video 3 hingga 10 kali lebar bandwidth resolusi (300 kHz) dipilih. Untuk mencapai beberapa rata-rata, waktu sapuan lambat (2000 ms) harus diatur. Parameter ini diperlukan karena kami menggunakan detektor RMS dari penganalisis spektrum. Pengaturan berikut kemudian digunakan:

- Frekuensi tengah : pusat channel kabel
- Rentang : 10 MHz
- Resolusi BW : 30 kHz
- Video BW : 300 kHz (karena detektor RMS dan tampilan log.)
- Detektor : RMS
- Sapuan : lambat (2000 ms)
- Penanda noise : pusat channel (C' dalam dBm/Hz)

Untuk mengukur daya, digunakan penanda derau karena sinyal seperti derau. Penanda noise diatur ke pusat pita untuk ini. Prasyaratnya adalah channel datar yang, bagaimanapun, selalu dapat diasumsikan pada modulator. Jika channel tidak rata, fungsi pengukuran lain yang sesuai tetapi bergantung pada penganalisis harus digunakan untuk mengukur daya channel.

Alat analisa memberikan nilai C' sebagai kerapatan daya noise pada posisi penanda noise dalam dBm/Hz, secara otomatis mempertimbangkan bandwidth filter dan karakteristik penguat logaritmik alat analisa. Untuk menghubungkan kerapatan daya sinyal C' dengan bandwidth Nyquist BN dari sinyal kabel, daya sinyal C harus dihitung sebagai berikut:

$$C = C' + 10\log B_N = C' + 10\log(\text{symbol_rate} / \text{Hz}) \text{ dB}; \text{ [dBm]}$$

Bandwidth Nyquist sinyal sesuai dengan tingkat simbol sinyal kabel.

Menemukan Daya Noise N dengan Perkiraan:

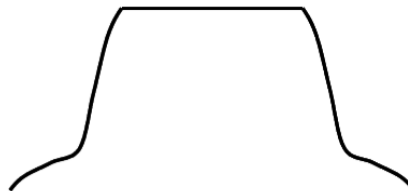
Jika dimungkinkan untuk mematikan sinyal DVB-C/J83A, B, C tanpa mengubah kondisi noise di channel, penanda noise di tengah channel akan memberikan informasi tentang kondisi noise di channel. Namun, ini tidak bisa dilakukan dengan mudah. Sebuah 'ide bagus' setidaknya, jika bukan nilai pengukuran yang tepat, tentang kekuatan noise di channel diperoleh jika penanda noise digunakan untuk mengukur cukup dekat dengan sinyal di 'bahu' DVB-C/J83A, B, C sinyal. Ini karena dapat diasumsikan bahwa pinggiran derau di dalam pita yang berguna berlanjut dengan cara yang serupa dengan yang muncul di bahu.

Nilai N' dari densitas daya derau dikeluarkan oleh penganalisis spektrum. Untuk menghitung daya derau pada channel yang memiliki bandwidth BK channel transmisi kabel dari rapat daya derau N', daya derau N harus dicari sebagai berikut:

$$N = N' + 10\log (B_N) = N' + 10\log (\text{signal_bandwidth} / \text{Hz}) \text{ dB}; \text{ [dBm]}$$

17.11. Mengukur Redaman Bahu

Komponen out-of-band yang dekat dengan pita DVB-C/J83A,B,C yang diinginkan dikenali dari 'bahu' sinyal QAM (gambar 17.18. dan 17.19.). Bahu ini harus ditekan sebaik mungkin sehingga menyebabkan gangguan seminimal mungkin ke channel yang berdekatan. Ini didefinisikan sebagai redaman bahu minimum yang diperlukan (misalnya 43 dB). Redaman bahu diukur dengan menggunakan fungsi penanda sederhana dari penganalisis spektrum.



Gambar 17.19. Bahu pada sinyal DVB-C

17.12. Mengukur Riak atau Kemiringan di Channel

Riak dalam respons amplitudo channel TV digital harus serendah mungkin (kurang dari 0,4 dBPP). Selain itu, kemiringan channel ini juga tidak boleh lebih besar dari nilai ini. Riak dan kemiringan channel dapat diukur dengan menggunakan penganalisis spektrum. Data koreksi dari equalizer channel di penerima uji juga dapat digunakan untuk pengukuran ini. Beberapa penerima uji kabel memungkinkan respons frekuensi channel dihitung dari ini.

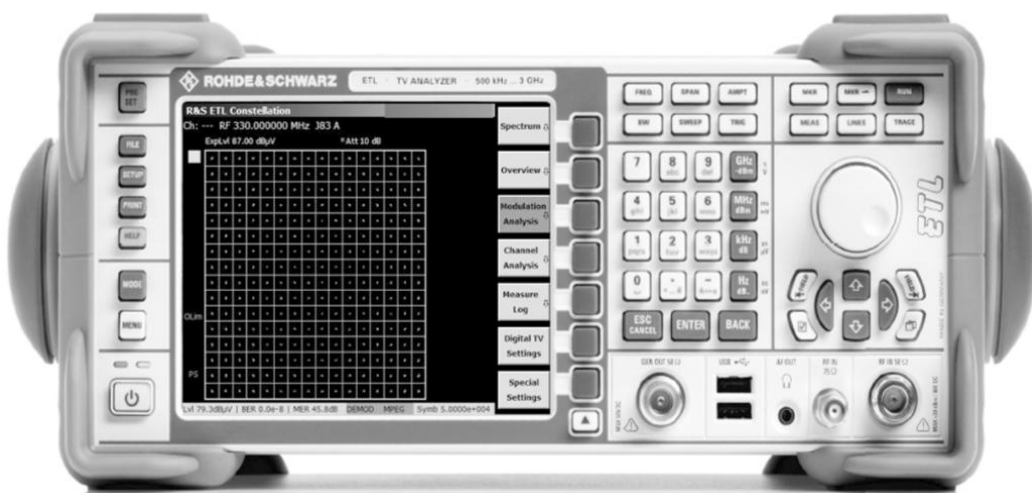
17.13. Uji Penerima DVB-C/J83A/B/C

Seperti pada DVB-S dan juga pada DVB-T, pengujian receiver DVB-c (penerima TV atau penerima DVB-C eksternal) sangat penting. Pemancar uji dapat mensimulasikan tautan transmisi kabel dan proses modulasi. Selain modulator kabel dan upconverter, pemancar uji semacam itu (misalnya Pemancar Uji TV Rohde&Schwarz SFQ, SFU, BTC) juga berisi sumber noise tambahan dan bahkan mungkin simulator channel. Pemancar uji diumpankan dengan Transport stream MPEG-2 dari generator MPEG-2. Sinyal output dari pemancar uji dapat disuplai langsung ke input penerima kabel. Kemudian dimungkinkan untuk menghasilkan berbagai kondisi tegangan untuk penerima dengan mengubah banyak parameter. Dimungkinkan juga untuk mengukur tingkat kesalahan bit sebagai fungsi dari rasio CNR.

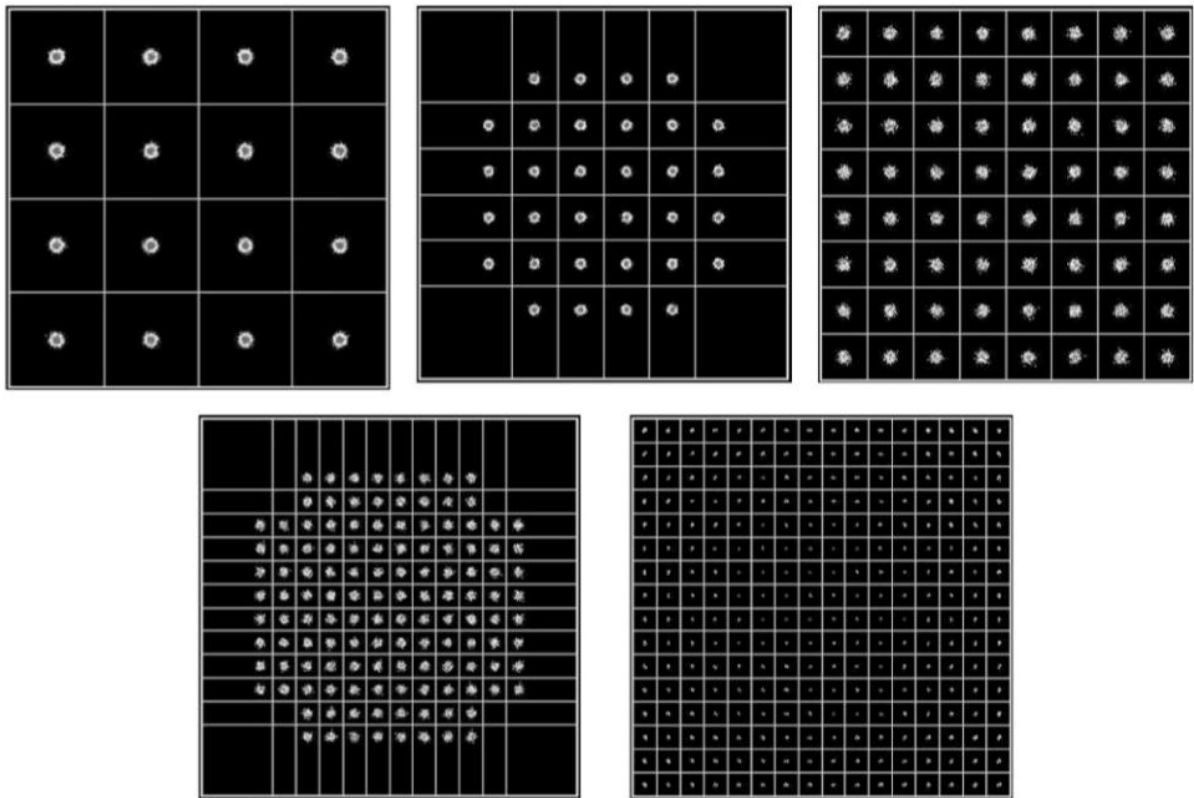


Gambar 17.20. Analisis konstelasi pada sinyal DVB-C

Pemancar uji (Rohde&Schwarz SFQ, kiri bawah) menggunakan pemancar uji (Rohde&Schwarz EFA, kiri atas): Generator MPEG-2 (Rohde&Schwarz DVRG, kiri tengah) memasok Transport stream MPEG-2 dengan konten uji yang dimasukkan ke dalam pemancar uji. EFA penerima DVB-C menampilkan Sinyal DVB-C kembali ke MPEG-2 transport stream yang kemudian dapat didekodekan dengan dekoder uji MPEG-2 (Rohde&Schwarz DVMD, kanan tengah). Gambar juga menunjukkan VSA penganalisis video (kanan bawah), monitor TV (tengah atas) dan VCA penganalisis “601” (kanan atas).



Gambar 17.21. Penganalisis TV ETL, Rohde&Schwarz menunjukkan diagram konstelasi DVB-C 256QAM



Gambar 17.22. Kemungkinan diagram konstelasi di DVB-; 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM; direkam dengan TV Analyzer ETL



Gambar 17.23. DOCSIS Analyzer DSA, Rohde&Schwarz, termasuk DVB-C Analyzer

BAB 18

CODED ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEX (COFDM)

Hampir sejak awal transmisi pesan listrik sekitar 120 tahun yang lalu, metode pembawa tunggal telah digunakan untuk mengirimkan informasi. Pesan yang akan ditransmisikan terkesan pada pembawa sinusoidal dengan menerapkan amplitudo analog, frekuensi atau teknik modulasi fase. Sejak tahun delapan puluhan, transmisi single-carrier semakin banyak dilakukan dengan metode digital dalam bentuk *frequency shift keying* (FSK) dan dalam banyak kasus juga dengan modulasi vektor (QPSK, QAM). Aplikasi utama untuk ini adalah faks, modem, radio seluler, tautan gelombang mikro, dan transmisi satelit, serta transmisi data melalui kabel pita lebar. Namun, karakteristik dari banyak jalur transmisi sedemikian rupa sehingga metode pembawa tunggal terbukti sensitif terhadap interferensi, kompleks atau tidak memadai. Namun, sejak zaman Marconi dan Hertz, tautan transmisi inilah yang paling sering digunakan. Hari ini, setiap anak tahu tentang radio transistor, penerima televisi dan ponsel atau walkie-talkie sederhana, yang semuanya beroperasi dengan pembawa termodulasi di lingkungan terestrial. Dan setiap pengemudi mobil tahu efek penerimaan program radio yang dia dengarkan tiba-tiba berhenti ketika dia berhenti di lampu merah - dia berada di 'titik mati'. Karena penerimaan multi-jalur, fading terjadi yang selektif frekuensi dan lokasi. Dalam transmisi radio terestrial, gangguan sinusoidal atau tipe impuls pita sempit atau pita lebar juga harus diharapkan yang dapat mempengaruhi penerimaan. Lokasi, jenis dan orientasi serta mobilitas, yaitu pergerakan, semuanya berperan. Ini berlaku untuk penerimaan radio dan TV dan penerimaan melalui radio bergerak. Kondisi penerimaan terestrial adalah jenis penerimaan yang paling sulit dari semuanya. Ini juga berlaku untuk jalur dua kabel lama di bidang telekomunikasi. Mungkin ada Echo, crosstalk dari pasangan lain, pengganggu impuls dan amplitudo dan respons penundaan kelompok. Namun, permintaan untuk tautan data dengan kecepatan bit yang lebih tinggi dari PC ke Internet semakin meningkat. Kecepatan data dan teknologi transmisi melalui kabel telepon twisted pair telah banyak berubah sejak tahun 2000 hingga sekarang dari modulasi single carrier 56 kbit/s menjadi standar multicarrier ADSL/VDSL dengan lebih dari 100 Mbit/s. Dalam link radio terestrial sekarang adalah layanan penyiaran, yang selalu memiliki bandwidth lebar seperti televisi dengan bandwidth normal hingga 8 MHz, yang 'menjeritkan' metode transmisi digital yang andal. Menggunakan metode multi-operator adalah salah satu pendekatan yang dapat diandalkan untuk ini. Informasi ditransmisikan secara digital tidak melalui satu operator tetapi melalui banyak - dalam beberapa kasus ribuan subcarrier dengan perlindungan kesalahan ganda dan interleaving data. Metode-metode yang telah dikenal sejak tahun tujuh puluhan, adalah:

- Multiplexing divisi frekuensi ortogonal berkode/*Coded Orthogonal frequency division multiplexing* (COFDM)
- Multitone diskrit/*Discrete multitone* (DMT)

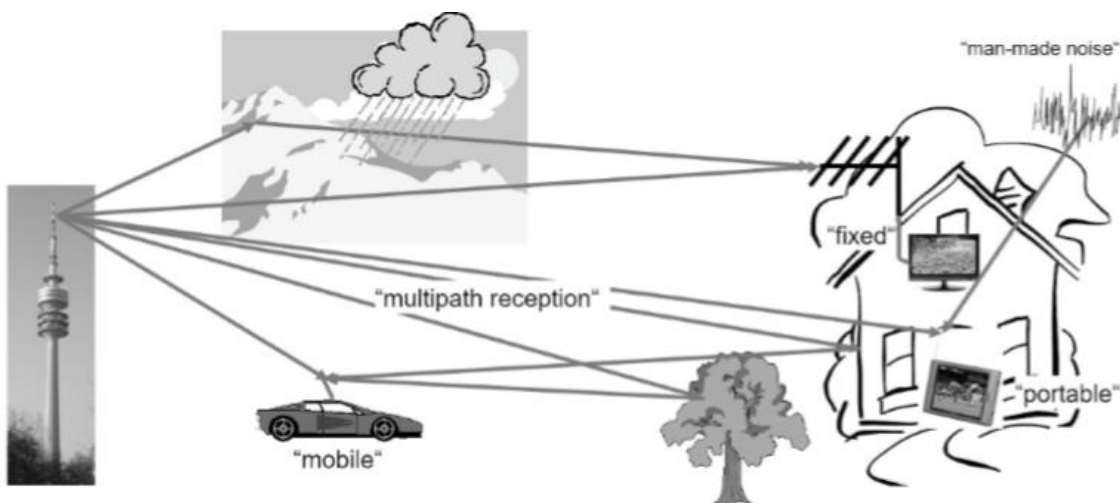
Mereka digunakan dalam:

- Penyiaran Audio Digital/*Digital Audio Broadcasting* (DAB)
- DAB+
- Penyiaran Video Digital/*Digital Video Broadcasting* (DVB-T)
- Channel Pelanggan Digital Asimetris/*Asymmetrical Digital Subscriber Line* (ADSL)

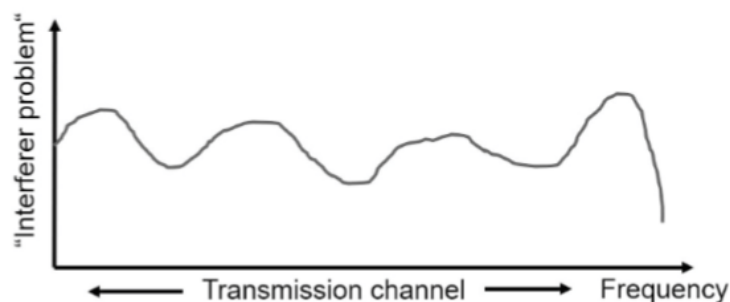
- Channel Pelanggan Digital Berkecepatan Sangat Tinggi/*Very High Speed Digital Subscriber Line (VDSL)*
- Transmisi sinyal data melalui channel listrik (*Power Line*)
- ISDB-T
- DTMB
- T-DMB
- WiMAX
- 4G/LTE
- 5G-NR
- DRM
- DVB-T2
- DVB-C2
- DOKSIS3.1
- ATSC3.0

Dalam Bagian ini, latar belakang, karakteristik dan pembangkitan metode modulasi multicarrier seperti *coded orthogonal frequency division multiplexing (COFDM)* atau *discrete multitone (DMT)* dijelaskan.

Implementasi COFDM pertama terjadi di DAB – Digital Audio Broadcasting pada awal 1990-an. Mengikuti standar berikutnya adalah DVB-T pada tahun 1995. Sekarang ada banyak standar transmisi data yang menggunakan modulasi multicarrier dengan sangat sukses.



Gambar 18.1. Channel radio terestrial



Gambar 18.2. Masalah interferensi non-konstan versus frekuensi

18.1. Mengapa Multi-Carrier?

Metode multi-carrier termasuk dalam metode transmisi yang paling rumit. Tapi mengapa kompleksitas ini? Alasannya sederhana: media transmisi adalah media yang sangat sulit untuk ditangani.

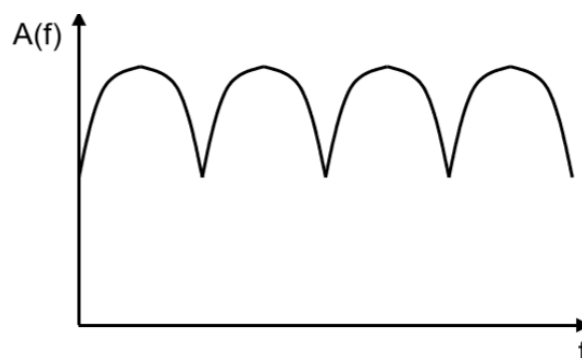
- Media transmisi terestrial meliputi:
- Jalur transmisi terestrial

Kondisi transmisi terkait channel yang sulit dengan masalah interferensi non-konstan (channel lintas bicara, redaman, dll.)

Jalur transmisi terestrial, khususnya, menunjukkan fitur karakteristik berikut:

- Penerimaan multipath melalui berbagai jalur Echo yang disebabkan oleh pantulan dari bangunan, gunung, pohon, kendaraan;
- Noise Gaussian putih aditif (AWGN);
- Sumber gangguan pita sempit atau pita lebar yang disebabkan oleh mesin pembakaran internal, trem atau sumber radio lainnya;
- Efek Doppler, yaitu pergeseran frekuensi dalam penerimaan seluler.

Penerimaan multipath mengarah ke fenomena fading selektif lokasi dan frekuensi, efek yang dikenal sebagai "efek lampu merah" di radio mobil. Mobil berhenti di lampu merah dan penerimaan radio berhenti. Jika seseorang memilih stasiun lain atau memindahkan mobil sedikit ke depan, penerimaan akan dipulihkan. Jika informasi ditransmisikan oleh hanya satu pembawa diskrit tepat pada satu frekuensi tertentu, Echo akan menyebabkan pembatalan sinyal yang diterima di lokasi tertentu pada frekuensi ini. Efek ini merupakan fungsi dari frekuensi, intensitas Echo dan penundaan Echo.

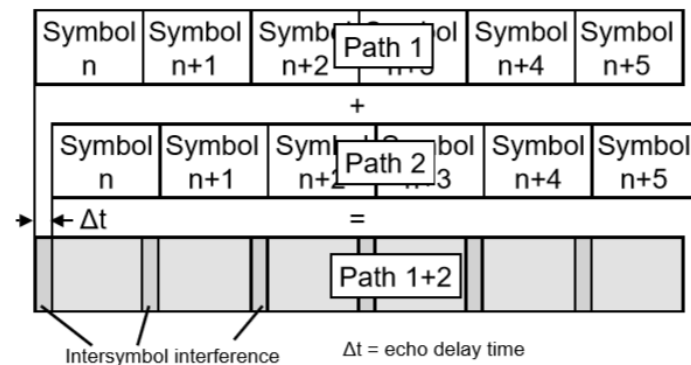


Gambar 18.3. Fungsi transfer channel radio dengan penerimaan multipath, Fading selektif frekuensi

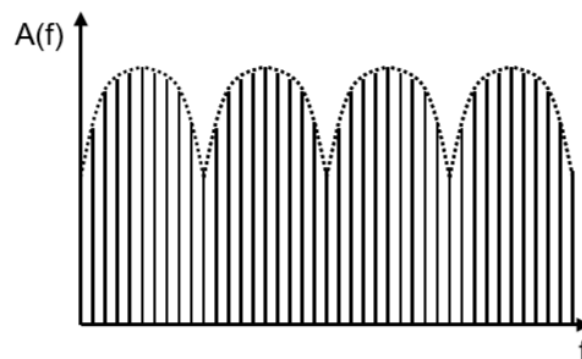
Jika kecepatan data sinyal digital yang tinggi ditransmisikan oleh pembawa termodulasi vektor (I/Q termodulasi), mereka akan menunjukkan bandwidth yang sesuai dengan kecepatan simbol.

Bandwidth yang tersedia biasanya ditentukan. Simbol rate diperoleh dari jenis modulasi dan data rate. Namun, metode singlecarrier memiliki simbol rate yang relatif tinggi, seringkali dalam rentang lebih dari 1 MS/s hingga 30 MS/s. Hal ini menyebabkan periode simbol yang sangat pendek $1\mu\text{s}$ dan lebih pendek (kebalikan dari simbol rate).

Namun, penundaan Echo dapat dengan mudah berada dalam kisaran hingga $50\mu\text{s}$ atau lebih di channel transmisi terestrial. Echo seperti itu akan menyebabkan interferensi antar simbol antara simbol yang berdekatan atau bahkan simbol yang jauh dan membuat transmisi kurang lebih tidak mungkin. Trik yang jelas sekarang adalah membuat periode simbol selama mungkin untuk meminimalkan interferensi antar-simbol dan, sebagai tambahan, jeda dapat disisipkan di antara simbol-simbol, yang disebut interval penjaga.



Gambar 18.4. Interferensi antar-simbol / crosstalk antarsimbol dengan penerimaan multipath



Gambar 18.5. COFDM: multicarrier di channel radio dengan fading

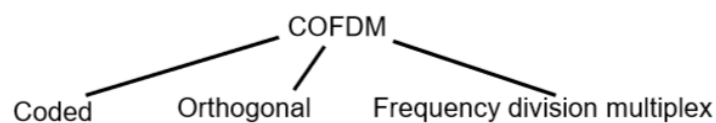
Namun, masih ada masalah fenomena fading selektif lokasi dan frekuensi. Jika kemudian informasi tersebut tidak ditransmisikan melalui satu pembawa tetapi didistribusikan ke banyak, hingga ribuan subcarrier dan perlindungan kesalahan keseluruhan yang sesuai dibangun, bandwidth channel yang tersedia tetap konstan, masing-masing operator atau pita pembawa akan terpengaruh oleh fading. , Tapi tidak semua dari mereka.

Di sisi penerima, informasi bebas kesalahan yang cukup kemudian dapat dipulihkan dari pembawa yang relatif tidak terganggu untuk dapat merekonstruksi output data. Terlepas dari kesalahan melalui tindakan perlindungan kesalahan yang diambil. Namun, jika ribuan subcarrier digunakan sebagai pengganti satu carrier, kecepatan simbol dikurangi dengan faktor jumlah subcarrier dan simbol-simbol tersebut diperpanjang beberapa ribu kali hingga satu milidetik. Masalah memudar diselesaikan dan, pada saat yang sama, masalah interferensi antar simbol juga diselesaikan karena simbol yang lebih panjang dan jeda yang sesuai di antara mereka.

Sebuah metode multi-carrier lahir dan disebut *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex* (COFDM). Sekarang hanya perlu untuk melihat bahwa banyak operator yang berdekatan tidak mengganggu satu sama lain, yaitu ortogonal satu sama lain.

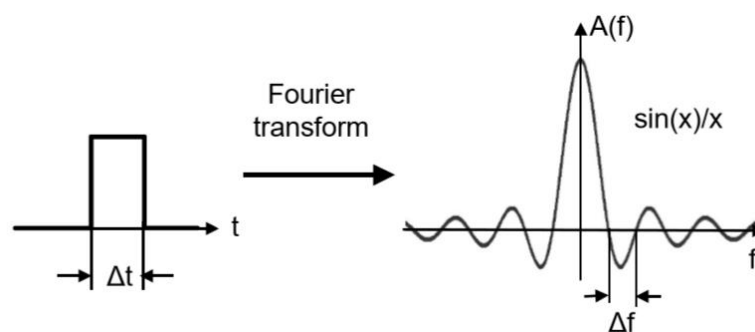
18.2. Apa itu COFDM?

Multipleks pembagian frekuensi ortogonal adalah metode multi-carrier dengan hingga ribuan subcarrier, tidak ada yang mengganggu satu sama lain karena mereka ortogonal satu sama lain. Informasi yang akan ditransmisikan didistribusikan secara interleaved ke banyak subcarrier, pertama-tama menambahkan proteksi kesalahan yang sesuai, menghasilkan *coded orthogonal frequency division multiplex* (COFDM). Masing-masing subcarrier ini dimodulasi oleh vektor, yaitu QPSK, 16QAM dan sering kali dimodulasi hingga 64QAM.



COFDM adalah gabungan dari orthogonal (pada sudut kanan satu sama lain atau, dengan kata lain, tidak mengganggu satu sama lain) dan multipleks pembagian frekuensi (pembagian informasi menjadi banyak subcarrier dalam domain frekuensi)

Dalam channel transmisi, informasi dapat ditransmisikan secara terus menerus atau dalam slot waktu. Kemudian dimungkinkan untuk mengirim pesan yang berbeda di berbagai slot waktu, mis. datastream dari berbagai sumber. Metode slot waktu ini telah lama diterapkan, terutama di telepon untuk transmisi panggilan yang berbeda pada satu channel, satu channel satelit atau juga satu channel radio seluler. Gangguan tipe impuls khas yang disebabkan oleh telepon seluler yang sesuai dengan standar GSM dengan penyinaran ke dalam sistem stereo dan perangkat TV berasal dari metode slot waktu ini, yang juga disebut akses berganda pembagian waktu/*time division multiple access* (TDMA) dalam kasus ini. Namun, juga dimungkinkan untuk membagi channel transmisi dari bandwidth tertentu dalam domain frekuensi, menghasilkan subchannel ke masing-masing subcarrier yang dapat ditempatkan. Setiap subcarrier dimodulasi secara independen dari yang lain dan membawa informasinya sendiri secara independen dari subcarrier lainnya. Masing-masing subcarrier ini dapat dimodulasi dengan vektor, yaitu QPSK, 16QAM dan sering kali dimodulasi hingga 64QAM/256QAM.



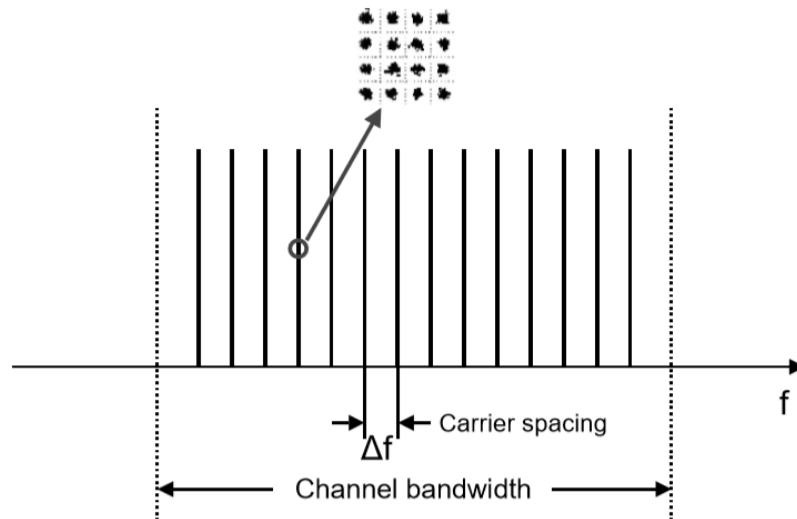
Gambar 18.6. Transformasi Fourier dari denyut persegi panjang

Semua subcarrier dipisahkan oleh interval konstan Δf . Channel komunikasi dapat berisi hingga ribuan subcarrier, yang masing-masing dapat membawa informasi dari sumber yang sama sekali tidak ada hubungannya dengan yang lain. Namun, juga dimungkinkan pertama-tama untuk menyediakan datastream umum dengan perlindungan kesalahan dan kemudian membaginya ke dalam banyak subcarrier. Ini kemudian menjadi multipleks pembagian frekuensi (FDM). Jadi, dalam FDM, datastream umum dibagi dan ditransmisikan dalam satu channel, tidak melalui satu pembawa tetapi melalui banyak, hingga ribuan subcarrier, yang dimodulasi vektor secara digital. Karena subcarrier ini sangat dekat satu sama lain, mis. dengan jarak beberapa kHz, perhatian besar harus diberikan untuk memastikan bahwa subcarrier ini tidak saling mengganggu. Pembawa harus ortogonal satu sama lain. Istilah ortogonal biasanya berarti 'pada 90 derajat satu sama lain' tetapi dalam teknik komunikasi secara umum berarti sinyal yang tidak mengganggu satu sama lain karena karakteristik tertentu. Kapan pembawa yang berdekatan dari sistem FDM kemudian saling mempengaruhi pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil? Anehnya, kita harus mulai dengan denyut persegi panjang dan transformasi Fourier-nya (Gbr. 18.6.). Sebuah denyut persegi panjang tunggal dengan durasi t memberikan spektrum berbentuk $\sin(x)/x$ dalam domain frekuensi, dengan nol yang dipisahkan oleh konstanta $\Delta f = 1/\Delta t$ dalam spektrum. Sebuah denyut persegi panjang tunggal menunjukkan spektrum kontinu, yaitu alih-alih garis spektral diskrit ada kurva $\sin(x)/x$ berbentuk kontinu.

Memvariasikan periode t dari denyut persegi panjang memvariasikan jarak Δf dari nol dalam spektrum. Jika t dibiarkan cenderung menuju nol, nol dalam spektrum akan cenderung menuju tak terhingga. Ini menghasilkan denyut Dirac yang memiliki spektrum datar tak terhingga yang berisi semua frekuensi. Jika Δt cenderung menuju tak terhingga, nol dalam spektrum akan cenderung menuju nol. Ini menghasilkan garis spektral pada frekuensi nol yang DC. Semua kasus di antaranya hanya sesuai dengan:

$$\Delta f = 1/\Delta t$$

Rangkaian denyut persegi panjang periode T_p dan lebar denyut t juga sesuai dengan variasi bentuk $\sin(x)/x$ ini tetapi sekarang hanya ada garis spektral diskrit yang dipisahkan oleh $f_p = 1/T_p$ yang, bagaimanapun, sesuai dengan $\sin(x)/x$ variasi berbentuk x .



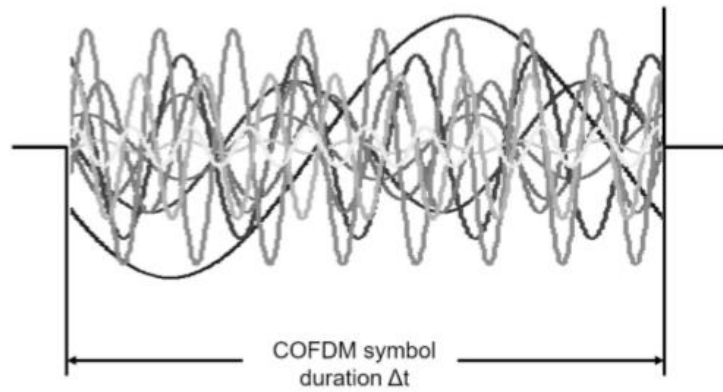
Gambar 18.7. *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM)*

Lalu apa hubungan antara denyut persegi panjang dan ortogonalitas? Sinyal pembawa berbentuk sinusoidal. Sinyal gelombang sinus frekuensi $f_S = 1/T_S$ menghasilkan garis spektral tunggal pada frekuensi f_S dan $-f_S$ dalam domain frekuensi. Namun, pembawa sinusoidal ini membawa informasi dengan penguncian amplitudo dan pergeseran frekuensi.

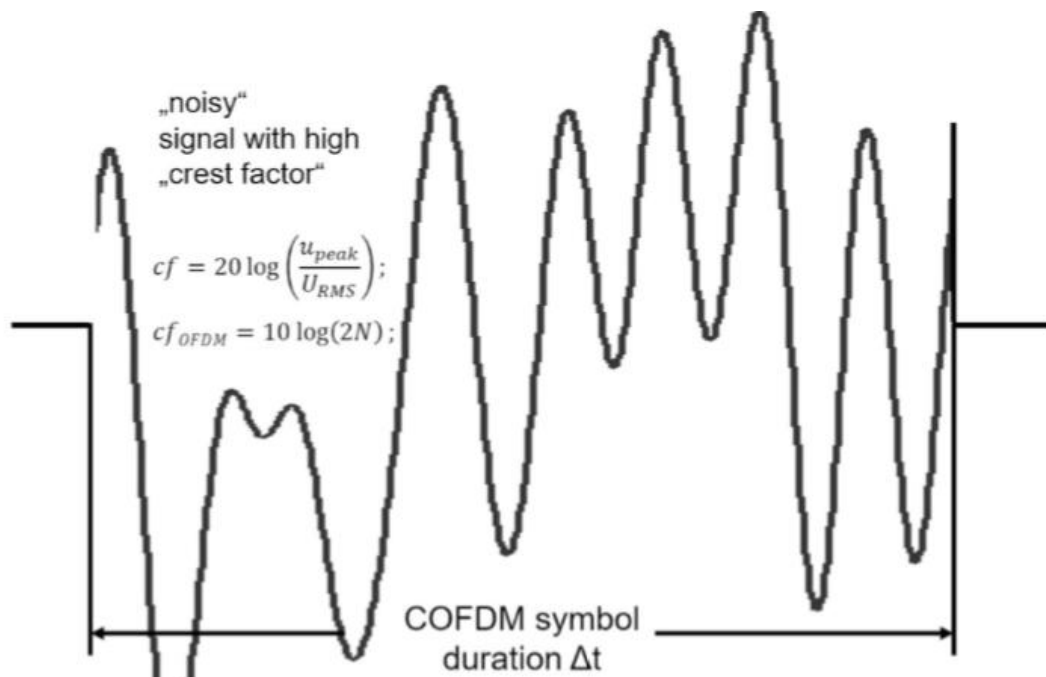
Yaitu, sinyal pembawa sinusoidal ini tidak memanjang terus menerus dari minus tak terhingga ke plus tak terhingga tetapi mengubah amplitudo dan fasenya setelah waktu tertentu Δt . Jadi orang dapat membayangkan sinyal pembawa termodulasi yang terdiri dari bagian-bagian sinusoidal yang dipotong secara persegi panjang, yang disebut paket burst. Secara matematis, konvolusi terjadi dalam domain frekuensi, yaitu spektrum denyut jendela persegi panjang dan gelombang sinus menjadi tumpang tindih. Dalam domain frekuensi kemudian ada spektrum berbentuk $\sin(x)/x$ pada posisi f_S dan $-f_S$ alih-alih garis spektral diskrit. Null dari spektrum $\sin(x)/x$ dijelaskan oleh panjang jendela persegi panjang t . Ruang antara nol adalah $\Delta f = 1/\Delta t$.

Jika kemudian banyak pembawa yang berdekatan ditransmisikan secara bersamaan, ekor berbentuk $\sin(x)/x$ yang dihasilkan oleh transmisi bursty akan mengganggu pembawa yang berdekatan.

Namun, interferensi ini diminimalkan jika jarak pembawa dipilih sedemikian rupa sehingga puncak pembawa selalu bertepatan dengan nol dari pembawa yang berdekatan. Hal ini dicapai dengan memilih jarak subcarrier Δf agar sesuai dengan kebalikan dari panjang jendela persegi panjang, yaitu periode burst atau periode simbol. Paket burst seperti itu dengan banyak dan seringkali ribuan subcarrier termodulasi disebut simbol COFDM.



Gambar 18.8 Simbol COFDM



Gambar 18.9. Simbol OFDM (semua operator overlay dalam waktu)

Berikut ini berlaku sebagai kondisi ortogonalitas COFDM:

$$\Delta f = 1/\Delta t$$

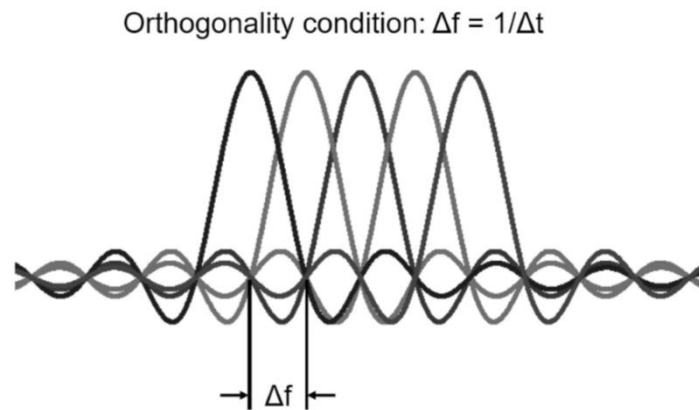
di mana Δf adalah spasi subcarrier dan t adalah periode simbol.

Jika, misalnya, periode simbol sistem COFDM diketahui, jarak subcarrier dapat disimpulkan secara langsung, dan sebaliknya.

Di DVB-T, kondisi berikut berlaku untuk apa yang disebut mode 2K dan 8K:

Tabel 18.1. Mode COFDM di DVB-T

Mode	2k	8k
No. of subcarriers	2048	8192
Subcarrier spacing Δf	~ 4 kHz	~ 1 kHz
Symbol duration Δt	$1/\Delta f = \sim 250$ μ s	~ 1 ms



Gambar 18.10. Kondisi ortogonalitas dalam COFDM

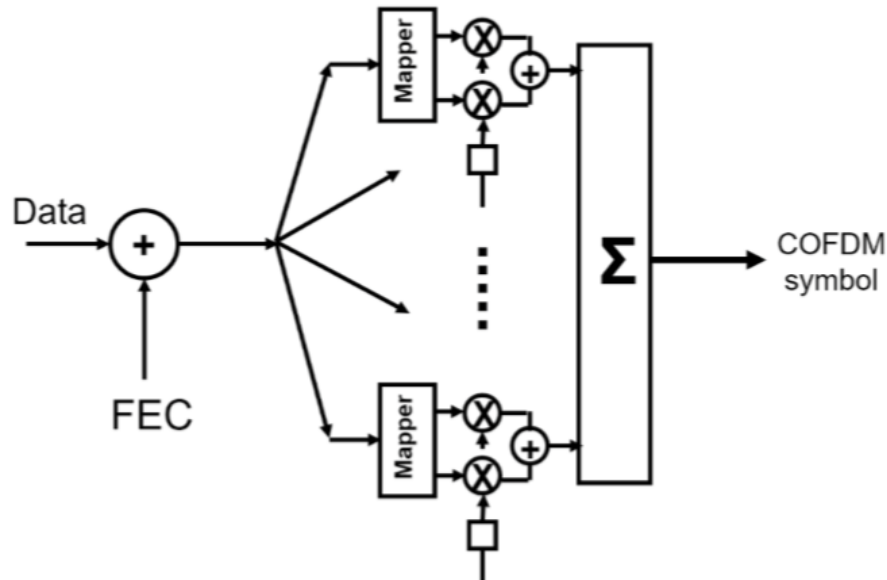
18.3. Membangkitkan Simbol COFDM

Dalam COFDM, informasi yang akan ditransmisikan pertama kali dilindungi dari kesalahan, yaitu overhead yang cukup besar ditambahkan sebelum datastream yang terdiri dari muatan dan perlindungan kesalahan ini dibebankan pada sejumlah besar subcarrier. Masing-masing dari ribuan subcarrier ini kemudian harus mengirimkan sebagian dari datastream ini. Seperti dalam metode single-carrier, setiap subcarrier membutuhkan pemetaan yang menghasilkan QPSK, 16QAM atau 64QAM. Setiap subcarrier dimodulasi secara independen dari yang lain. Pada prinsipnya, modulator COFDM dapat dibayangkan terdiri dari hingga ribuan modulator QAM, masing-masing dengan mapper. Setiap modulator menerima pembawanya sendiri yang diturunkan secara tepat. Semua proses modulasi disinkronkan satu sama lain sedemikian rupa sehingga dalam setiap kasus dihasilkan simbol yang sama yang memiliki panjang tepat $t = 1/\Delta f$. Namun, prosedur ini adalah teori murni: dalam praktiknya, biayanya akan sangat besar dan tidak stabil, tetapi, bagaimanapun, ini berfungsi untuk menggambarkan prinsip COFDM.

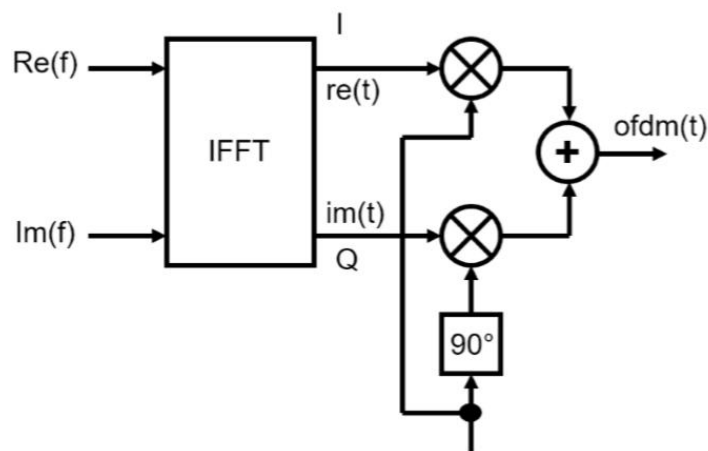
Pada kenyataannya, simbol COFDM dihasilkan oleh proses pemetaan ganda di mana dua tabel dihasilkan, diikuti oleh *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT). Yaitu, COFDM hanyalah hasil penerapan matematika numerik di komputer berkecepatan tinggi

Proses modulasi COFDM adalah sebagai berikut: Datastream yang dilindungi kesalahan, dengan demikian dilengkapi dengan overhead, dibagi dan dibagi secara acak menjadi sejumlah besar hingga ribuan substream, proses yang disebut multiplexing dan interleaving. Setiap substream melewati paket demi paket ke dalam mapper yang menghasilkan deskripsi subvektor masing-masing, dibagi menjadi bagian nyata dan imajiner. Dua tabel dihasilkan dengan ribuan entri, menghasilkan tabel bagian nyata dan tabel bagian imajiner. Ini menghasilkan deskripsi bagian domain waktu di domain frekuensi. Setiap subcarrier, yang sekarang dimodulasi, digambarkan sebagai bagian sumbu x dan bagian sumbu y atau, dinyatakan secara matematis, sebagai komponen cosinusoidal dan sinusoidal, atau bagian nyata dan imajiner. Kedua tabel ini - tabel nyata dan tabel imajiner - sekarang menjadi sinyal input untuk blok pemrosesan sinyal berikutnya, *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT). Setelah IFFT, simbol sekarang

tersedia dalam domain waktu. Bentuk sinyal memiliki penampilan acak, stokastik, karena ribuan subcarrier termulasi independen yang dikandungnya. Dari pengalaman, banyak orang merasa sulit untuk memvisualisasikan berapa banyak pembawa yang dihasilkan itulah sebabnya proses modulasi dengan bantuan IFFT sekarang akan dijelaskan langkah demi langkah.



Gambar 18.11. Diagram blok teoritis dari modulator COFDM

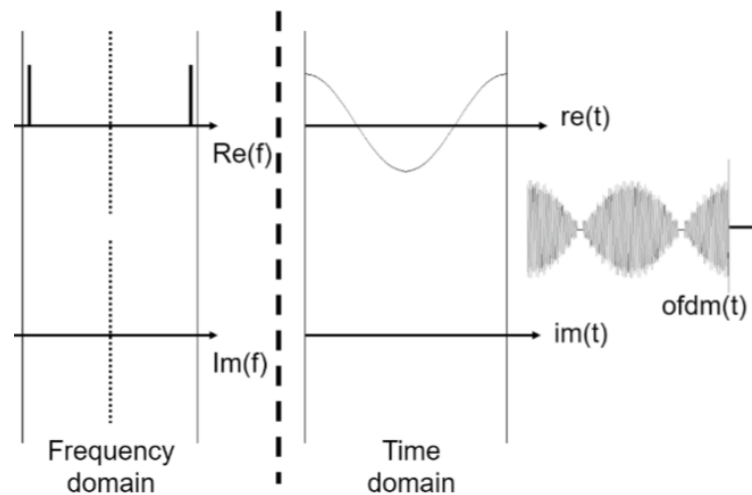


Gambar 18.12. Implementasi praktis dari modulator COFDM oleh IFFT

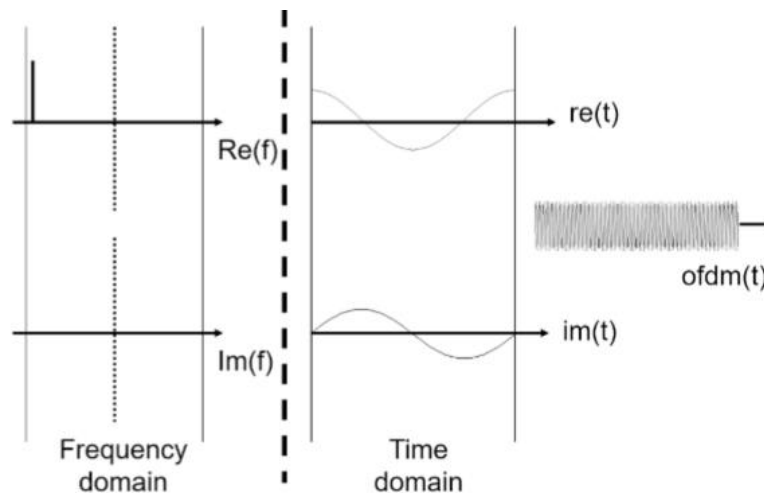
Modulator COFDM yang ditunjukkan pada Gambar 18.12., yang terdiri dari blok IFFT diikuti oleh mixer kompleks (modulator I/Q), diumpankan satu per satu dengan berbagai tabel bagian nyata dan bagian imajiner dalam domain frekuensi setelah itu Invers Fast Fourier Transform dilakukan dan hasilnya dipertimbangkan pada output $re(t)$ dan $im(t)$ setelah IFFT, yaitu dalam domain waktu, dan setelah mixer kompleks.

Ini dimulai dengan spektrum yang simetris terhadap pusat pita channel COFDM. hanya terdiri dari pembawa No.1 dan N. Setelah IFFT, output sinyal dihasilkan pada output $re(t)$ yang murni cosinusoidal. Pada output $im(t)$, $u(t) = 0V$ hadir. Sinyal domain waktu nyata murni diharapkan karena spektrum memenuhi kondisi simetri yang diperlukan

untuk ini. Setelah modulator I/Q, sinyal termulasi amplitudo dengan pembawa yang ditekan dihasilkan yang hanya dihasilkan oleh komponen domain waktu nyata.



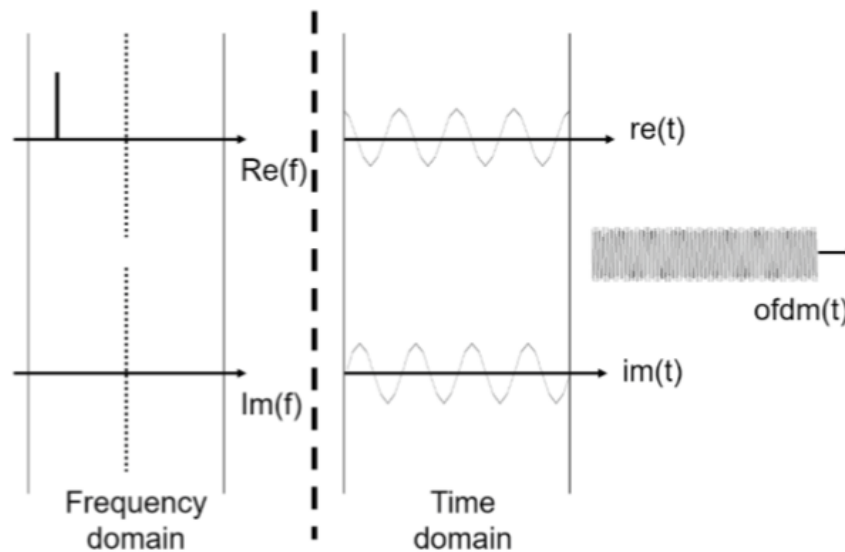
Gambar 18.13. IFFT spektrum simetris



Gambar 18.14. IFFT spektrum asimetris

Namun, jika misalnya garis spektral di kisaran atas pita, yaitu pembawa di N , ditekan dan hanya komponen pada pembawa No.1 yang tersisa, sinyal domain waktu kompleks diperoleh karena spektrum asimetris. Pada output $\text{re}(t)$ setelah IFFT, sinyal cosinusoidal dengan setengah amplitudo seperti sebelumnya sekarang hadir. Selain itu, IFFT sekarang mensuplai output sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang sama dan amplitudo yang sama pada output $\text{im}(t)$. Ini menghasilkan sinyal kompleks dalam domain waktu. Jika ini, yaitu $\text{re}(t)$ dan $\text{im}(t)$, diumpankan ke modulator I/Q berikut, modulasi menghilang, menghasilkan osilasi sinusoidal tunggal yang diubah menjadi pita frekuensi pembawa. Sebuah sinyal termulasi singlesideband diproduksi dan pengaturan sekarang mewakili modulator SSB. Mengubah frekuensi kuantitas stimulasi pada tingkat frekuensi hanya mengubah frekuensi output sinyal cosinusoidal dan sinusoidal pada $\text{re}(t)$ dan $\text{im}(t)$. $\text{re}(t)$ dan $\text{im}(t)$ memiliki amplitudo dan frekuensi yang persis sama dan beda fase 90 derajat seperti sebelumnya. Faktor penentu dalam memahami jenis implementasi COFDM ini adalah, pada prinsipnya, hubungan timbal

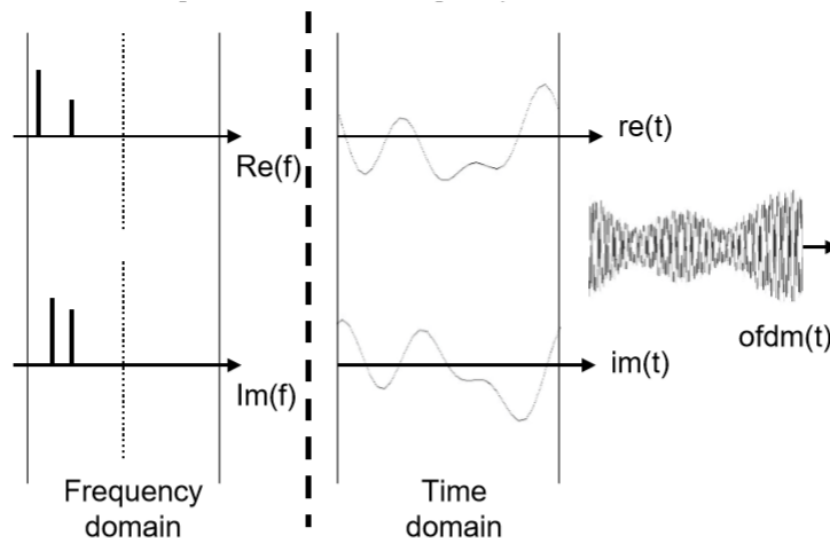
balik ini berlaku untuk semua subcarrier. Untuk setiap subcarrier, $im(t)$ selalu berada pada 90 derajat terhadap $re(t)$ dan memiliki amplitudo yang sama.



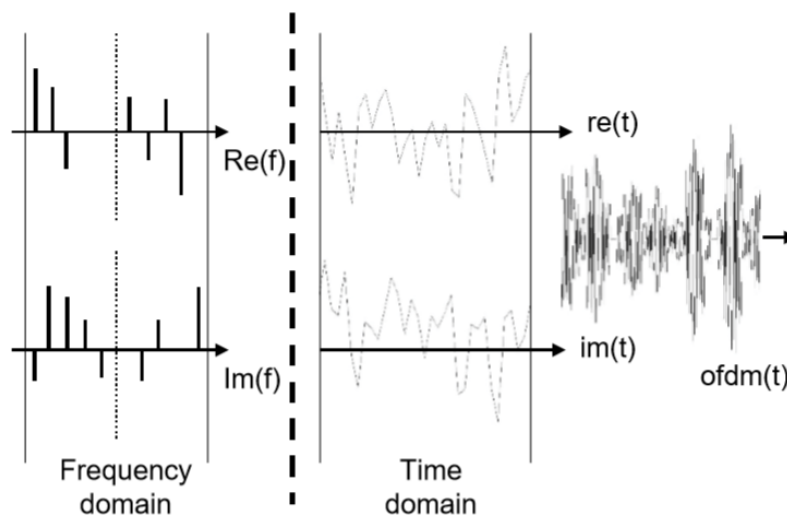
Gambar 18.15. IFFT dengan frekuensi yang diubah

Memasukkan lebih banyak pembawa menghasilkan sinyal dengan penampilan yang semakin acak untuk $re(t)$ dan $im(t)$, sinyal bagian nyata dan imajiner yang memiliki hubungan fase 90° satu sama lain dalam domain waktu.

$im(t)$ dikatakan sebagai Transformasi Hilbert dari $re(t)$. Transformasi ini dapat dibayangkan sebagai pemindah fasa 90° untuk semua komponen spektral. Jika kedua sinyal domain waktu diumpankan ke modulator I/Q berikut, simbol COFDM yang sebenarnya dihasilkan. Dalam setiap kasus, subband COFDM atas atau bawah yang sesuai ditekan oleh jenis modulasi ini, menyediakan modulator pita sisi tunggal tipe pergeseran fase seribu kali lipat. Banyak referensi, beberapa di antaranya berasal dari lebih dari 40 tahun, berisi catatan tentang modulator pita sisi tunggal dari jenis pemindah fasa ini. Hanya karena fakta bahwa setiap subcarrier pada $re(t)$ dan $im(t)$ memiliki amplitudo yang sama dan mereka berada tepat 90 derajat satu sama lain sehingga sideband COFDM atas tidak menghasilkan crosstalk di yang lebih rendah, dan sebaliknya. sebaliknya, sehubungan dengan frekuensi pusat.



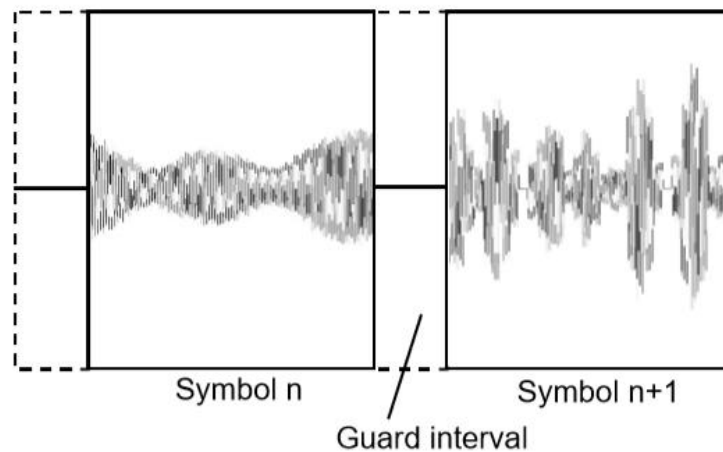
Gambar 18.16. COFDM dengan 3 operator



Gambar 18.17. COFDM dengan 12 operator

Karena saat ini analog, yaitu non-ideal, modulator I/Q sangat sering digunakan karena metode modulasi langsung, efek yang timbul hanya dapat dijelaskan dengan cara ini.

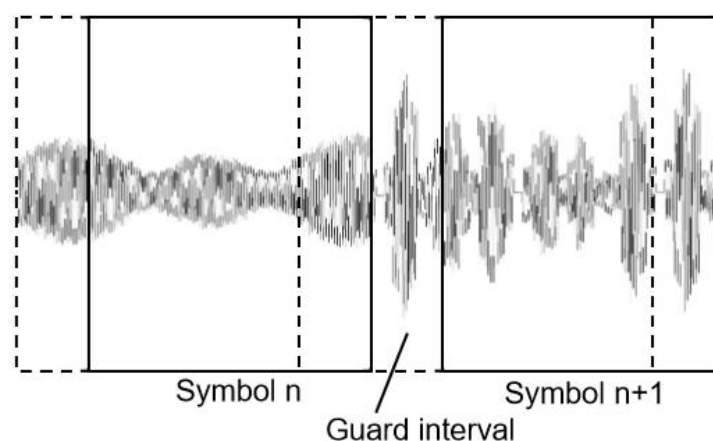
Semakin banyak pembawa, semakin acak tampilan simbol COFDM yang sesuai. Bahkan hanya 12 pembawa tunggal yang ditempatkan dalam urutan yang relatif acak terhadap satu sama lain menghasilkan simbol COFDM dengan penampilan stokastik. Simbol dihitung dan dihasilkan bagian demi bagian dalam mode pipa. Jumlah bit data yang sama selalu digabungkan dan dimodulasi ke sejumlah besar hingga ribuan subcarrier COFDM. Pertama, tabel bagian real dan imajiner diproduksi dalam domain frekuensi dan kemudian, setelah IFFT, tabel untuk $re(t)$ dan $im(t)$ yang disimpan dalam memori downstream. Periode demi periode, simbol COFDM dengan panjang konstan yang tepat dari $t = 1/\Delta f$ kemudian dihasilkan. Di antara simbol-simbol ini, interval penjaga dengan panjang yang ditentukan tetapi sering kali dapat disesuaikan dipertahankan.



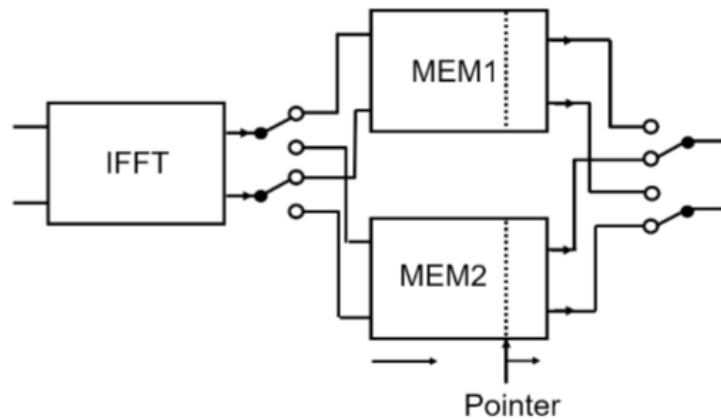
Gambar 18.18. Simbol COFDM dengan interval penjaga

Di dalam interval penjaga ini, peristiwa sementara karena Echo dapat meluruh yang mencegah interferensi antar-simbol. Interval penjaga (Gbr. 19.17.) harus lebih lama dari waktu tunda Echo terpanjang dari sistem transmisi. Pada akhir interval penjagaan, semua kejadian transien seharusnya sudah meluruh. Jika tidak demikian, noise tambahan dihasilkan karena interferensi antarsimbol yang, pada gilirannya, merupakan fungsi sederhana dari intensitas Echo.

Namun, interval penjaga tidak hanya diatur ke nol. Biasanya, akhir dari simbol berikutnya dikunci dengan tepat ke dalam interval waktu ini dan interval penjaga dengan demikian tidak dapat dilihat dalam osilogram manapun. Murni dari sudut pandang pemrosesan sinyal, interval penjaga ini dapat dihasilkan dengan cukup mudah. Sinyal yang dihasilkan setelah IFFT pertama-tama ditulis ke dalam memori dalam hal apa pun dan kemudian dibaca secara bergantian sesuai dengan prinsip pipa. Interval penjaga kemudian dibuat dengan terlebih dahulu membacakan akhir dari masing-masing konten memori kompleks dalam panjang interval penjaga yang sesuai.



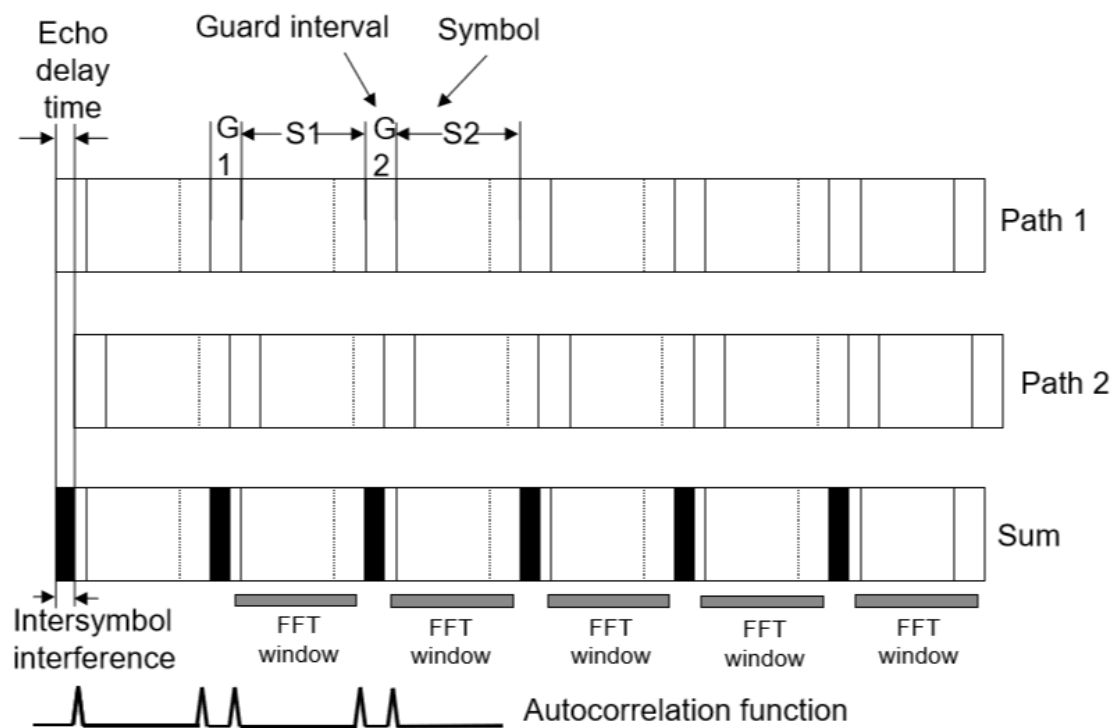
Gambar 18.19. Interval penjaga diisi diakhir simbol berikutnya (CP = cyclic prefix)



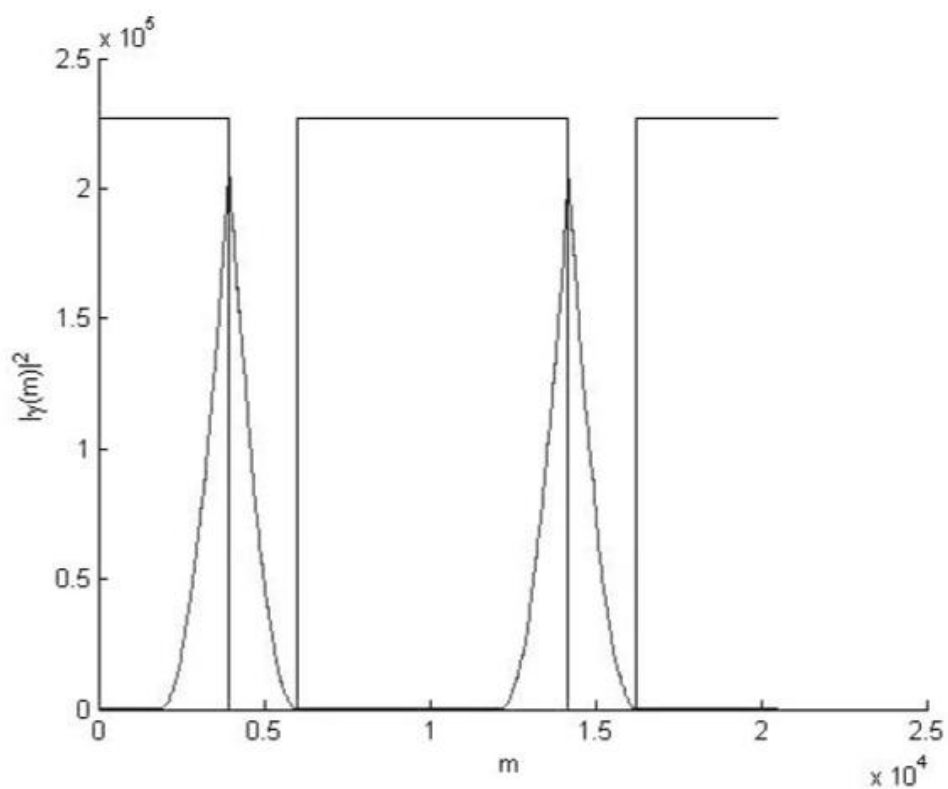
Gambar 18.20. Menghasilkan interval penjaga

Tapi mengapa tidak membiarkan interval penjaga kosong daripada mengisinya dengan akhir simbol berikutnya seperti yang biasa dilakukan? Alasannya didasarkan pada cara penerima COFDM mengunci simbol COFDM. Jika interval penjaga (juga sering disebut CP = cyclic prefix) tidak diisi dengan informasi muatan, penerima harus menekan simbol COFDM tepat di tempat yang tepat yang, bagaimanapun, tidak mungkin lagi dalam praktiknya karena pembulatannya. untuk beberapa Echo selama transmisi.

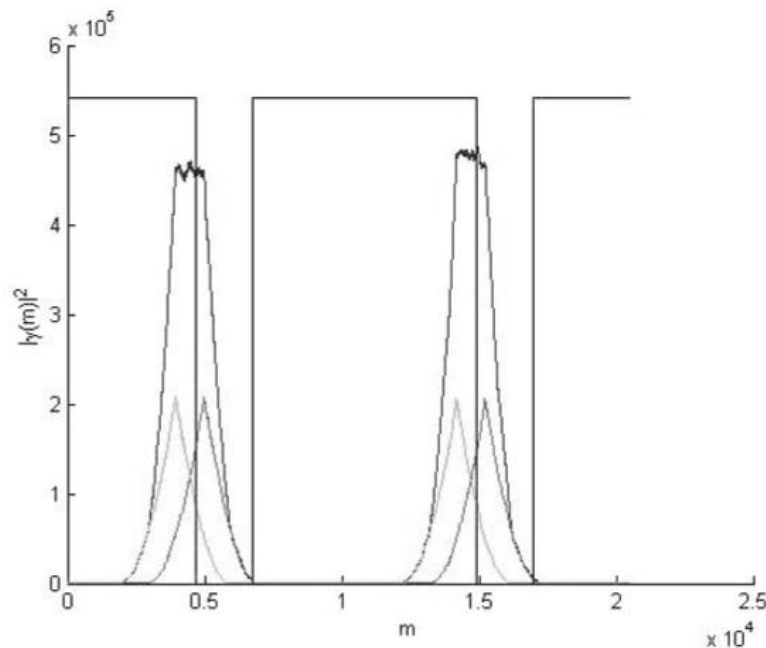
Awal dan akhir simbol hanya bisa dideteksi dengan susah payah dalam kasus ini. Namun, jika misalnya ujung simbol berikutnya diulangi dalam interval penjaga sebelumnya, komponen sinyal yang ada beberapa kali dalam sinyal dapat dengan mudah ditemukan melalui fungsi autokorelasi pada penerima. Ini memungkinkan untuk menemukan awal dan akhir area di dalam simbol yang tidak terpengaruh oleh interferensi antar simbol karena Echo. Gambar 18.21 menunjukkan ini untuk kasus dua jalur penerimaan. Menggunakan fungsi autokorelasi, penerima memposisikan jendela pengambilan sampel FFT-nya, yang memiliki panjang tepat satu simbol, di dalam simbol sedemikian rupa sehingga selalu sejajar dengan area yang tidak terganggu. Dengan demikian, jendela pengambilan sampel tidak diposisikan tepat di atas simbol yang sebenarnya tetapi ini hanya menghasilkan kesalahan fase yang menghasilkan pembalikan semua diagram konstelasi dan harus dihilangkan pada langkah pemrosesan selanjutnya. Namun, kesalahan fase ini menghasilkan rotasi semua diagram konstelasi.



Gambar 18.21. Penerimaan multipath di COFDM



Gambar 18.22. Contoh praktis: fungsi autokorelasi dan posisi jendela FFT, hanya menerima satu jalur sinyal



Gambar 18.23. Contoh praktis: fungsi autokorelasi dan posisi jendela FFT, menerima dua jalur dengan redaman 0dB (Echo 0dB); jumlah fungsi autokorelasi dan fungsi autokorelasi untuk kedua jalur sinyal

Namun, tidak boleh dianggap bahwa interval penjaga dapat digunakan untuk menghilangkan fading. Ini tidak begitu. Tidak ada yang dapat dilakukan terhadap fading selain menambahkan perlindungan kesalahan ke datastream melalui FEC hulu (koreksi kesalahan maju) dan mendistribusikan datastream secara seragam mungkin ke semua subcarrier COFDM di channel transmisi.

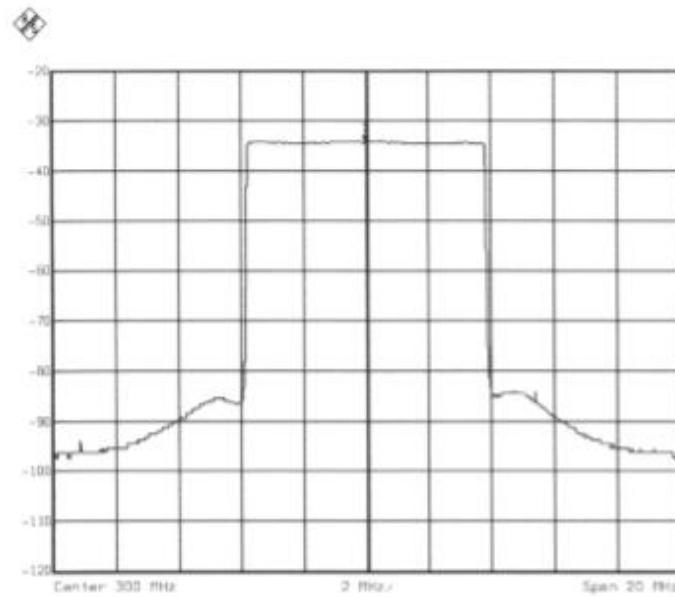
18.4. Sinyal Tambahan dalam Spektrum COFDM

Sampai sekarang hanya dikatakan bahwa dalam multipleks pembagian frekuensi ortogonal, informasi ditambah perlindungan kesalahan didistribusikan melalui banyak subcarrier dan ini kemudian dimodulasi dan ditransmisikan oleh vektor. Ini memberi kesan bahwa setiap operator membawa muatan. Namun, kenyataannya tidak demikian. Dalam semua metode transmisi COFDM yang sudah dikenal (DAB, DVB-T, ISDB-T, WLAN, ADSL), kategori pembawa COFDM berikut dapat ditemukan pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil, atau tidak sama sekali:

- Pembawa muatan
- Operator yang tidak digunakan disetel ke nol
- Pilot tetap
- Pilot yang tersebar yang tidak diperbaiki
- Operator data khusus untuk informasi tambahan

Istilah 'sinyal tambahan' telah sengaja dibuat umum karena, meskipun mereka memiliki fungsi yang sama di mana-mana, mereka memiliki sebutan yang berbeda.

Pada bagian ini, fungsi sinyal tambahan ini dalam spektrum COFDM akan dibahas secara lebih rinci.



Gambar 18.24. Spektrum COFDM DVB-T nyata dengan bahu

Pembawa muatan telah dijelaskan. Mereka mengirimkan data muatan aktual ditambah perlindungan kesalahan dan dimodulasi vektor dalam berbagai cara. Antara lain, modulasi QPSK, 16QAM, 64QAM atau 256QAM yang koheren sering digunakan sebagai modulasi dan gabungan 2, 4, 6 atau 8 bit per pembawa kemudian dipetakan langsung ke pembawa masing-masing. Dalam kasus pengkodean diferensial non-koheren yang juga sering digunakan, informasinya terkandung dalam perbedaan konstelasi pembawa dari satu simbol ke simbol berikutnya. Metode utama adalah DQPSK atau DBPSK. Pengkodean diferensial memiliki keuntungan yaitu 'penyembuhan diri', yaitu setiap kesalahan fase yang mungkin ada dikoreksi secara otomatis, menghemat fasilitas koreksi channel di penerima yang dengan demikian menjadi lebih sederhana. Namun, ini dengan biaya dua kali rasio kesalahan bit dibandingkan dengan pengkodean yang koheren.

Dengan demikian, pembawa data dapat dikodekan sebagai berikut:

- Koheren
- Dikodekan secara berbeda

Pembawa tepi, yaitu pembawa atas dan bawah, tidak digunakan dalam banyak kasus dan disetel ke nol dan tidak membawa informasi sama sekali.

Mereka disebut pembawa informasi nol dan ada dua alasan dasar keberadaan pembawa informasi nol yang tidak digunakan ini:

- Alasan pemrosesan sinyal untuk menghindari aliasing
- Mencegah crosstalk channel yang berdekatan dengan memfasilitasi penyaringan bahu spektrum COFDM ("guard band", Gambar 18.26.)

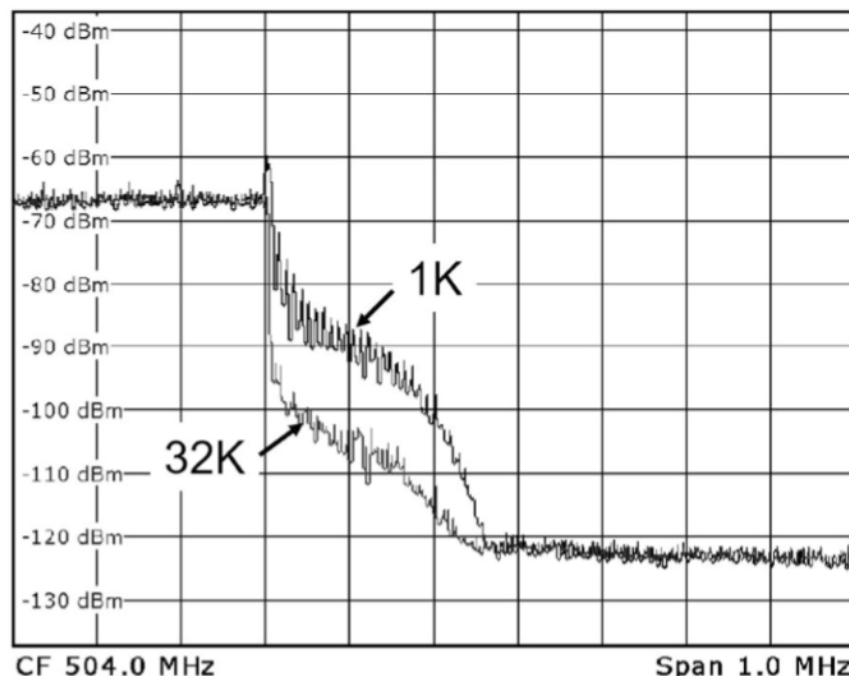
Spektrum COFDM (Gbr. 18.24.) memiliki apa yang disebut 'bahu' yang hanya merupakan hasil dari ekor berbentuk $\sin(x)/x$ dari masing-masing pembawa individu.

Karena alasan matematis, sisa $\sin(x)/x$ yang menyebabkan bahu lebih ditekan dalam mode OFDM yang lebih tinggi di mana lebih banyak operator OFDM digunakan (Gbr. 18.25.). Itu berarti mode OFDM yang lebih tinggi secara otomatis memiliki bahu yang ditekan lebih baik. Itulah alasan untuk mode pembawa yang diperluas di DVB-T2. Bahu ini menyebabkan gangguan pada channel yang berdekatan dan oleh karena itu, perlu untuk meningkatkan apa yang disebut redaman bahu dengan menerapkan langkah-langkah penyaringan yang sesuai. Langkah-langkah penyaringan ini, pada gilirannya, menjadi lebih mudah hanya dengan tidak menggunakan pembawa tepi karena filter tidak perlu terlalu curam dalam kasus ini.

Mengikuti kelipatan integral dari simbol, seringkali juga diperlukan untuk bergabung dengan struktur data input yang juga sering terstruktur dalam blok. Sebuah simbol dapat membawa sejumlah bit tertentu karena pembawa data yang ada dalam simbol tersebut. Struktur data datastream input juga dapat memasok sejumlah bit per blok. Jumlah pembawa muatan dalam simbol kemudian dipilih hanya sedemikian rupa sehingga perhitungan keluar tepat setelah sejumlah blok data dan simbol lengkap. Karena IFFT digunakan, bagaimanapun, perlu untuk memilih pangkat dua sebagai jumlah pembawa yang, setelah mengurangi semua pembawa data dan pembawa pilot, masih meninggalkan pembawa, yaitu pembawa informasi nol.

Kemudian ada juga operator percontohan berikut:

- Operator percontohan dengan posisi tetap dalam spektrum
- Operator percontohan dengan posisi variabel dalam spektrum



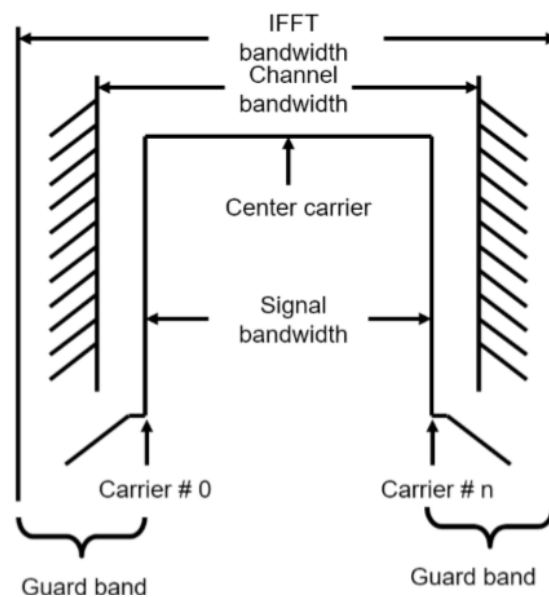
Gambar 18.25. Bahu sinyal COFDM dalam mode 1K dan 32K

Pembawa pilot dengan posisi tetap dalam spektrum digunakan untuk kontrol frekuensi otomatis (AFC) di penerima, yaitu untuk menguncinya ke frekuensi yang ditransmisikan. Pembawa percontohan ini biasanya sinyal cosinusoidal dan dengan

demikian terletak pada sumbu nyata pada posisi amplitudo tetap. Biasanya ada sejumlah pilot tetap seperti itu dalam spektrum. Jika frekuensi penerima tidak terikat dengan frekuensi pancar, semua diagram konstelasi akan berputar juga dalam satu simbol. Di ujung penerima, pilot tetap ini dalam simbol dilewatkan begitu saja dan frekuensi penerima dikoreksi sedemikian rupa sehingga perbedaan fase dari satu pilot tetap ke yang berikutnya dalam simbol menjadi nol.

Pilot dengan posisi variabel dalam spektrum digunakan sebagai sinyal pengukur untuk estimasi channel dan koreksi channel pada ujung penerima dalam kasus modulasi koheren. Bisa dikatakan mereka mewakili sinyal sapuan untuk estimasi channel agar dapat mengukur channel.

Pembawa data khusus dengan informasi tambahan sangat sering digunakan sebagai channel informasi cepat dari pemancar ke penerima untuk menginformasikan penerima perubahan yang dibuat dalam jenis modulasi, mis. beralih dari QPSK ke 256QAM. Dengan cara ini, seringkali semua parameter transmisi arus ditransmisikan dari pemancar ke penerima, mis. dalam DVBT. Kemudian hanya perlu mengatur perkiraan frekuensi penerimaan pada penerima.



Gambar 18.26. Spektrum COFDM menunjukkan bandwidth IFFT, bandwidth channel, bandwidth sinyal, dan pita pelindung

18.5. Modulasi Hirarki

Metode transmisi digital sering kali menunjukkan efek keras 'jatuh-jatuh-tebing' atau 'bata' ketika penerimaan tiba-tiba berhenti karena batas rasio sinyal/noise telah terlampaui. Tentu, ini juga berlaku untuk COFDM. Dalam beberapa metode transmisi COFDM (DVB-T, ISDB-T), yang disebut 'modulasi hierarkis' digunakan untuk melawan efek ini. Ketika modulasi hierarki diaktifkan, informasi ditransmisikan melalui dua metode transmisi yang berbeda dalam satu spektrum COFDM. Salah satu metode transmisi lebih kuat tetapi tidak dapat mendukung kecepatan data yang tinggi. Yang lain kurang kuat tetapi mampu menangani kecepatan data yang lebih tinggi, sehingga memungkinkan untuk mengirim mis. sinyal video yang sama dengan kualitas sinyal

yang lebih buruk dan dengan kualitas sinyal yang lebih baik dalam aliran COFDM yang sama. Di ujung penerima, satu atau metode lain kemudian dapat dipilih dengan memperhatikan kondisi penerimaan. Modulasi hierarkis tidak akan dibahas secara lebih rinci pada saat ini karena ada beberapa pendekatan dan ini tergantung pada standar yang relevan. Pendekatan yang berbeda tersebut adalah:

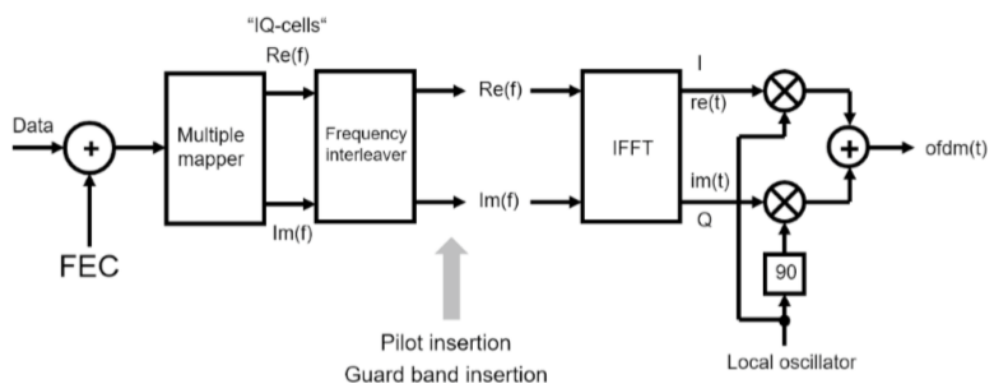
- Modulasi tertanam (modulasi hierarkis dalam DVB-T, multipleks divisi lapisan dalam ATSC3.0)
- Lapisan fisik terdistribusi frekuensi (lapisan ISDB-T)
- Lapisan fisik terdistribusi waktu (konsep PLP di DVB-T2 dan di ATSC3.0)

memungkinkan ketahanan yang berbeda untuk sinyal data yang berbeda

18.6. Ringkasan

Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM, Gbr. 18.27.) adalah metode transmisi yang, alih-alih satu pembawa, menggunakan sejumlah besar subcarrier dalam satu channel transmisi. Ini dirancang khusus untuk karakteristik channel transmisi terestrial yang mengandung banyak Echo dan untuk channel yang memiliki masalah interferensi yang tidak konstan dan tidak dapat diprediksi melalui channel. Informasi yang akan dikirimkan dilengkapi dengan perlindungan kesalahan (multipleks pembagian frekuensi ortogonal berkode - COFDM) dan didistribusikan ke semua subcarrier ini. Subcarrier adalah vektor termulasi dan dalam setiap kasus mengirimkan bagian dari informasi. COFDM menghasilkan simbol yang lebih panjang daripada transmisi pembawa tunggal dan, sebagai hasilnya, dan dengan bantuan interval penjaga, interferensi antar simbol karena Echo dapat dihilangkan. Karena perlindungan kesalahan dan fakta bahwa informasi didistribusikan melalui banyak subcarrier, dimungkinkan untuk memulihkan datastream asli bebas dari kesalahan meskipun memudar karena Echo. Catatan terakhir: Banyak referensi menyebutkan COFDM dan OFDM. Dalam praktiknya, tidak ada perbedaan antara kedua metode tersebut. OFDM adalah bagian dari COFDM. OFDM tidak akan pernah berfungsi tanpa perlindungan kesalahan yang terkandung dalam COFDM.

OFDM adalah jenis modulasi yang ideal untuk menghemat frekuensi dengan membangun jaringan frekuensi tunggal (SFN). OFDM sekarang juga digunakan di 4G/LTE dan 5G-NR.

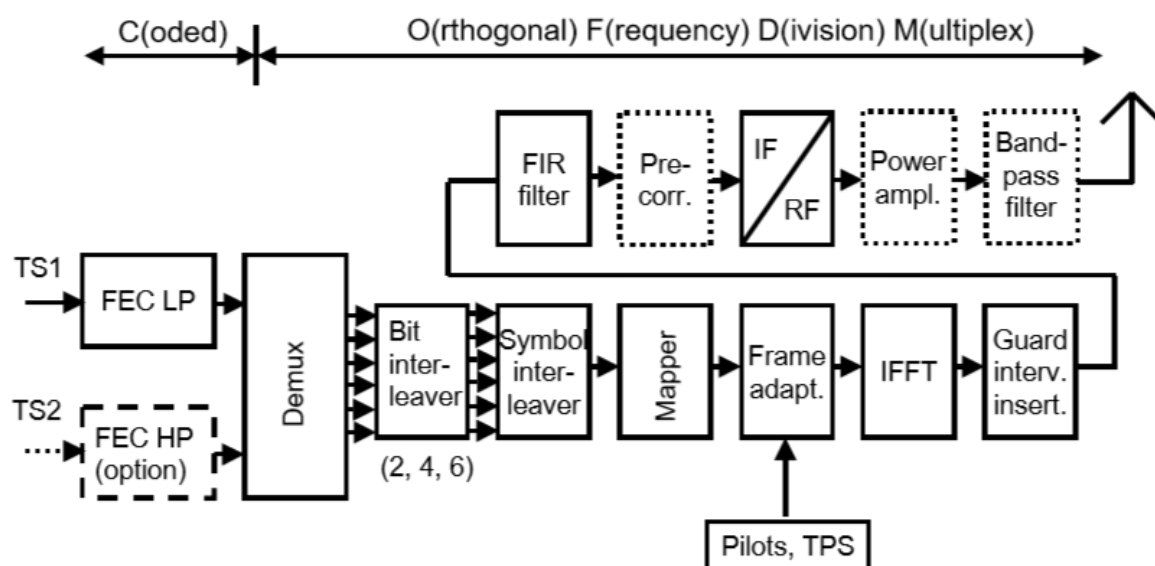


Gambar 18.27. Diagram blok modulator COFDM

BAB 19

TRANSMISI TERESTRIAL PADA SINYAL TELEVISI DIGITAL/ *DIGITAL TELEVISION SIGNALS (DVB-T)*

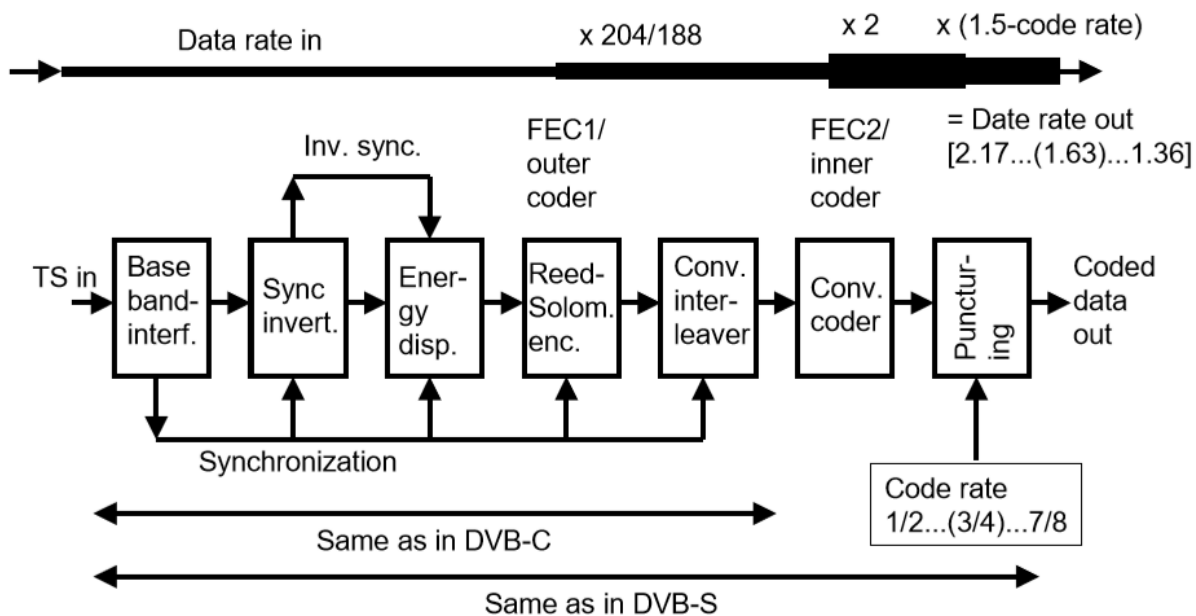
Karakteristik khusus dari channel radio terestrial telah dijelaskan pada bab sebelumnya tentang COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex). Mereka terutama ditentukan oleh penerimaan multipath yang mengarah ke lokasi dan frekuensi selektif fading. Dalam DVB-T, yaitu dalam transmisi terestrial sinyal TV digital menurut standar Penyiaran Video Digital, diputuskan bahwa metode modulasi yang paling tepat untuk mengatasi masalah ini adalah COFDM, prinsip-prinsip yang dijelaskan dalam bab sebelumnya. Gambar 19.1. menunjukkan diagram blok modulator DVB-T, yang terdiri dari modulator COFDM dengan blok IFFT diikuti oleh modulator I/Q yang dapat berupa tipe digital atau analog. Posisi modulator I/Q dalam rangkaian dapat bervariasi tergantung pada bagaimana modulator DVB-T diimplementasikan dalam praktik. Modulasi COFDM didahului oleh pengkodean channel, yaitu koreksi kesalahan, yang persis sama di DVB-T seperti di transmisi satelit DVB-S.



Gambar 19.1. Diagram blok modulator DVB-T – bagian 1

Seperti juga dapat dilihat dari diagram blok, dua masukan aliran transportasi MPEG-2 dimungkinkan yang kemudian menyediakan apa yang disebut modulasi hierarkis. Namun, modulasi hierarkis disediakan sebagai opsi di DVB-T dan belum digunakan secara praktis. Modulasi hierarkis awalnya disediakan untuk mentransmisikan program TV yang sama dengan kecepatan data yang berbeda, koreksi kesalahan yang berbeda, dan kualitas yang berbeda dalam satu channel DVB-T. Jalur HP (prioritas tinggi) mentransmisikan aliran data dengan kecepatan data rendah, yaitu kualitas gambar yang lebih buruk karena kompresi yang lebih tinggi, tetapi memungkinkan perlindungan kesalahan yang lebih baik atau jenis modulasi yang lebih kuat (QPSK) untuk digunakan. Jalur LP (prioritas rendah) digunakan untuk mentransmisikan aliran transportasi MPEG-2 dengan kecepatan data yang lebih tinggi, perlindungan kesalahan yang lebih rendah, dan jenis modulasi orde yang lebih tinggi (16QAM, 64QAM). Di sisi penerima, HP atau LP dapat dipilih tergantung pada kondisi

penerimaan. Modulasi hierarkis dimaksudkan untuk mengurangi dampak, seolah-olah, dari "jatuh dari tebing". Tetapi juga cukup mungkin untuk mentransmisikan dua aliran transportasi yang benar-benar independen. Baik cabang HP dan LP berisi pembuat kode channel yang sama seperti pada DVB-S tetapi, seperti yang telah disebutkan, ini adalah opsi dalam modulator DVB-T, bukan receiver yang memerlukan sedikit pengeluaran tambahan.



Gambar 19.2. Diagram blok modulator DVB-T – bagian 2, FEC

Tidak semua pembawa COFDM di DVB-T adalah pembawa muatan. Ada juga sejumlah besar pengangkut percontohan dan pengangkut khusus. Pembawa khusus ini digunakan untuk sinkronisasi frekuensi, estimasi channel dan koreksi channel, dan untuk menerapkan channel informasi yang cepat. Mereka dimasukkan ke lokasi mereka di spektrum DVB-T sebelum IFFT.

Sebelum membahas standar DVB-T secara lebih rinci, mari tanyakan terlebih dahulu: “Mengapa DVB-T?”

Ada skenario operasional penuh untuk memasok televisi digital melalui satelit dan kabel, yang keduanya dapat diakses oleh banyak rumah tangga di seluruh dunia. Lalu mengapa perlu lagi, jalur terestrial, mis. melalui DVB-T yang mana, selain itu, rumit dan mahal dan mungkin memerlukan banyak perawatan? Cakupan tambahan dengan televisi terestrial digital diperlukan karena alasan:

- Persyaratan regional (infrastruktur historis, tidak ada penerimaan satelit)
- Situasi geografis regional
- Penerimaan TV portabel
- Penerimaan TV seluler
- Layanan kota tambahan lokal (televisi regional/perkotaan)

Banyak negara di dunia tidak memiliki liputan TV satelit, atau hanya tidak memadai, karena alasan politik, geografis, atau lainnya yang paling beragam. Dalam banyak kasus, cakupan pengganti dengan kabel juga tidak mungkin, karena mis. permafrost dan juga sering tidak

dapat dibiayai karena kepadatan penduduk yang jarang. Ini hanya menyisakan cakupan terestrial. Negara-negara yang jauh dari khatulistiwa seperti di Skandinavia secara alami memiliki lebih banyak masalah dengan penerimaan satelit sejak, mis. antena penerima satelit hampir mengarah ke tanah. Ada juga banyak negara yang sebelumnya tidak memiliki penerimaan satelit analog sebagai standar seperti Australia dimana penerimaan satelit hanya memainkan peran kecil. Pusat-pusat populasi di sana tercakup secara terestrial dan melalui kabel atau satelit. Di banyak negara, tidak diizinkan untuk berkumpul dalam berbagai program TV yang tidak terkendali dari langit karena alasan politik. Bahkan wilayah di Eropa Tengah dengan jangkauan satelit dan kabel yang baik memerlukan jangkauan TV terestrial tambahan, terutama untuk program TV lokal yang tidak disiarkan melalui satelit. Dan penerimaan portabel dan seluler hampir hanya dimungkinkan melalui jalur terestrial.

20.1. Standar DVB-T

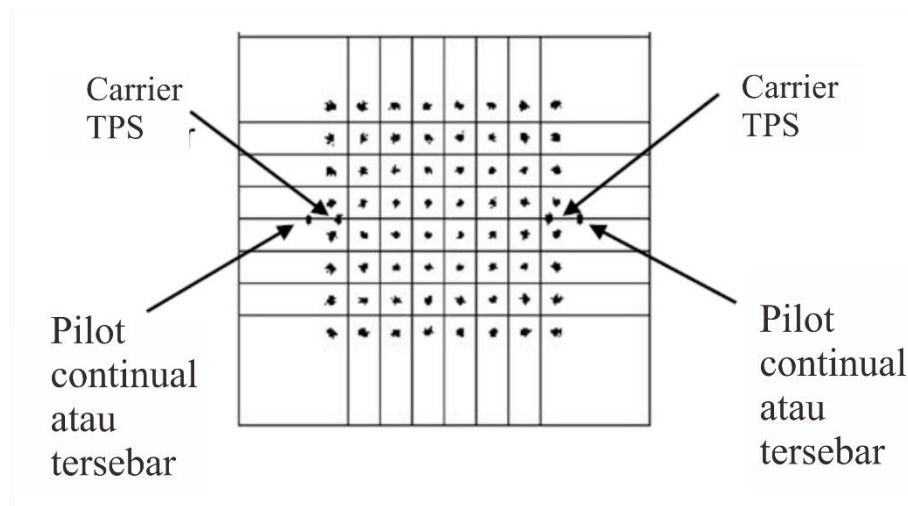
Pada tahun 1995, standar terestrial untuk transmisi program TV digital ditetapkan dalam ETS 300744 sehubungan dengan proyek DVB-T. Channel DVB-T dapat memiliki bandwidth 8, 7 atau 6 MHz. Ada dua mode operasi yang berbeda: mode 2K dan mode 8K di mana 2K adalah singkatan dari IFFT 2046 poin dan 8K adalah singkatan dari IFFT 8192 poin. Seperti yang sudah diketahui dari bab tentang COFDM, jumlah subcarrier COFDM harus pangkat dua. Di DVB-T, diputuskan untuk menggunakan simbol dengan panjang sekitar 250 s (mode 2K) atau 1 ms (mode 8K). Tergantung pada persyaratan, satu atau mode lainnya dapat dipilih. Mode 2K memiliki jarak subcarrier yang lebih besar sekitar 4 kHz tetapi periode simbol jauh lebih pendek. Dibandingkan dengan mode 8K dengan jarak subcarrier sekitar 1 kHz, ini jauh lebih rentan terhadap penyebaran dalam domain frekuensi yang disebabkan oleh efek doppler karena penerimaan seluler dan beberapa gema tetapi jauh lebih rentan terhadap penundaan gema yang lebih besar. Dalam jaringan frekuensi tunggal, misalnya, mode 8K akan selalu dipilih karena kemungkinan jarak pemancar yang lebih besar. Dalam penerimaan seluler, mode 2K lebih baik karena jarak subcarrier yang lebih besar. Standar DVB-T memungkinkan kontrol yang fleksibel dari parameter transmisi.

Terlepas dari panjang simbol, yang merupakan hasil dari penggunaan mode 2K atau 8K, interval penjaga juga dapat disesuaikan dalam rentang $1/4$ hingga $1/32$ dari panjang simbol. Dimungkinkan untuk memilih jenis modulasi (QPSK, 16QAM atau 64QAM)). Perlindungan kesalahan (FEC) dirancang agar sama dengan standar satelit DVB-S. Transmisi DVB-T dapat disesuaikan dengan persyaratan terkait ketahanan atau kecepatan data bersih dengan menyesuaikan kecepatan kode ($1/2 \dots 7/8$).

Selain itu, standar DVB-T menyediakan pengkodean hierarkis sebagai opsi. Dalam pengkodean hierarkis, modulator memiliki dua input aliran transportasi dan dua FEC yang dapat dikonfigurasi secara independen tetapi identik. Idenya adalah untuk menerapkan sejumlah besar koreksi kesalahan ke aliran transportasi dengan kecepatan data rendah dan kemudian mengirimkannya dengan jenis modulasi yang sangat kuat. Jalur aliran transportasi ini kemudian disebut jalur prioritas tinggi (HP). Aliran transportasi kedua memiliki kecepatan data yang lebih tinggi dan ditransmisikan dengan koreksi kesalahan yang lebih sedikit dan, mis. modulasi 64QAM dan jalurnya disebut jalur prioritas rendah (LP). Kemudian akan mungkin, mis. untuk memasukkan paket

program yang identik ke pengkodean MPEG, sekali pada kecepatan data yang lebih tinggi dan sekali pada kecepatan data yang lebih rendah, dan untuk menggabungkan dua paket dalam dua paket multipleks yang diangkut dalam aliran transportasi independen. Kecepatan data yang lebih tinggi secara otomatis berarti kualitas (gambar) yang lebih baik. Aliran data dengan kecepatan data yang lebih rendah dan dengan demikian kualitas gambar yang lebih rendah diumpankan ke jalur prioritas tinggi dan yang dengan kecepatan data lebih tinggi dipasok ke jalur prioritas rendah. Di sisi penerima, sinyal prioritas tinggi didemodulasi lebih mudah daripada sinyal prioritas rendah. Tergantung pada kondisi penerimaan, jalur HP atau jalur LP akan dipilih di ujung penerima. Jika penerimaan buruk, setidaknya masih akan ada penerimaan karena kecepatan data yang lebih rendah dan kompresi yang lebih tinggi, meskipun kualitas gambar dan suara lebih rendah.

Dalam DVB-T, modulasi COFDM yang koheren digunakan, yaitu pembawa muatan dipetakan secara mutlak dan tidak dikodekan secara berbeda. Namun, ini memerlukan estimasi dan koreksi channel yang menyediakan banyak sinyal pilot dalam spektrum DVB-T dan digunakan sebagai sinyal uji untuk estimasi channel.



Gambar 19.3. Operator DVB-T: operator muatan, Pilot Berkelanjutan dan Tersebar, operator TPS

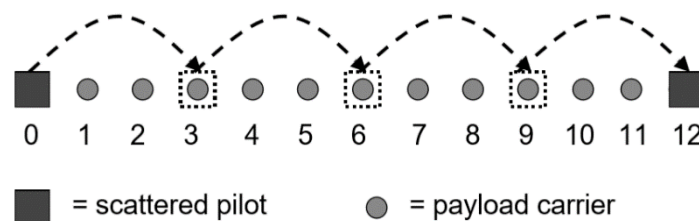
20.2. Operator DVB-T

Dalam DVB-T, IFFT dengan 2048 atau 8192 poin digunakan. Secara teori, 2048 atau 8192 operator kemudian akan tersedia untuk transmisi data. Namun, tidak semua operator ini digunakan sebagai pembawa muatan. Dalam mode 8K, ada 6048 pembawa muatan dan dalam mode 2K ada 1512. Dengan demikian, mode 8K memiliki empat kali lebih banyak pembawa muatan daripada mode 2K tetapi karena laju simbol lebih tinggi dengan faktor tepat 4 di Mode 2K, kedua mode akan selalu memiliki kecepatan data yang sama, mengingat kondisi transmisi yang sama. DVB-T berisi jenis pembawa berikut:

- Operator tidak aktif dengan posisi tetap (diatur ke nol amplitudo)
- Pembawa muatan dengan posisi tetap
- Pilot terus menerus dengan posisi tetap

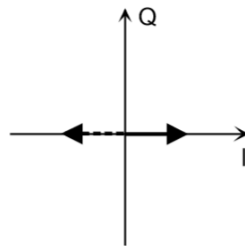
- Pilot yang tersebar dengan perubahan posisi dalam spektrum
- Operator TPS dengan posisi tetap

Arti kata 'pembawa muatan' jelas: ini hanyalah pembawa yang digunakan untuk transmisi data yang sebenarnya. Pembawa tepi di tepi channel atas dan bawah diatur ke nol, yaitu mereka tidak aktif dan tidak membawa modulasi sama sekali, yaitu amplitudonya nol. Pilot terus-menerus terletak pada sumbu nyata, yaitu sumbu I (dalam-fase), baik pada 0 derajat atau pada 180 derajat dan memiliki amplitudo yang ditentukan. Pilot terus-menerus didorong oleh 3 dB dibandingkan dengan daya sinyal rata-rata dan digunakan di penerima sebagai referensi fase dan untuk kontrol frekuensi otomatis (AFC), yaitu untuk mengunci frekuensi terima ke frekuensi transmisi. Pilot tersebar tersebar di seluruh spektrum channel DVB-T dari simbol ke simbol dan hampir merupakan sinyal sapuan untuk estimasi channel. Di dalam setiap simbol, ada pilot yang tersebar di setiap kapal induk ke-12. Setiap pilot yang tersebar melompat ke depan dengan tiga posisi pembawa pada simbol berikutnya, yaitu dalam setiap kasus dua pembawa muatan perantara tidak akan pernah menjadi pilot yang tersebar sedangkan mereka yang berada di setiap posisi ke-3 dalam spektrum kadang-kadang adalah pembawa muatan dan kadang-kadang pilot yang tersebar. Pilot yang tersebar juga berada pada sumbu I pada 0 derajat dan 180 derajat dan memiliki amplitudo yang sama dengan pilot kontinu.



Gambar 19.4. Perubahan posisi Pilot Terserak

Pembawa TPS terletak pada posisi frekuensi tetap. Misalnya, operator No. 50 adalah operator TPS. TPS adalah singkatan dari Transmisi Parameter Signalling. Pembawa ini mewakili hampir channel informasi cepat melalui mana pemancar menginformasikan penerima tentang parameter transmisi saat ini. Mereka adalah DBPSK (diferensial bi-phase shift keying) termodulasi dan terletak pada sumbu I baik pada 0 derajat atau 180 derajat. Mereka dikodekan secara berbeda, yaitu informasi yang terkandung dalam perbedaan antara satu dan simbol berikutnya. Semua pembawa TPS dalam satu simbol membawa informasi yang sama, yaitu semuanya berada pada 0 derajat atau semuanya pada 180 derajat pada sumbu I. Di ujung penerima, posisi pembawa TPS yang benar dari 0 derajat atau 180 derajat kemudian ditentukan oleh suara mayoritas untuk setiap simbol dan kemudian digunakan untuk demodulasi. DBPSK berarti bahwa nol ditransmisikan ketika keadaan pembawa TPS berubah dari satu simbol ke simbol berikutnya, dan satu jika fase pembawa TPS tidak berubah dari satu simbol ke simbol berikutnya. Informasi TPS lengkap disiarkan melalui 68 simbol dan terdiri dari 67 bit. Segmen lebih dari 68 simbol ini disebut bingkai dan pilot yang tersebar di dalam bingkai ini juga melompati channel DVB-T dari awal channel sampai ke ujung channel.



Gambar 19.5. Operator TPS termodulasi DBPSK

17 dari 68 bit TPS digunakan untuk inisialisasi dan sinkronisasi, 13 bit adalah perlindungan kesalahan, 22 bit digunakan saat ini dan 13 bit dicadangkan untuk aplikasi masa depan. Tabel 19.1. menjelaskan bagaimana operator TPS digunakan.

Dengan demikian, operator TPS terus memberi informasi kepada penerima tentang:

- Modus (2K, 8K)
- Panjang interval penjaga (1/4, 1/8, 1/16, 1/32)
- Jenis modulasi (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- Tingkat kode (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)
- Penggunaan pengkodean hierarkis

Namun, penerima seharusnya sudah menentukan mode (2K, 8K) dan panjang interval penjaga yang sebenarnya tidak berarti sebagai informasi TPS.

Tabel 19.1. Alokasi bit dari operator TPS

Symbol number	Format	Purpose/content
s ₀		Initialization
s ₁ - s ₁₆	0011010111101110 or 1100101000010001	Synchronization word
s ₁₇ - s ₂₂	010 111	Length indicator
s ₂₃ , s ₂₄		Frame number
s ₂₅ , s ₂₆		Constellation 00=QPSK/01=16QAM/10=64QAM
s ₂₇ , s ₂₈ , s ₂₉		Hierarchy information 000=Non hierarchical, 001= $\alpha=1$, 010= $\alpha=2$, 011= $\alpha=4$
s ₃₀ , s ₃₁ , s ₃₂		Code rate, HP stream 000=1/2, 001=2/3, 010=3/4, 011=5/6, 100=7/8
s ₃₃ , s ₃₄ , s ₃₅		Code rate, LP stream 000=1/2, 001=2/3, 010=3/4, 011=5/6, 100=7/8
s ₃₆ , s ₃₇		Guard interval 00=1/32, 01=1/16, 10=1/8, 11=1/4
s ₃₈ , s ₃₉		Transmission mode 00=2K, 01=8K
s ₄₀ - s ₅₃	all set to "0"	Reserved for future use
s ₅₄ - s ₆₇	BCH code	Error protection

Pada Gambar 19.3, posisi pilot dan kapal induk TPS dapat dilihat dengan jelas pada diagram konstelasi 64QAM. Dua titik luar pada sumbu I sesuai dengan posisi pilot terus-menerus dan pilot tersebar. Dua titik dalam pada sumbu I adalah pembawa TPS.

Posisi pilot tetap dan pembawa TPS dalam spektrum dapat dilihat dari tabel 19.2. dan 19.3. Dalam tabel ini, nomor pembawa terdaftar di mana pilot terus-menerus dan operator TPS dapat ditemukan. Penghitungan dimulai pada nomor pembawa nol yang merupakan pembawa bukan nol pertama di awal channel.

Berbagai jenis pembawa yang digunakan dalam DVB-T diringkas secara singkat sebagai berikut. Dari 2048 operator dalam mode 2K, hanya 1705 operator yang digunakan dan yang lainnya disetel ke nol. Di dalam 1705 kapal induk ini terdapat 1512 pembawa muatan yang dapat berupa QPSK, 16QAM atau 64QAM termodulasi, 142 pilot tersebar, 45 pilot berkelanjutan dan 17 pembawa TPS.

Tabel 21.2. Posisi pembawa dari Continual Pilots

2K mode	8K mode
0 48 54 87 141 156	0 48 54 87 141 156 192 201 255 279 282 333 432 450
192 201 255 279 282	483 525 531 618 636 714 759 765 780 804 873 888 918
333 432 450 483 525	939 942 969 984 1050 1101 1107 1110 1137 1140 1146
531 618 636 714 759	1206 1269 1323 1377 1491 1683 1704 1752 1758 1791
765 780 804 873 888	1845 1860 1896 1905 1959 1983 1986 2037 2136 2154
918 939 942 969 984	2187 2229 2235 2322 2340 2418 2463 2469 2484 2508
1050 1101 1107 1110	2577 2592 2622 2643 2646 2673 2688 2754 2805 2811
1137 1140 1146 1206	2814 2841 2844 2850 2910 2973 3027 3081 3195 3387
1269 1323 1377 1491	3408 3456 3462 3495 3549 3564 3600 3609 3663 3687
1683 1704	3690 3741 3840 3858 3891 3933 3939 4026 4044 4122
	4167 4173 4188 4212 4281 4296 4326 4347 4350 4377
	4392 4458 4509 4515 4518 4545 4548 4554 4614 4677
	4731 4785 4899 5091 5112 5160 5166 5199 5253 5268
	5304 5313 5367 5391 5394 5445 5544 5562 5595 5637
	5643 5730 5748 5826 5871 5877 5892 5916 5985 6000
	6030 6051 6054 6081 6096 6162 6213 6219 6222 6249
	6252 6258 6318 6381 6435 6489 6603 6795 6816

Tabel 22.3. Posisi Carrier dari Operator TPS

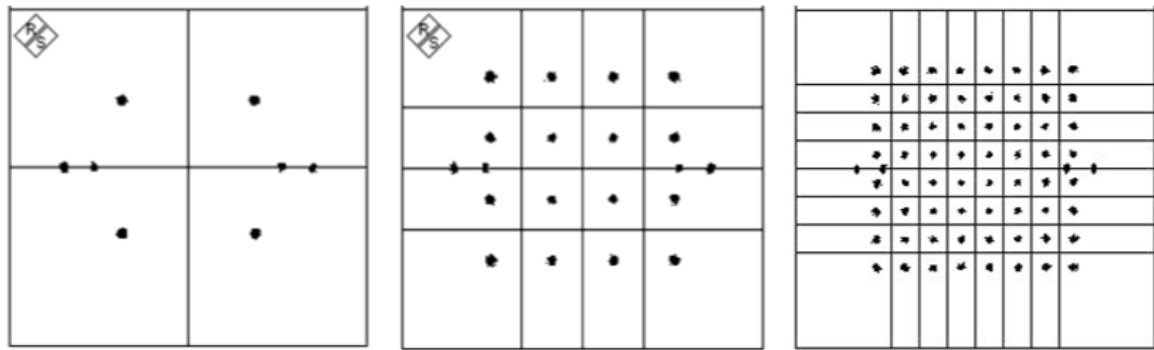
2K mode	8K mode
34 50 209 346 413 569 595	34 50 209 346 413 569 595 688 790 901
688 790 901 1073 1219 1262	1073 1219 1262 1286 1469 1594 1687 1738
1286 1469 1594 1687	1754 1913 2050 2117 2273 2299 2392 2494
	2605 2777 2923 2966 2990 3173 3298 3391
	3442 3458 3617 3754 3821 3977 4003 4096
	4198 4309 4481 4627 4670 4694 4877 5002
	5095 5146 5162 5321 5458 5525 5681 5707
	5800 5902 6013 6185 6331 6374 6398 6581
	6706 6799

Beberapa pilot yang tersebar kadang-kadang bertepatan dengan posisi pilot yang terus-menerus, itulah sebabnya nomor 131 harus digunakan untuk menghitung pembawa muatan yang sebenarnya dalam kasus pilot yang tersebar dalam mode 2K. Kondisi dalam mode 8K sebanding. Di sini juga, tidak semua 8192 pengangkut digunakan tetapi hanya 6817 di antaranya, pada gilirannya, hanya 6048 pengangkut muatan yang sebenarnya. Sisanya adalah penerbang tersebar (568), penerbang tetap (177) dan pengangkut TPS (68). Seperti sebelumnya, angka 524 harus digunakan untuk pilot yang tersebar dalam menghitung pembawa muatan karena terkadang pilot yang tersebar akan bertepatan dengan pilot yang terus-menerus. Setiap pembawa ke-12 dalam simbol adalah pilot yang tersebar. Dengan demikian mudah untuk menghitung jumlah pilot yang tersebar dengan membagi jumlah operator yang benar-benar digunakan dengan 12 ($1705/12 = 142$, $6817/12 = 568$).

Tabel 19.4. Jumlah operator berbeda di DVB-T

2K mode	8K mode	
2048	8192	Carrier
1705	6817	used carrier
142/131	568/524	Scattered pilots
45	177	Continual pilots
17	68	TPS carrier
1512	6048	payload carrier

Pembawa muatan dimodulasi QPSK, 16QAM atau 64QAM dan mengirimkan aliran transportasi MPEG-2 yang dilindungi kesalahan. Gambar 19.6. menunjukkan diagram konstelasi untuk QPSK, 16QAM dan 64QAM dengan posisi pembawa khusus dalam kasus modulasi non-hierarki.

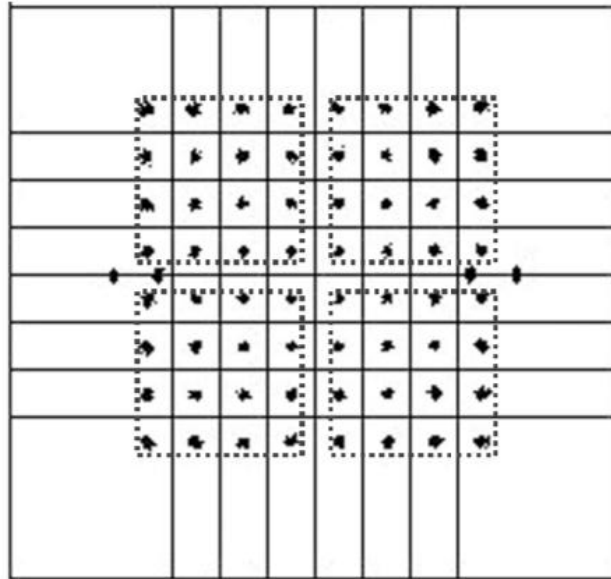


Gambar 19.6. Diagram konstelasi DVB-T untuk QPSK, 16QAM dan 64QAM

20.3. Modulasi Hirarki

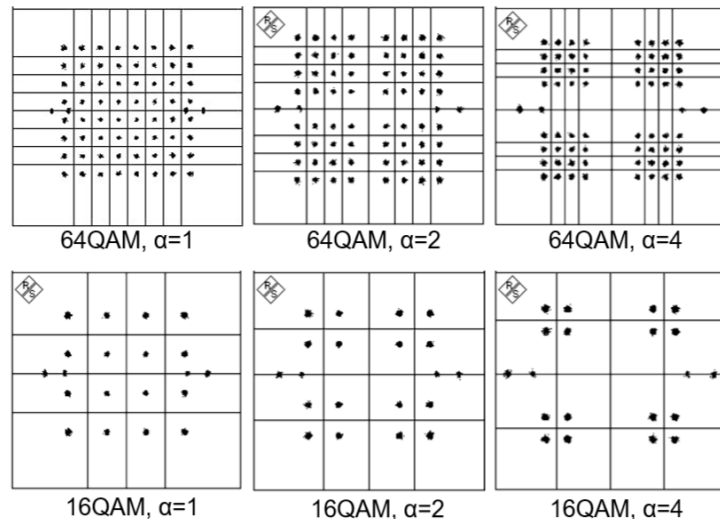
Untuk memastikan penerimaan yang andal tetap terjamin bahkan dalam kondisi buruk, modulasi hierarkis disediakan sebagai opsi di DVB-T. Tanpa itu, mis. rasio sinyal/kebisingan yang terlalu buruk akan menyebabkan "jatuh dari tebing" yang keras, atau dikenal sebagai 'efek dinding bata'. Dalam hal transmisi DVB-T yang sering digunakan dengan modulasi 64QAM dan laju kode 3/4 atau 2/3, batas penerimaan yang stabil adalah pada rasio sinyal/gangguan di bawah 20 dB. Pada bagian ini, rincian modulasi/coding hierarki akan dijelaskan lebih lengkap. Jika modulasi hierarkis digunakan, modulator DVB-T memiliki dua input aliran transportasi dan dua blok FEC. Satu aliran transportasi dengan kecepatan data rendah dimasukkan ke dalam apa yang disebut jalur prioritas tinggi (HP) dan dilengkapi dengan sejumlah besar perlindungan kesalahan, mis. dengan memilih kode rate 1/2. Aliran transportasi kedua dengan kecepatan data yang lebih tinggi dipasok secara paralel dengan jalur prioritas rendah (LP) dan dilengkapi dengan perlindungan kesalahan yang lebih sedikit, mis. dengan kode rate 3/4.

Pada prinsipnya, baik aliran transportasi HP dan LP dapat berisi program yang sama tetapi pada kecepatan data yang berbeda, yaitu dengan jumlah kompresi yang berbeda. Namun, keduanya juga dapat membawa muatan yang sama sekali berbeda. Pada jalur prioritas tinggi, QPSK digunakan yang merupakan jenis modulasi yang sangat kuat. Pada jalur prioritas rendah, diperlukan tingkat modulasi yang lebih tinggi karena kecepatan data yang lebih tinggi. Dalam DVB-T, pembawa muatan individu tidak dimodulasi dengan berbagai jenis modulasi. Sebaliknya, setiap pembawa muatan mentransmisikan bagian dari LP dan HP. Jalur prioritas tinggi ditransmisikan sebagai apa yang disebut QPSK tertanam di 16QAM atau 64QAM. Gambar 19.7. menunjukkan kasus QPSK tertanam di 64QAM. Informasi LP dibawa oleh titik konstelasi diskrit dan HP dijelaskan oleh kuadran. Awan 8 kali 8 titik di kuadran secara keseluruhan dengan demikian sesuai secara virtual dengan total titik konstelasi QPSK di kuadran ini.



Gambar 19.7. QPSK tertanam di 64QAM dengan modulasi hierarkis

Sebuah modulasi 64QAM memungkinkan 6 bit per simbol untuk ditransmisikan. Namun, karena informasi kuadran, seperti QPSK, mengalihkan 2 bit per simbol untuk aliran HP, hanya 4 bit per simbol yang tersisa untuk transmisi aliran LP. Dengan demikian, kecepatan data kotor untuk LP dan HP memiliki rasio tetap 4:2 satu sama lain. Selain itu, kecepatan data bersih tergantung pada kecepatan kode yang digunakan. QPSK tertanam di 16QAM juga dimungkinkan. Rasio antara kecepatan data kotor LP dan HP adalah 2:2. Untuk membuat QPSK dari jalur prioritas tinggi lebih kuat, yaitu kurang rentan terhadap interferensi, diagram konstelasi dapat disebar pada sumbu I dan sumbu Q. Faktor dari 2 atau 4 meningkatkan jarak antara kuadran individu dari diagram 16QAM atau 64QAM. Semakin tinggi α , semakin tidak sensitif jalur prioritas tinggi dan semakin sensitif jalur prioritas rendah karena titik konstelasi diskrit bergerak lebih dekat satu sama lain. Gambar 19.8. menunjukkan 6 kemungkinan konstelasi dengan modulasi hierarki, yaitu 64QAM dengan $\alpha = 1, 2, 4$ dan 16QAM dengan $\alpha = 1, 2, 4$. Informasi tentang ada tidaknya modulasi hierarkis dan faktor serta laju kode untuk LP dan HP ditransmisikan dalam pembawa TPS. Informasi ini dievaluasi di penerima yang secara otomatis menyesuaikan demappernya. Keputusan untuk mendemodulasi HP atau LP di penerima dapat dibuat secara otomatis tergantung pada kondisi penerimaan saat ini (tingkat kesalahan bit channel) atau diserahkan kepada pengguna untuk memilih secara manual. Modulasi hierarkis disediakan sebagai opsi dalam chipset dan dekoder DVB-T modern karena, dalam praktiknya, tidak diperlukan perangkat keras tambahan. Namun, di banyak receiver DVB-T, tidak ada perangkat lunak yang disediakan untuk opsi ini karena saat ini tidak digunakan di negara mana pun. Pada awal tahun 2002, modulasi hierarkis diuji dalam uji lapangan di Australia tetapi saat ini juga tidak digunakan di sana.



Gambar 19.8. Kemungkinan Konstelasi dengan modulasi hierarkis

20.4. Parameter Sistem DVB-T Channel 8/7/6 MHz

Dalam paragraf berikut, parameter sistem DVB-T akan diturunkan dan dijelaskan secara rinci. Parameter ini adalah:

$$f_{\text{sample}} \text{ IFFT } 8\text{MHz} = 64/7 \text{ MHz} = 9.142857143 \text{ MHz.}$$

Dari parameter dasar ini, semua parameter sistem lainnya dapat diturunkan, yaitu parameter channel 8/7 dan 6 MHz. Frekuensi pengambilan sampel IFFT adalah laju pengambilan sampel dari simbol COFDM atau, masing-masing, bandwidth di mana semua subcarrier 2K (= 2048) dan 8K (= 8192) dapat diakomodasi. Namun, banyak dari 2048 atau 8192 subcarrier ini disetel ke nol dan lebar pita sinyal DVB-T harus lebih sempit daripada channel lebar sebenarnya 8, 7 atau 6 MHz. Seperti yang akan terlihat, bandwidth sinyal channel 8 MHz hanya sekitar 7,6 MHz dan dengan demikian ada ruang sekitar 200 kHz antara bagian atas dan bawah channel ini dan channel yang berdekatan.

7,6 MHz ini berisi 6817 atau 1705 operator yang benar-benar digunakan. Dalam kasus channel 7 atau 6 MHz, frekuensi pengambilan sampel IFFT channel ini dapat dihitung dari frekuensi pengambilan sampel IFFT channel 6 MHz dengan mengalikannya dengan 7/8 atau 6/8, masing-masing.

$$f_{\text{sample}} \text{ IFFT } 7\text{MHz} = 64/7 \text{ MHz} \cdot 7/8 = 8 \text{ MHz};$$

$$f_{\text{sample}} \text{ IFFT } 6\text{MHz} = 64/7 \text{ MHz} \cdot 6/8 = 48/7 \text{ MHz} = 6.857142857 \text{ MHz};$$

Semua 2048 atau 8192 operator IFFT di channel 8/7 dan 6 MHz dapat ditemukan dalam bandwidth IFFT ini. Dari bandwidth atau frekuensi sampling ini, masing-masing jarak subcarrier dapat dengan mudah diturunkan dengan membagi bandwidth $f_{\text{sample}} \text{ IFFT}$ dengan jumlah subcarrier IFFT:

$$\Delta f = f_{\text{sample}} \text{ IFFT} / N_{\text{total_carriers}};$$

$$\Delta f_{2k} = f_{\text{sample}} \text{ IFFT} / 2048;$$

$$\Delta f_{8k} = f_{\text{sample IFFT}} / 8192;$$

Oleh karena itu, jarak subcarrier COFDM dalam channel DVB-T dengan lebar 8, 7 atau 6 MHz dalam mode 2K dan 8K adalah:

Tabel 19.5. Spasi subcarrier dalam mode 2K dan 8K

Channel bandwidth	Δf pada mode 2K	Δf pada mode 8K
8 MHz	4.464285714 kHz	1.116071429 kHz
7 MHz	3.90625 kHz	0.9765625 kHz
6 MHz	3.348214275 kHz	0.8370535714 kHz

Dari jarak subcarrier, panjang simbol Δt_{symbol} dapat ditentukan secara langsung. Karena kondisi ortogonalitas, maka:

$$\Delta t_{\text{symbol}} = 1/\Delta f$$

Oleh karena itu, panjang simbol dalam berbagai mode dan bandwidth channel di DVB-T adalah:

Tabel 19.6. Durasi simbol dalam mode 2K dan 8K

Channel bandwidth	Δt_{symbol} pada mode 2K	Δt_{symbol} pada mode 8K
8 MHz	224 μ s	896 ms
7 MHz	256 μ s	1.024 ms
6 MHz	298.7 μ s	1.194 ms

Bandwidth sinyal DVB-T diperoleh dari jarak subcarrier f dari masing-masing channel (8, 7, 6 MHz) dan jumlah operator yang sebenarnya digunakan dalam mode 2K dan 8K (1705 dan 6817).

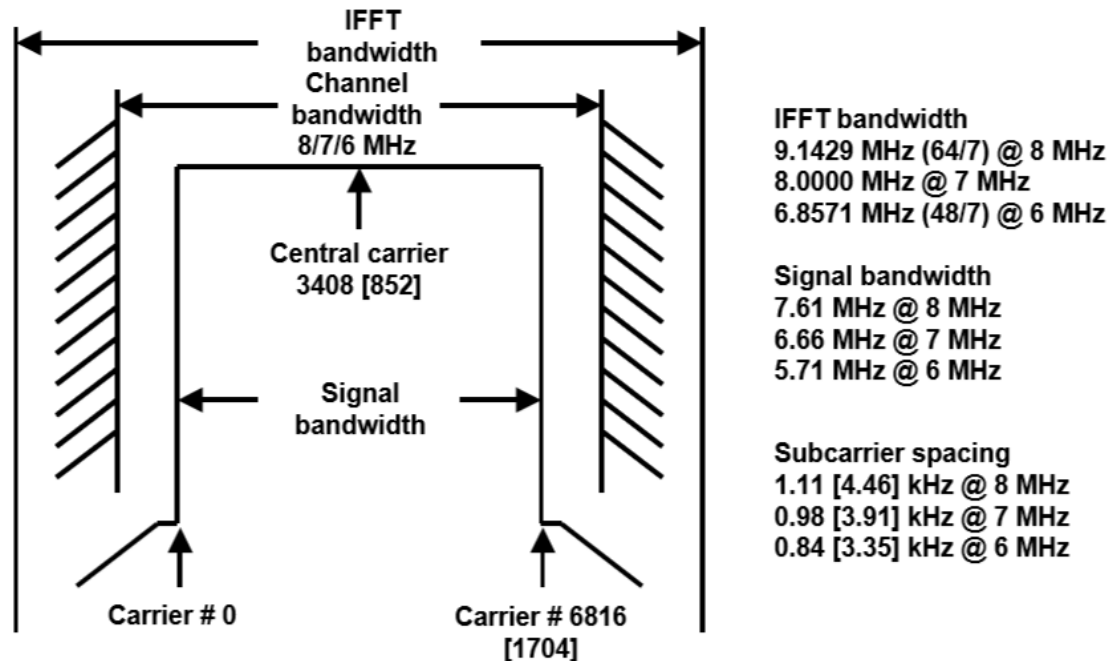
$$f_{\text{signal DVB-T}} = N_{\text{used_carriers}} \cdot \Delta f;$$

Tabel 19.7. Bandwidth Sinyal di DVB-T

Channel bandwidth	$F_{\text{signal DVB-T}}$	$F_{\text{signal DVB-T}}$
8 MHz	7.612 MHz	7.608 MHz
7 MHz	6.661 MHz	6.657 MHz
6 MHz	5.709 MHz	5.706 MHz

Pada prinsipnya, ada dua cara menghitung subcarrier COFDM dari channel DVB-T. Operator dapat dihitung dari 0 hingga 2047 atau dari 0 hingga 8192 sesuai dengan jumlah operator IFFT atau penghitungan dapat dimulai dengan nomor operator nol pada operator pertama yang benar-benar digunakan dalam mode masing-masing. Metode penghitungan terakhir adalah yang lebih umum, menghitung dari 0 hingga 1704 dalam mode 2K dan dari 0 hingga 6816 dalam mode 8K. Pada Gambar 19.9. kemudian posisi spektrum channel DVB-T ditampilkan dan parameter sistem DVB-T yang paling penting diringkaskan lagi. Gambar 19.9. juga menunjukkan nomor operator pusat yang

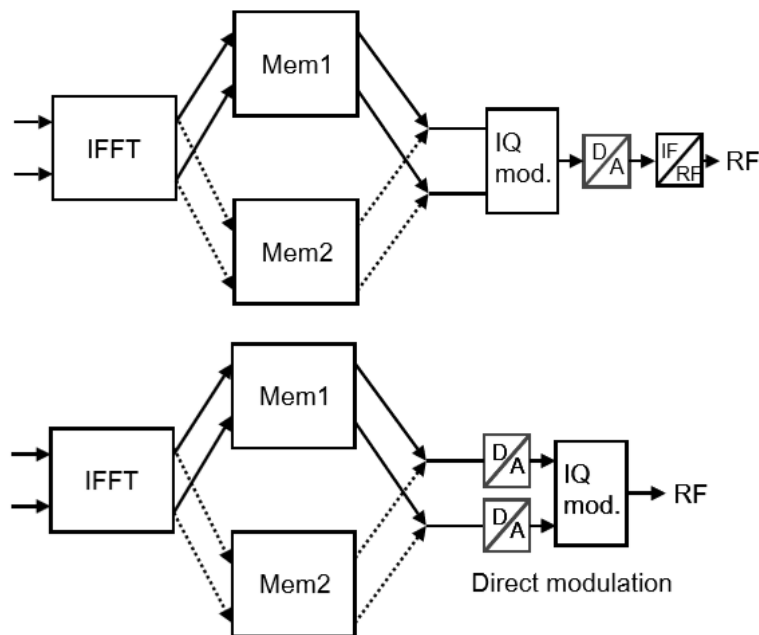
sangat penting dalam pengujian. Nomor operator 3408 ini dalam mode 8K dan 852 dalam mode 2K sesuai dengan pusat persis channel DVB-T. Beberapa efek yang dapat disebabkan oleh modulator DVB-T hanya dapat diamati pada saat ini. Nilai yang diberikan dalam tanda kurung siku pada Gambar berlaku untuk mode 2K (mis.: 3408 [852]) dan yang lainnya berlaku untuk mode 8K



Gambar 19.9. Spektrum sinyal DVB-T dalam mode 8K dan [2K] channel 8/7/6 MHz

20.5. Modulator dan Pemancar DVB-T

Setelah membahas standar DVB-T dan semua parameter sistemnya secara rinci, modulator dan pemancar DVB-T sekarang dapat didiskusikan. Modulator DVB-T dapat memiliki satu atau dua input aliran transportasi diikuti oleh koreksi kesalahan maju (FEC) dan ini hanya tergantung pada apakah modulator ini mendukung modulasi hierarki atau tidak. Jika modulasi hierarkis digunakan, kedua tahap FEC sepenuhnya independen satu sama lain tetapi sepenuhnya identik sejauh menyangkut konfigurasinya. Satu jalur aliran transportasi dengan FEC disebut jalur prioritas tinggi (HP) dan jalur lainnya adalah jalur prioritas rendah (LP). Karena kedua tahap FEC benar-benar identik dengan FEC dari standar satelit DVB-S, dibahas dalam bab yang relevan (Bab 14), mereka tidak perlu dibahas secara rinci di sini.



Gambar 19.11. Kemungkinan implementasi modulator DVB-T

Modulator mengunci ke aliran transportasi, hadir pada input aliran transportasi, di antarmuka pita dasar. Ini menggunakan byte sinkronisasi yang memiliki nilai konstan 0x47 pada interval 188 byte. Untuk membawa juga cap waktu jangka panjang dalam aliran transportasi, setiap byte sinkronisasi kedelapan kemudian dibalik dan menjadi 0xB8. Ini diikuti oleh tahap penyebaran energi yang disinkronkan oleh byte sinkronisasi terbalik ini baik di ujung transmisi maupun di ujung penerima. Setelah ini, kontrol kesalahan awal dilakukan di encoder Reed Solomon. Paket TS sekarang diperluas dengan perlindungan kesalahan 16 byte. Setelah pengkodean blok ini, aliran data disisipkan agar dapat memecah ledakan kesalahan selama deinterleaving di ujung penerima. Dalam encoder convolutional, perlindungan kesalahan tambahan ditambahkan yang dapat dikurangi lagi pada tahap penusukan.

Hingga saat ini, jalur HP dan LP benar-benar identik tetapi mungkin memiliki tingkat kode yang berbeda. Data yang dikendalikan kesalahan dari jalur HP dan LP, atau data dari satu jalur TS dalam kasus modulasi non-hierarki, kemudian diteruskan ke demultiplexer di mana mereka kemudian dibagi menjadi 2, 4 atau 6 aliran data keluar tergantung pada jenis modulasi (2 jalur untuk QPSK, 4 untuk 16QAM dan 6 untuk 64QAM). Aliran data yang dibagi kemudian melewati sedikit interleaver di mana blok sepanjang 126-bit terbentuk yang kemudian disisipkan pada setiap jalur. Dalam simbol interleaver berikut, blok kemudian dicampur lagi blok demi blok dan aliran data yang dikendalikan kesalahan didistribusikan secara seragam di seluruh channel. Kontrol kesalahan yang memadai dan distribusi yang baik melalui channel DVB-T adalah prasyarat agar COFDM berfungsi dengan benar. Bersama-sama, ini kemudian menjadi COFDM - Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex. Setelah itu, semua pembawa muatan kemudian dipetakan tergantung pada apakah modulasi hierarkis atau nonhierarkis digunakan, dan pada faktor menjadi = 1, 2 atau 4. Hal ini menghasilkan dua tabel, yaitu untuk bagian real $\text{Re}(f)$ dan bahwa untuk bagian imajiner $\text{Im}(f)$. Namun, mereka juga mengandung celah di mana pilot dan pembawa TPS kemudian dimasukkan

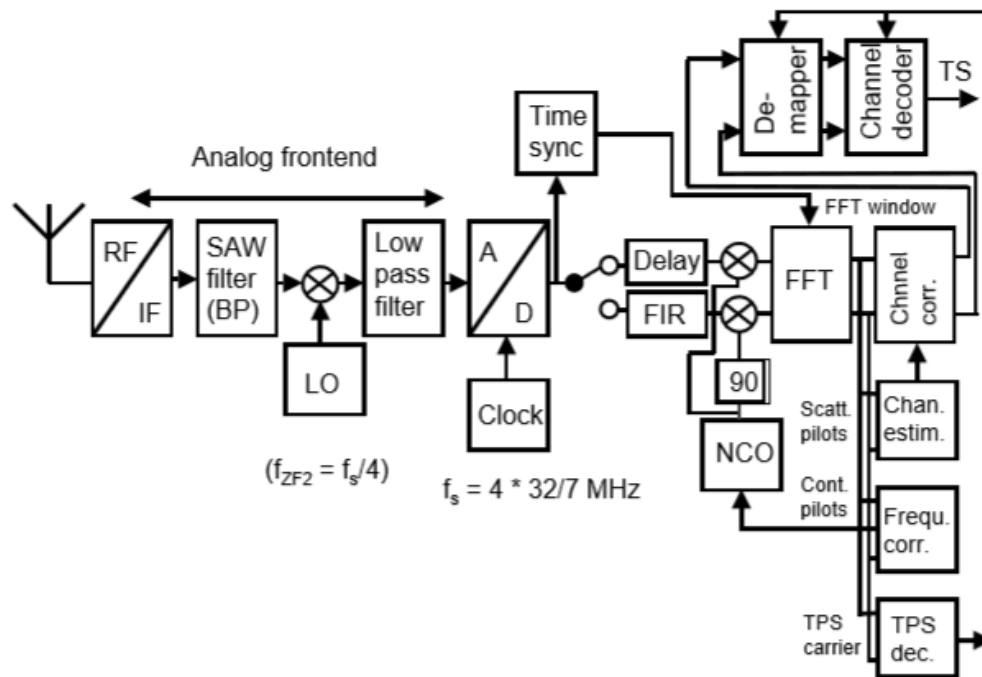
oleh blok adaptasi bingkai. Tabel lengkap, masing-masing terdiri dari 2048 dan 8192 nilai, kemudian dimasukkan ke jantung modulator DVB-T, blok IFFT.

Setelah itu, sinyal COFDM yang tersedia dipisahkan menjadi bagian real dan imajiner dalam domain waktu. Nilai 2048 dan 8192, masing-masing, untuk bagian nyata dan imajiner dalam domain waktu kemudian disimpan sementara dalam buffer yang diatur di sepanjang garis prinsip pipa. Yaitu, mereka secara bergantian ditulis ke dalam satu buffer sementara yang lain sedang dibacakan. Selama pembacaan, ujung buffer dibacakan terlebih dahulu sebagai akibatnya terbentuk interval penjaga. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang bagian ini, referensi khusus dibuat untuk bab tentang COFDM. Sinyal kemudian biasanya difilter secara digital pada level I/Q temporal (filter FIR) untuk memberikan redaman bahu yang lebih baik.

Sinyal sekarang disamakan sebelumnya dalam pemancar daya untuk mengkompensasi nonlinier dalam tahap output. Pada saat yang sama ia dipotong untuk membatasi sinyal DVB-T sehubungan dengan faktor puncaknya karena jika tidak, tahap keluaran dapat dihancurkan karena faktor puncak yang sangat tinggi dari sinyal COFDM karena amplitudonya yang sangat tinggi dan sangat rendah. .

Posisi modulator I/Q tergantung pada bagaimana modulator atau pemancar DVB-T diimplementasikan dalam praktik. Sinyal adalah digital/analog yang dikonversi secara terpisah untuk I dan Q pada level I/Q dan kemudian dipasok ke modulator I/Q analog yang memungkinkan pencampuran langsung ke RF sesuai dengan prinsip modulasi langsung, prinsip yang umum digunakan saat ini. . Pendekatan lainnya adalah tetap pada tingkat digital hingga dan termasuk modulator I/Q dan kemudian melakukan konversi D/A.

Ini, bagaimanapun, memerlukan tahap konverter lebih lanjut dari frekuensi menengah yang lebih rendah ke RF akhir yang lebih kompleks dan biaya lebih dan, oleh karena itu, biasanya dihindari hari ini. Di sisi lain, keuntungan ini diperoleh dengan mengorbankan karakteristik yang mungkin tidak menyenangkan dari modulator I/Q analog, yang keberadaannya hampir selalu dapat dideteksi dalam sinyal keluaran. Mengingat implementasi yang benar, bagaimanapun, adalah mungkin untuk mengelola modulasi langsung dari baseband ke RF.



Gambar 19.12. Diagram blok penerima DVB-T (bagian 1)

20.6. Penerima DVB-T

Orang mungkin berpikir bahwa modulator DVB-T adalah perangkat yang agak rumit tetapi ujung penerima bahkan lebih rumit. Namun, karena kepadatan pengepakan IC modern yang tinggi, sebagian besar modul penerima DVB-T (Gbr. 19.12.) dapat diakomodasi dalam satu chip saat ini.

Modul pertama dari receiver DVB-T adalah tuner. Ini digunakan untuk mengubah RF channel DVB-T ke JIKA. Dalam konstruksinya, tuner DVB-T hanya berbeda karena dituntut untuk memiliki karakteristik noise fase yang jauh lebih baik. Tuner diikuti oleh channel DVB-T di pusat pita 36 MHz. Ini juga sesuai dengan pusat pita channel TV analog dengan bandwidth 8 MHz. Namun, pada televisi analog, semuanya mengacu pada frekuensi pembawa visi yaitu 38,9 MHz pada frekuensi menengah. Dalam televisi digital, yaitu di DVB-S, DVB-C dan juga di DVB-T, frekuensi pusat channel yang dianggap sebagai frekuensi channel. Pada frekuensi menengah, sinyal difilter bandpass ke bandwidth 8, 7 atau 6 MHz, menggunakan filter gelombang akustik permukaan (SAW). Dalam rentang frekuensi ini, filter dapat diimplementasikan dengan mudah dengan karakteristik yang diperlukan untuk DVB-T. Setelah penyaringan bandpass ini, channel yang berdekatan ditekan ke tingkat yang dapat diterima. Filter SAW memiliki pergeseran fasa minimum, yaitu tidak ada distorsi penundaan grup, hanya amplitudo dan riak penundaan grup.

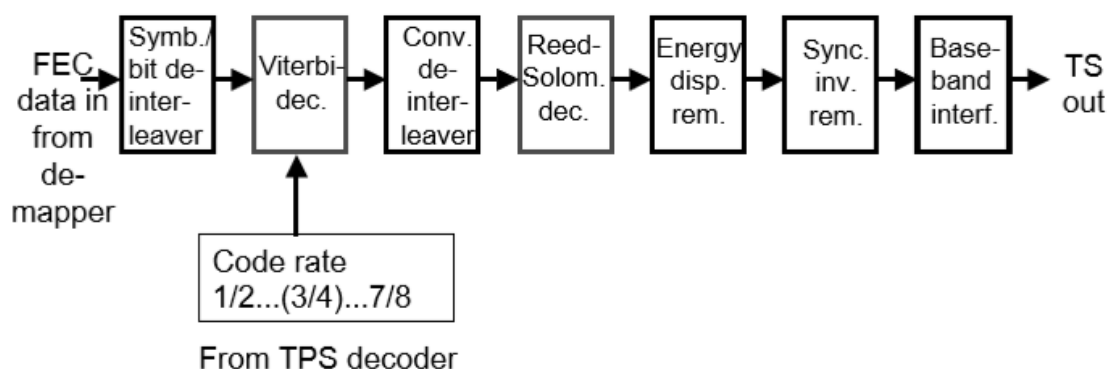
Pada langkah berikutnya, sinyal DVB-T diubah menjadi IF kedua yang lebih rendah pada kira-kira 5MHz. Ini sering merupakan JIKA $32/7 \text{ MHz} = 4,571429 \text{ MHz}$. Setelah tahap pencampuran ini, semua komponen sinyal di atas setengah frekuensi sampling kemudian ditekan dengan bantuan filter low-pass untuk menghindari efek aliasing. Ini diikuti oleh konversi analog/digital. Konverter A/D biasanya memiliki clock tepat empat kali IF kedua, yaitu pada $4 \cdot 32/7 = 18.285714 \text{ MHz}$. Ini diperlukan agar dapat

menggunakan apa yang disebut metode $f_s/4$ untuk demodulasi I/Q dalam modulator DVB-T (lihat bab tentang modulasi I/Q). Mengikuti konverter A/D, aliran data, yang sekarang tersedia dengan kecepatan data sekitar 20 Megawords/dtk, antara lain dipasang ke tahap sinkronisasi waktu. Pada tahap ini, autokorelasi digunakan untuk mendapatkan informasi sinkronisasi. Menggunakan autokorelasi, komponen sinyal terdeteksi yang ada dalam sinyal beberapa kali dan dengan cara yang sama. Karena dalam interval penjaga, akhir simbol berikutnya diulang sebelum setiap simbol yang ada, fungsi autokorelasi akan memasok sinyal identifikasi di area interval penjaga dan di area simbol. Fungsi autokorelasi kemudian digunakan untuk memposisikan jendela pengambilan sampel FFT ke dalam area interval penjaga plus simbol bebas dari interferensi antar-simbol dan sinyal kontrol pemosisian ini diumpankan ke dalam prosesor FFT di penerima DVB-T.

Sejalan dengan sinkronisasi waktu, aliran data yang berasal dari konverter A/D dibagi menjadi dua aliran data oleh sakelar pengubah. Misalnya, sampel bernomor ganjil masuk ke cabang atas dan yang bernomor genap masuk ke cabang bawah, menghasilkan dua aliran data dengan setengah kecepatan data dalam setiap kasus. Namun, aliran ini diimbangi satu sama lain dengan setengah siklus jam pengambilan sampel. Untuk menghilangkan offset ini, nilai antara diinterpolasi dengan menggunakan filter FIR, mis. di cabang bawah. Filter ini, pada gilirannya, menyebabkan penundaan dasar, mis. 30 periode jam atau lebih yang harus direplikasi di cabang atas dengan menggunakan register geser sederhana. Kedua aliran data kemudian diumpankan ke mixer kompleks yang disuplai dengan pembawa oleh osilator yang dikontrol secara numerik (NCO). Mixer ini dan NCO kemudian digunakan untuk mengoreksi frekuensi sinyal DVB-T tetapi karena osilator kurang akurat, penerima juga harus dikunci ke frekuensi yang ditransmisikan melalui kontrol frekuensi otomatis (AFC). Ini dilakukan oleh AFC yang mengevaluasi pilot berkelanjutan setelah Fast Fourier Transform (FFT). Jika frekuensi penerima berbeda dari frekuensi yang ditransmisikan, semua diagram konstelasi akan berputar kurang lebih cepat searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Arah rotasi hanya tergantung pada apakah deviasinya positif atau negatif dan kecepatannya tergantung pada besarnya kesalahan. Hal ini kemudian hanya diperlukan untuk mengukur posisi pilot terus-menerus dalam diagram konstelasi. Satu-satunya faktor yang menarik sehubungan dengan koreksi frekuensi adalah perbedaan fase pilot terus-menerus dari simbol ke simbol, tujuannya adalah untuk mengurangi perbedaan fase ini menjadi nol. Perbedaan fasa adalah variabel yang dikendalikan langsung untuk AFC, yaitu frekuensi NCO diubah sampai perbedaan fasa menjadi nol. Rotasi diagram konstelasi kemudian dihentikan dan penerima dikunci ke frekuensi yang ditransmisikan.

Blok pemrosesan sinyal FFT, jendela pengambilan sampel yang dikendalikan oleh sinkronisasi waktu, mengubah simbol COFDM kembali ke domain frekuensi, menyediakan kembali 2048 atau 8192 bagian nyata dan imajiner. Namun, ini belum sesuai langsung dengan konstelasi pembawa. Karena jendela pengambilan sampel FFT tidak ditempatkan tepat di atas simbol yang sebenarnya, ada pergeseran fase di semua subcarrier COFDM, yaitu semua diagram konstelasi dipelintir. Ini berarti bahwa pilot yang terus-menerus dan tersebar tidak lagi terletak pada sumbu nyata, tetapi di suatu tempat di lingkaran, jari-jarinya sesuai dengan amplitudo pilot ini. Selanjutnya, distorsi

channel harus diperkirakan karena gempa atau respons amplitudo atau penundaan grup. Ini, pada gilirannya, berarti bahwa diagram konstelasi juga dapat terdistorsi dalam amplitudonya dan dapat juga dipelintir ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil. Namun, sinyal DVB-T membawa sejumlah besar sinyal pilot yang dapat digunakan sebagai sinyal pengukur untuk estimasi channel dan koreksi channel di penerima. Selama periode dua belas simbol, pilot yang tersebar akan berhenti di setiap posisi pembawa ketiga, yaitu informasi tentang distorsi di channel tersedia di setiap posisi pembawa ketiga. Mengukur amplitudo dan distorsi fase dari pilot terus-menerus dan tersebar memungkinkan fungsi koreksi untuk channel yang akan dihitung, memutar diagram konstelasi kembali ke posisi nominalnya. Selain itu, distorsi amplitudo dihilangkan dan diagram konstelasi dikompresi atau diperluas sedemikian rupa sehingga pilot berhenti pada posisi yang benar pada posisi nominalnya pada sumbu nyata.



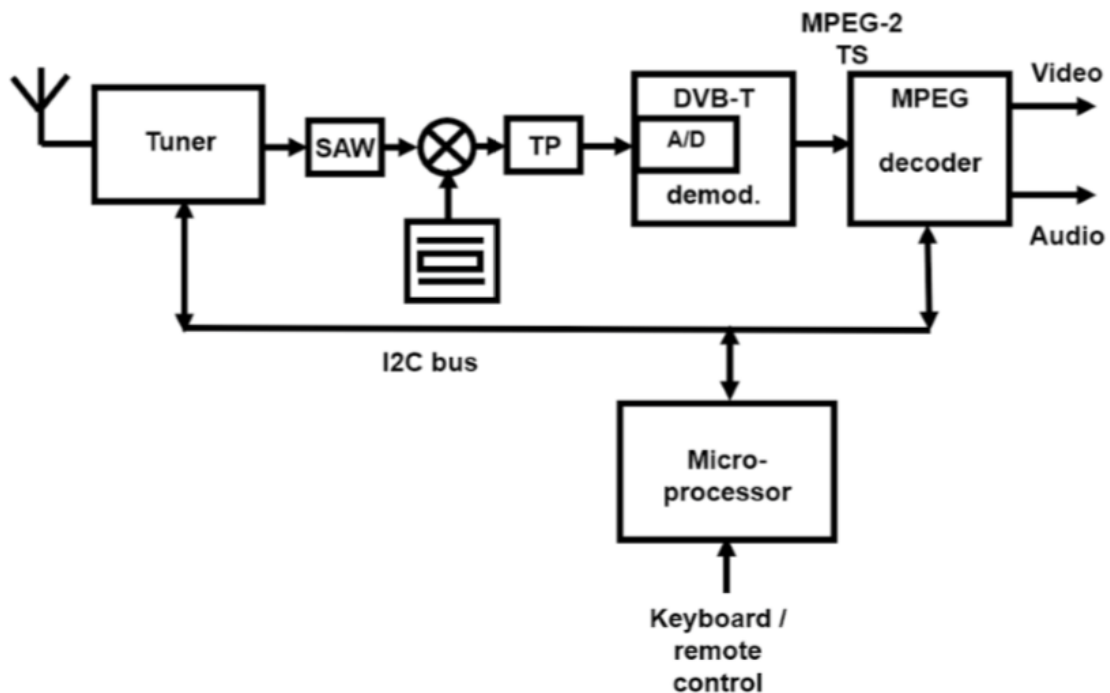
Gambar 19.13. Diagram blok penerima DVB-T (bagian 2), decoding channel

Mengetahui tentang pengoperasian estimasi dan koreksi channel sangat penting untuk memahami masalah pengujian di DVB-T. Dari data estimasi channel, dimungkinkan untuk menyimpulkan baik sejumlah besar informasi pengujian di penerima uji DVB-T (fungsi transfer channel, respons impuls, dll.) dan masalah dalam modulator DVB-T (modulator I/Q, pembawa pusat).

Sejalan dengan koreksi channel, pembawa TPS didekodekan di channel yang tidak dikoreksi. Pembawa pensinyalan parameter transmisi tidak memerlukan koreksi channel karena dikodekan secara berbeda, modulasi pembawa TPS menjadi DBPSK (diferensial bi-phase shift keying). Setiap simbol berisi sejumlah besar pembawa TPS dan setiap pembawa membawa informasi yang sama. Masing-masing bit yang akan didekode ditentukan oleh decoding diferensial sehubungan dengan simbol sebelumnya dan dengan pemungutan suara mayoritas dalam simbol. Selain itu, informasi TPS dilindungi dari kesalahan. Oleh karena itu, informasi TPS dapat dievaluasi dengan benar untuk transmisi DVB-T sebelum ambang batas "jatuh dari tebing" tercapai. Informasi TPS dibutuhkan oleh de-mapper setelah koreksi channel, dan juga oleh decoder channel. Pembawa TPS memungkinkan untuk memperoleh jenis modulasi yang dipilih saat ini (QPSK, 16QAM atau 64QAM) dan informasi tentang keberadaan modulasi hierarkis. De-mapper kemudian disetel ke jenis modulasi yang benar, yaitu tabel de-mapping yang benar dimuat. Jika modulasi hierarkis disediakan, keputusan tentang jalur mana (prioritas tinggi (HP) atau prioritas rendah (LP)) yang akan didekode harus dibuat

dengan bergantung pada rasio kesalahan bit channel, baik secara manual atau otomatis. Setelah demapper, aliran data tersedia lagi dan disediakan untuk decoding channel.

Terlepas dari simbol dan bit de-interleaver, dekoder channel dikonfigurasi persis sama dengan standar TV satelit DVB-S. Data yang didepetakan lolos dari de-mapper ke dalam simbol dan bit de-interleaver di mana mereka digunakan dan dimasukkan ke dalam dekoder Viterbi. Di lokasi di mana bit telah ditusuk, bit dummy dimasukkan lagi. Ini ditangani dengan cara yang mirip dengan bit yang salah oleh dekoder Viterbi yang kemudian mencoba untuk memperbaiki kesalahan pertama sesuai dengan metode yang diketahui dari dekoder teralis.

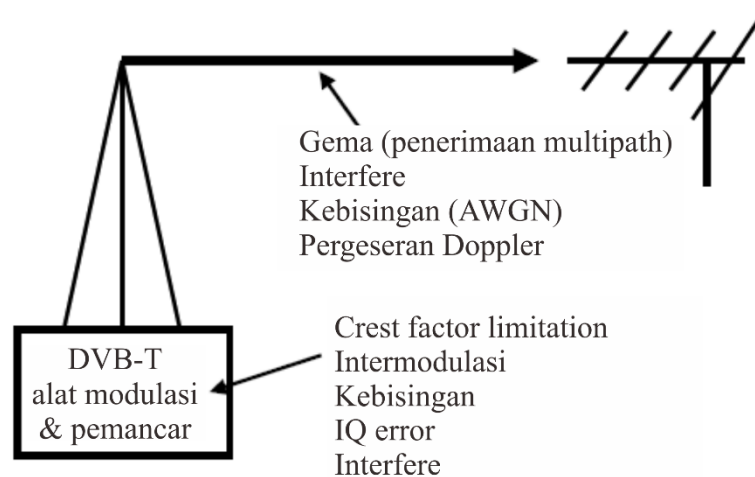


Gambar 19.14. Diagram blok penerima DVB-T

Dekoder Viterbi diikuti oleh deinterleaver convolutional yang memecah ledakan kesalahan dengan membatalkan interleaving. Ini memudahkan decoder Reed Solomon untuk memperbaiki kesalahan bit. Decoder Reed Solomon mengoreksi kesalahan hingga 8 bit per paket dengan bantuan 16 byte kontrol kesalahan. Jika ada lebih dari 8 kesalahan per paket, 'indikator kesalahan transportasi' diatur ke satu dan kemudian paket aliran transportasi ini tidak dapat diproses lebih lanjut dalam dekoder MPEG dan penyamaran kesalahan harus dilakukan. Selain itu, penyebaran energi kemudian harus dibatalkan. Tahap ini disinkronkan dengan byte sinkronisasi terbalik dan inversi byte sinkronisasi ini juga harus dibatalkan, setelah itu aliran transportasi MPEG-2 tersedia lagi. Receiver DVB-T praktis (Gbr. 19.14.) hanya memiliki beberapa komponen terpisah seperti tuner, filter SAW, osilator pencampur untuk IF ke-2 dan filter low-pass. Ini diikuti oleh chip demodulator DVB-T yang berisi semua modul demodulator DVB setelah konverter A/D. Aliran transport yang keluar dari demodulator DVB-T diumpankan ke dekoder MPEG hilir di mana ia diterjemahkan kembali menjadi video dan audio. Semua modul ini dikendalikan oleh mikroprosesor melalui bus I2C. Setiap TV layar datar dilengkapi penerima DVB-T.

20.7. Interferensi pada Tautan Transmisi DVB-T dan Efeknya

Jalur transmisi terestrial tunduk pada banyak pengaruh (Gbr. 19.15.). Selain derau Gaussian putih aditif, ini terutama banyak gema, yaitu penerimaan multi-jalur yang membuat jenis transmisi ini sangat bermasalah. Penerimaan terestrial mudah atau sulit tergantung pada situasi gema.

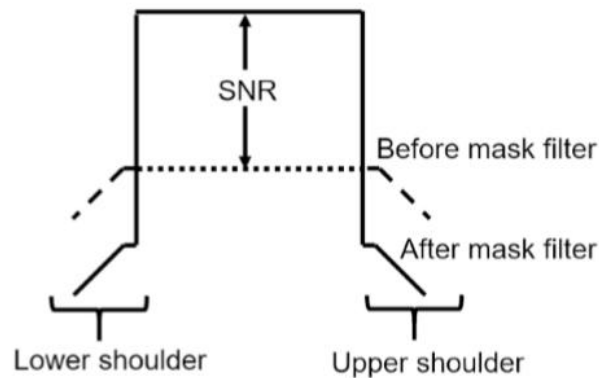


Gambar 19.15. Gangguan pada tautan transmisi DVB-T

Kualitas link transmisi juga ditentukan oleh modulator dan pemancar DVB-T. Faktor puncak transmisi COFDM yang tinggi menghasilkan persyaratan khusus bahkan di ujung transmisi. Secara teori, faktor puncak, yaitu rasio antara amplitudo puncak maksimum dan nilai RMS sinyal DVB-T adalah urutan besarnya 35 hingga 41 dB tetapi tidak mungkin untuk mengoperasikan penguat daya praktis dengan puncak ini. faktor. Cepat atau lambat, mereka akan mengarah pada kehancurannya. Oleh karena itu, dalam praktiknya, faktor puncak dibatasi sekitar 12 hingga 13 dB sebelum sinyal DVB-T diumpankan ke penguat daya. Namun, hal ini menyebabkan redaman bahu yang buruk pada sinyal DVB-T dan, sebagai tambahan, noise in-band dengan urutan besarnya yang sama dengan redaman bahu dihasilkan karena intermodulasi dan modulasi silang. Redaman bahu kemudian sekitar 38...40 dB. Untuk membawa redaman bahu ini kembali ke urutan besarnya yang wajar, filter pass-band pasif yang disetel ke channel DVBT dihubungkan ke hilir (Gbr. 19.16.). Ini sekali lagi memberikan redaman bahu lebih baik dari 50 dB (masker kritis). Tetapi tidak ada yang dapat dilakukan terhadap rasio carrier/noise in-band sekitar 38...40 dB yang ada sekarang. Produk interferensi ini adalah hasil dari kliping yang diperlukan untuk mengurangi faktor puncak dan sekarang akan menentukan kinerja pemancar DVB-T. Yaitu, setiap pemancar DVB-T akan menunjukkan CNR sekitar 38...40 dB.

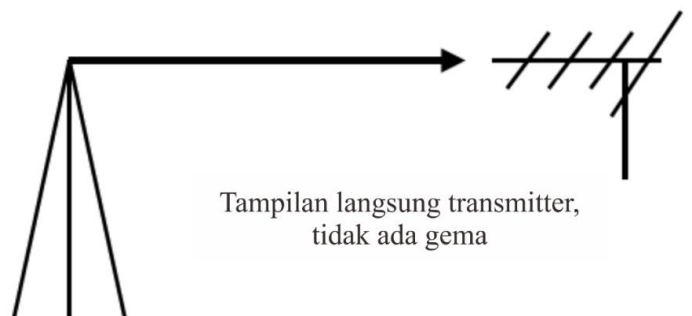
Saat ini, modulasi langsung digunakan di hampir setiap modulator DVB-T, yaitu sinyal diubah langsung dari pita dasar digital menjadi RF sebagai akibatnya modulator I/Q analog digunakan. Akibatnya, bagian sirkuit ini juga, yang sekarang tidak lagi beroperasi dengan kesempurnaan teoretis, memiliki efek buruk pada kualitas sinyal, yang mengakibatkan kesalahan I/Q seperti ketidakseimbangan amplitudo, kesalahan fase I/Q, dan kurangnya penekanan pembawa. Ini adalah seni pembuat modulator untuk menjaga pengaruh ini seminimal mungkin. Namun, keberadaan modulator I/Q analog di

pemancar DVB-T selalu dapat dideteksi oleh alat ukur seperti yang akan dilihat nanti dalam bab tentang teknik pengujian. Selain itu, kualitas pemrosesan sinyal yang terbatas dalam modulator DVB-T juga menghasilkan penciptaan interferensi seperti noise. Kebisingan lebih lanjut terjadi pada tautan transmisi tergantung pada kondisi penerimaan. Demikian pula, beberapa gema dan gangguan sinusoidal atau seperti impuls dapat diharapkan dan gema, pada gilirannya, dapat menyebabkan fading selektif frekuensi dan lokasi.

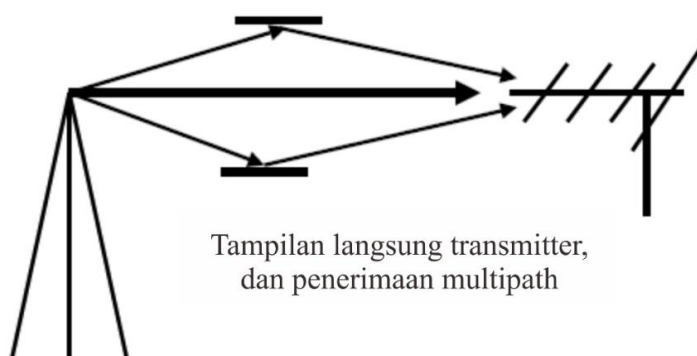


Gambar 19.16. Redaman bahu setelah kliping dan setelah penyaringan bandpass

jalur transmisi DVB-T itu sendiri akan dipertimbangkan secara lebih rinci. Dalam kasus yang ideal, tepat satu jalur sinyal tiba di antenna penerima. Sinyal tersebut kemudian hanya dilemahkan ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil dan hanya dikenai derau Gaussian putih aditif (AWGN). Channel ini dengan pandangan langsung ke pemancar disebut channel Gaussian dan memberikan kondisi penerimaan terbaik untuk penerima.



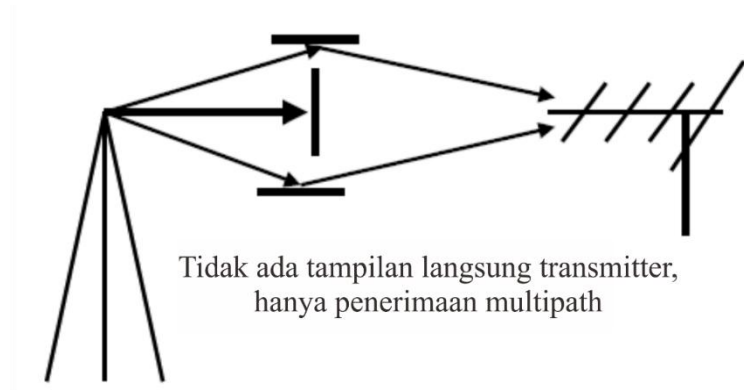
Gambar 19.17. Chanel Gaussian



Gambar 19.18. Chanel Ricean

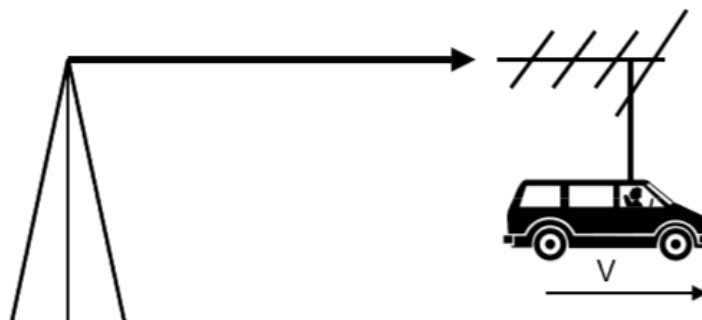
Jika beberapa echo ditambahkan ke jalur sinyal langsung ini, kondisi penerimaan menjadi jauh lebih sulit. Channel ini dengan garis pandang langsung dan jumlah gema ganda yang ditentukan, yang dapat disimulasikan sebagai model channel matematika, disebut channel Ricean (Gbr. 19.18.).

Jika kemudian garis pandang langsung ke pemancar, yaitu jalur sinyal langsung, juga diblokir, channel tersebut disebut channel Rayleigh (Gbr. 19.19.). Ini mewakili kondisi terburuk dari penerimaan stasioner.

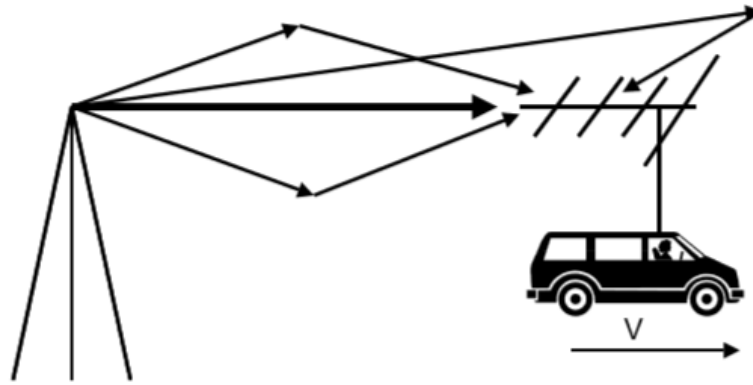


Gambar 19.19. channel Rayleigh

Jika, misalnya, penerima bergerak dengan kecepatan tertentu menjauh dari pemancar atau menuju pemancar (Gbr. 19.20.), pergeseran frekuensi negatif atau positif f akan terjadi karena efek Doppler. Pergeseran frekuensi ini dengan sendirinya tidak menimbulkan masalah pada receiver DVB-T yang akan mengkompensasinya melalui AFC-nya. Hal ini dapat dihitung dari kecepatan gerakan, frekuensi transmisi dan kecepatan cahaya.



Gambar 19.20. efek Doppler



Gambar 19.21. Efek Doppler dalam kombinasi dengan penerimaan multipath

Gambar 19.22. Rasio kesalahan bit di DVB-T sebagai fungsi SNR di QPSK, 16 QAM dan 64 QAM dengan modulasi non-hierarki.

Dari SNR pada Gambar 19.22, rasio kesalahan bit sebelum Viterbi, yaitu rasio kesalahan bit channel, dapat ditentukan. Gambar 19.22. hanya berlaku untuk modulasi nonhierarchial karena pola konstelasi dapat diperluas dengan modulasi hierarkis.

Tabel 19.14. CNR minimum diperlukan dengan modulasi non-hierarki

Modulation	Code rate	Gaussian channel [dB]	Rice channel [dB]	Rayleigh channel [dB]
QPSK	1/2	3.1	3.6	5.4
	2/3	4.9	5.7	8.4
	3/4	5.9	6.8	10.7
	5/6	6.9	8.0	13.1
	7/8	7.7	8.7	16.3
16QAM	1/2	8.8	9.6	11.2
	2/3	11.1	11.6	14.2
	3/4	12.5	13.0	16.7
	5/6	13.5	14.4	19.3
	7/8	13.9	15.0	22.8
64QAM	1/2	14.4	14.7	16.0
	2/3	16.5	17.1	19.3
	3/4	18.0	18.6	21.7
	5/6	19.3	20.0	25.3
	7/8	20.1	21.0	27.9

Rasio carrier-to-noise minimum teoritis untuk operasi quasi error-free bergantung pada code rate baik di DVB-T maupun di DVB-S. Selain itu, jenis modulasi (QPSK, 16QAM, 64QAM) dan jenis channel (Gaussian, Ricean, Rayleigh) memiliki pengaruh. CNR minimum teoretis tercantum di bawah ini untuk kasus pengkodean non-hierarkis.

Dengan demikian, tuntutan untuk CNR minimum berfluktuasi dalam rentang yang luas dari sekitar 3 dB untuk QPSK dengan laju kode 1/2 di channel Gaussian hingga sekitar 28 dB untuk 64QAM dengan laju kode 7/8 di channel Rayleigh. Nilai praktisnya adalah sekitar 18 hingga 20 dB (64QAM, code rate 2/3 atau 3/4) untuk penerimaan stasioner

dan sekitar 11 hingga 17 dB (16QAM, code rate 2/3 atau 3/4) untuk penerimaan bergerak.

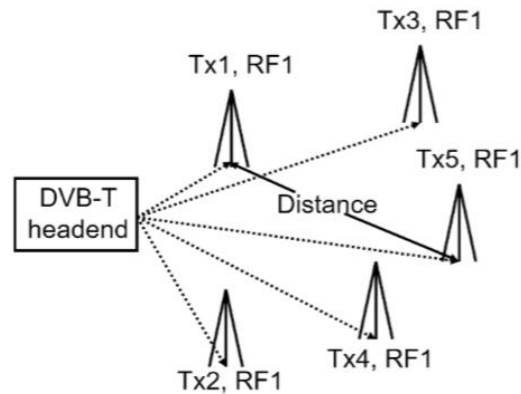
Tabel 19.15. CNR minimum teoretis dengan modulasi hierarkis (QPSK, 64QAM, $\alpha=2$); jalur prioritas rendah (LP)

Modulation	Code rate	Gaussian channel	Rice channel	Rayleigh channel
		[dB]	[dB]	[dB]
QPSK	1/2	6.5	7.1	8.7
	2/3	9.0	9.9	11.7
	3/4	10.8	11.5	14.5
64-QAM	1/2	16.3	16.7	18.2
	2/3	18.9	19.5	21.7
	3/4	21.0	21.6	24.5
	5/6	21.9	22.7	27.3
	7/8	22.9	23.8	29.6

20.8. DVB-T Single-Frequency Networks (SFN)

COFDM sangat cocok untuk operasi frekuensi tunggal. Seperti namanya, dalam operasi frekuensi tunggal, semua pemancar beroperasi pada frekuensi yang sama yang menghasilkan penghematan besar sehubungan dengan sumber daya frekuensi. Semua pemancar memancarkan sinyal yang identik dan harus beroperasi dalam sinkronisasi lengkap satu sama lain. Sinyal dari sinyal yang berdekatan dilihat oleh pemancar seolah-olah hanya gema. Sinkronisasi frekuensi adalah kondisi yang paling mudah karena akurasi dan stabilitas frekuensi harus memenuhi tuntutan yang tinggi bahkan di televisi analog. Di DVB-T, RF pemancar dikunci ke referensi terbaik yang tersedia: sinyal dari GPS (Global Positioning System) yang tersedia di seluruh dunia dan sekarang juga digunakan untuk menyinkronkan frekuensi transmisi frekuensi tunggal DVB-T jaringan. Satelit GPS memancarkan sinyal 1 pps (pulsa per detik) di mana osilator 10 MHz di penerima GPS profesional terkunci yang, pada gilirannya, bertindak sebagai sinyal referensi untuk pemancar DVB-T.

Namun, ada juga persyaratan ketat sehubungan dengan jarak maksimum antara pemancar (Gbr. 19.23. dan Tabel 19.16, 19.17. dan 19.18.). Jarak ini terkait dengan panjang interval penjaga dan kecepatan cahaya, yaitu penundaan sinyal terkait. Interferensi antarsymbol hanya dapat dihindari jika dalam kasus penerimaan multipath, delay pada setiap jalur tidak lebih dari panjang guard interval. Pertanyaan tentang apa yang akan terjadi jika sinyal yang diterima dari pemancar yang lebih jauh melanggar interval penjaga dengan mudah dijawab: itu menghasilkan interferensi antarsymbol yang menjadi terlihat sebagai noise di penerima.



Gambar 19.23. DVB-T single-frequency network (SFN)

Tabel 19.16. Panjang interval penjaga untuk mode 8K, 2K, dan jarak pemancar (channel 8 MHz)

Mode	Simbol Durasi μs	Rasio interval Guard	Interval Guard μs	Jarak Transmitter km
2K	224	$\frac{1}{4}$	56	16.8
2K	224	$\frac{1}{8}$	28	8.4
2K	224	$\frac{1}{16}$	14	4.2
2K	224	$\frac{1}{32}$	8	2.1
8K	896	$\frac{1}{4}$	224	67.1
8K	896	$\frac{1}{8}$	112	33.6
8K	896	$\frac{1}{16}$	56	18.8
8K	896	$\frac{1}{32}$	28	8.4

Sinyal dari pemancar pada jarak yang lebih jauh harus cukup dilemahkan. Ambang untuk operasi bebas kesalahan kuasi dibentuk oleh kondisi yang sama seperti untuk kebisingan murni. Oleh karena itu, sangat penting bahwa level dalam jaringan frekuensi tunggal dikalibrasi dengan benar. Yang diperlukan bukanlah daya pancar maksimum di setiap lokasi transmisi, melainkan yang benar. Perencanaan jaringan memerlukan informasi topografi. Namun, dalam banyak kasus, perencanaan jaringan relatif sederhana karena sebagian besar hanya jaringan frekuensi tunggal regional kecil dengan hanya sedikit pemancar yang dipasang.

Tabel 19.17. Panjang interval penjaga untuk mode 8K, 2K, dan jarak pemancar (channel 7 MHz)

Mode	Simbol Durasi μs	Rasio interval Guard	Interval Guard μs	Jarak Transmitter km
2K	256	$\frac{1}{4}$	64	19.2
2K	256	$\frac{1}{8}$	32	9.6
2K	256	$\frac{1}{16}$	16	4.8
2K	256	$\frac{1}{32}$	8	2.4
8K	1024	$\frac{1}{4}$	256	76.7
8K	1024	$\frac{1}{8}$	128	38.4
8K	1024	$\frac{1}{16}$	64	19.2
8K	1024	$\frac{1}{32}$	32	9.6

Tabel 19.18. Panjang interval penjaga untuk mode 8K, 2K, dan jarak pemancar (channel 6 MHz)

Mode	Simbol Durasi μs	Rasio interval Guard	Interval Guard μs	Jarak Transmitter km
2K	299	$\frac{1}{4}$	75	22.4
2K	299	$\frac{1}{8}$	37	11.2
2K	299	$\frac{1}{16}$	19	5.6
2K	299	$\frac{1}{32}$	9	2.8
8K	1195	$\frac{1}{4}$	299	89.5
8K	1195	$\frac{1}{8}$	149	44.8
8K	1195	$\frac{1}{16}$	75	22.4
8K	1195	$\frac{1}{32}$	37	11.2

Kecepatan cahaya adalah $c = 299792458$ m/s yang menghasilkan delay sinyal per kilometer jarak pemancar $t_{1\text{km}} = 1000 \text{ m}/c = 3,336 \mu\text{s}$. Karena dalam mode 8K, interval penjaga lebih panjang secara absolut, terutama mode ini yang disediakan untuk operasi frekuensi tunggal.

Interval penjaga panjang disediakan untuk jaringan frekuensi tunggal. Interval penjaga panjang menengah digunakan dalam jaringan regional. Interval penjaga pendek, akhirnya, disediakan untuk jaringan lokal atau digunakan di luar jaringan frekuensi tunggal.

Dalam jaringan frekuensi tunggal, semua pemancar individu harus disinkronkan satu sama lain. Kontribusi program disuntikkan dari headend siaran DVB-T di mana multiplexer MPEG-2 berada, mis. melalui satelit, serat optik atau link microwave. Jelas bahwa aliran transportasi MPEG-2 tunduk pada penundaan channel umpan yang berbeda karena panjang jalur yang berbeda. Namun, perlu bahwa di setiap modulator DVB-T dalam jaringan SFN, paket aliran transportasi yang sama diproses menjadi simbol COFDM. Setiap modulator harus melakukan setiap langkah operasi secara sinkron dengan semua modulator lain dalam jaringan. Paket yang sama, bit yang sama dan byte yang sama semuanya harus diproses pada waktu yang sama. Setiap situs pemancar DVB-T harus menyiarkan simbol COFDM yang benar-benar identik pada waktu yang sama.

Modulasi DVB-T disusun dalam bingkai, satu bingkai terdiri dari 68 simbol COFDM DVB-T. Dalam bingkai, informasi TPS lengkap ditransmisikan dan pilot yang tersebar tersebar di seluruh channel DVB-T. Empat bingkai seperti itu, pada gilirannya, membentuk satu bingkai super.

Struktur rangka DVB-T:

- 68 simbol COFDM = 1 bingkai
- 4 bingkai = 1 bingkai super

Satu superframe di DVB-T mengakomodasi sejumlah paket aliran transportasi MPEG2 bilangan bulat, sebagai berikut:

Tabel 19.19. Jumlah paket aliran transportasi per superframe

Tingkat kode	QPSK 2K	QPSK 8K	16QAM 2K	16QAM 8K	64QAM 2K	64QAM 8K
$\frac{1}{2}$	252	1008	504	2016	756	3024
$\frac{2}{3}$	336	1344	672	2688	1008	4032
$\frac{3}{4}$	378	1512	756	3024	1134	4536
$\frac{5}{6}$	420	1680	840	3360	1260	5040
$\frac{7}{8}$	441	1764	882	3528	1323	5292

Akibatnya, superframe dalam jaringan frekuensi tunggal harus terdiri dari paket aliran transportasi yang benar-benar identik dan setiap modulator di SFN harus menghasilkan dan menyiarkan superframe pada waktu yang sama.

Modulator ini harus, oleh karena itu, disinkronkan satu sama lain dan, di samping itu, perbedaan penundaan channel umpan harus disamakan secara statis dan dinamis. Untuk mencapai hal ini, paket dengan cap waktu dimasukkan ke dalam aliran transport MPEG-2 di headend/pusat multipleks siaran DVB-T. Paket-paket ini adalah paket aliran transportasi khusus yang dikonfigurasi mirip dengan tabel MPEG-2 (PSI/SI). Untuk tujuan ini, aliran transportasi dibagi menjadi beberapa bagian, yang panjangnya dipilih kira-kira setengah detik karena mereka harus sesuai dengan sejumlah integral tertentu dari paket aliran transportasi yang sesuai dengan jumlah integral tertentu dari superframe. Bagian ini disebut megaframe

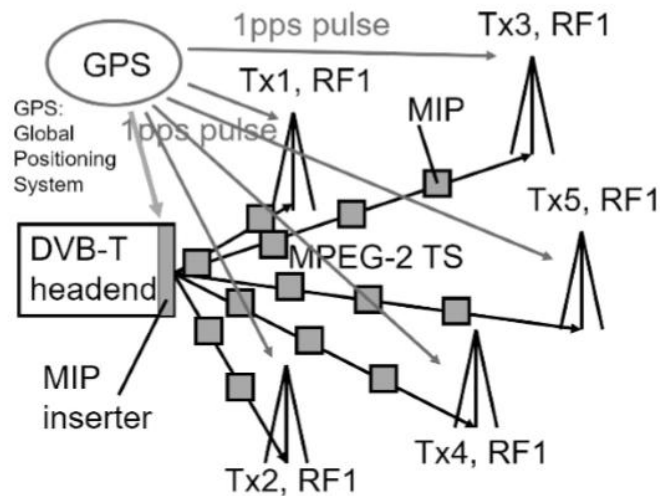
Sebuah megaframe terdiri dari sejumlah integral superframe, sebagai berikut:

- 1 megaframe = 2 superframe dalam mode 8K
- 1 megaframe = 8 superframe dalam mode 2K

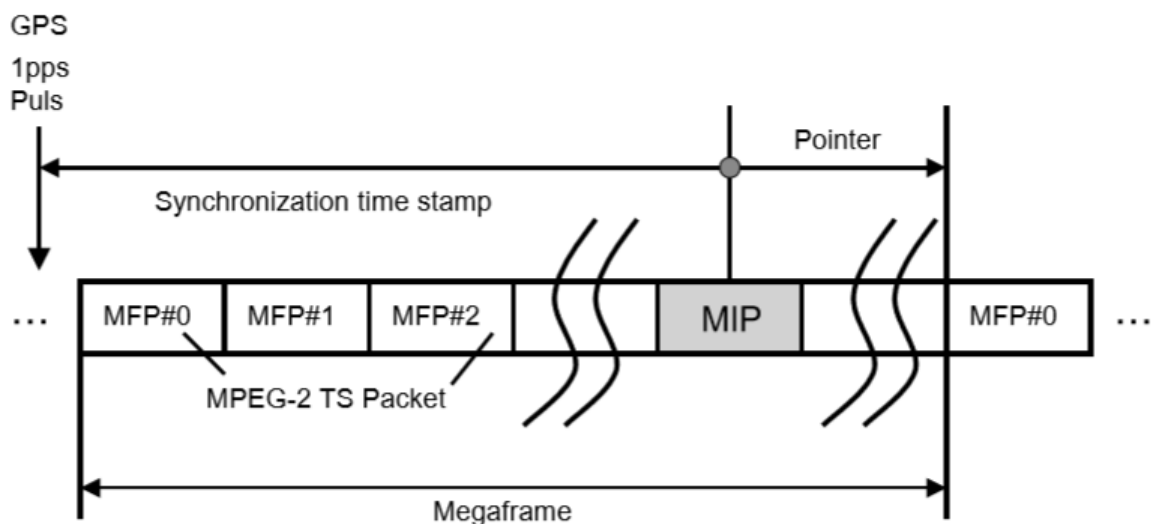
Sinyal 1 pps dari satelit GPS juga digunakan untuk menyinkronkan waktu modulator DVB-T. Dalam kasus jaringan frekuensi tunggal, ada penerima GPS profesional yang mengeluarkan sinyal referensi 10 MHz dan sinyal waktu 1 pps ini di setiap lokasi pemancar dan di pusat pemutaran (Gbr. 19.24.) di mana aliran multipleks dirakit.

Di situs multiplexer ada yang disebut penyisip MIP yang memasukkan paket aliran transportasi khusus ini ke dalam satu megaframe dalam setiap kasus, itulah sebabnya paket ini disebut paket inisialisasi megaframe (MIP). MIP memiliki PID khusus 0x15 sehingga dapat diidentifikasi dan berisi referensi waktu dan informasi kontrol untuk modulator DVB-T. Antara lain, berisi waktu menghitung mundur ke waktu pulsa 1 pps terakhir diterima di inserter MIP. Stempel waktu dengan resolusi 100 ns langkah ini digunakan untuk mengukur jarak umpan secara otomatis. Informasi waktu ini dievaluasi oleh adaptor SFN yang secara otomatis mengoreksi penundaan dari pusat pemutaran ke situs pemancar melalui penyimpanan buffer. Ini juga membutuhkan informasi tentang penundaan maksimum dalam jaringan. Mengingat informasi ini, yang dapat dimasukkan secara manual di setiap situs pemancar atau dibawa dalam paket MIP, setiap adaptor SFN menyesuaikan diri dengan waktu ini. Paket MIP juga berisi penunjuk ke awal megaframe berikutnya dalam jumlah paket TS. Dengan menggunakan informasi

penunjuk ini, setiap modulator kemudian dapat memulai megaframe pada saat yang bersamaan.



Gambar 19.24. Jaringan distribusi DVB-T dengan penyisipan MIP

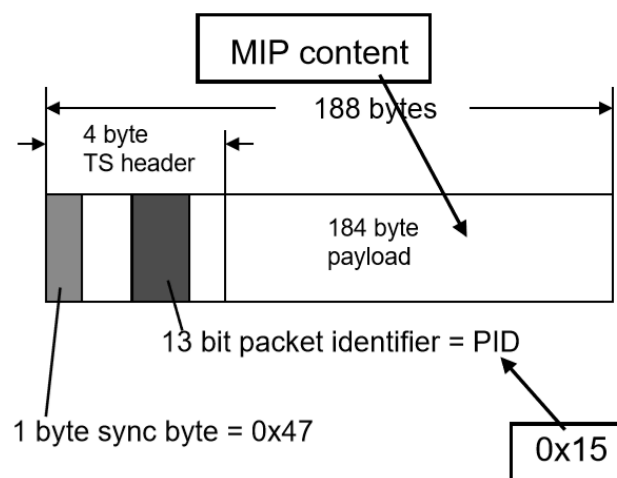


Gambar 19.25. Struktur megaframe pada tingkat aliran transportasi

Panjang megaframe tergantung pada panjang interval penjaga dan bandwidth channel. Semakin sempit channel (8, 7 atau 6 MHz), semakin panjang simbol COFDM karena jarak subcarrier menjadi lebih kecil. Setiap modulator DVB-T sekarang dapat disinkronkan melalui informasi yang terkandung dalam paket MIP. Paket MIP selalu dapat ditransmisikan pada posisi tetap dalam megaframe tetapi posisi ini juga diperbolehkan untuk bervariasi. Tabel 19.20. berisi daftar panjang yang tepat dari satu megaframe.

Tabel 19.20. Durasi megaframe

Interval Guard	Channel 8 MHz	Channel 7 MHz	Channel 6 MHz
1/32	0.502656 s	0.574464 s	0.670208 s
1/16	0.517888 s	0.598172 s	0.690517 s
1/8	0.548352 s	0.626688 s	0.731136 s
1/4	0.609280 s	0.696320 s	0.812373 s



Gambar 19.26. Paket inisialisasi megaframe

MIP juga dapat digunakan untuk mentransmisikan informasi tambahan seperti parameter transmisi DVB-T yang memungkinkan untuk mengontrol dan mengonfigurasi seluruh SFN DVB-T dari satu pusat. Misalnya, ini dapat digunakan untuk mengubah jenis modulasi, laju kode, panjang interval penjaga, dll. Namun, meskipun ini mungkin, mungkin tidak didukung oleh setiap modulator DVB-T.

Jika transmisi paket MIP berhenti karena suatu alasan atau jika informasi dalam paket MIP rusak, jaringan frekuensi tunggal akan kehilangan sinkronisasi. Jika pemancar DVB-T mendeteksi bahwa ia telah jatuh atau tidak menerima sinyal GPS untuk beberapa waktu dan referensi 1 pps dan referensi 10 MHz, oleh karena itu, melayang, ia harus mati atau hanya akan menjadi sumber noise pada jaringan frekuensi tunggal. Penerimaan yang andal hanya dimungkinkan dengan penerimaan terarah yang dekat dengan pemancar. Untuk alasan ini, MIP dalam aliran transportasi yang tiba di pemancar sering dipantau menggunakan penganalisis MPEG-2 (lihat Gambar 19.26.)

Gambar 19.27. (MIP = Megaframe Initializing Packet) dengan jelas menunjukkan bahwa aliran MPEG-2 yang dimultipleks sekarang membawa paket seperti tabel lebih lanjut, yaitu paket MIP, yang berisi stempel waktu sinkronisasi, penunjuk, dan penundaan maksimum. Ini juga berisi parameter transmisi. Dapat juga dilihat bahwa

setiap pemancar di link-up dapat dialamatkan. Seperti tabel, isi paket MIP dilindungi oleh checksum CRC.

Selain itu, setiap pemancar juga dapat "didorong", yaitu dimungkinkan untuk mengubah waktu saat simbol COFDM disiarkan. Ini tidak akan mendorong jaringan frekuensi tunggal keluar dari sinkronisasi tetapi hanya memvariasikan penundaan sinyal pemancar sehubungan satu sama lain dan dengan demikian dapat digunakan untuk mengoptimalkan jaringan SFN. Offset waktu ini ditemukan dalam fungsi 'TX time offset' pada Gambar 19.27. Pergeseran waktu siaran membuatnya tampak kepada penerima seolah-olah posisi geografis masing-masing pemancar telah berubah. Ini mungkin menarik jika dua pemancar dalam SFN sangat berjauhan dan mendekati batas interval penjaga (misalnya jaringan DVB-T Bavaria Selatan dengan menara Olimpiade di Munich dan pemancar Gunung Wendelstein pada jarak d 63 km) atau jika interval penjaga dipilih menjadi sangat pendek karena alasan kecepatan data (misalnya Sydney, Australia, dengan $g=1/16$).

 TS				
 PSI/SI				
 PAT				
 PMT 900 [TVMx]				
 PMT 28107 [Bayer. FS]				
 PMT 28901 [BR alpha]				
 PMT 50001 [3sat]				
 CAT				
 NIT				
 SDT				
 BAT				
 TDT				
 TOT				
 MIP				
 Program 900 [TVMx]				
 Video MPEG2				
 Program 28107 [Bayer. FS]				
 Video MPEG2				
 Audio MPEG1				
 Program 28901 [BR alpha]				
 Video MPEG2				
 Audio MPEG1				
 Program 50001 [3sat]				
 Video MPEG2				
 Audio MPEG1				
 Unreferenced PID				
 Pid 0x01C1				
 Pid 0x0642				
 Pid 0x0AE3				
 Pid 0x0B07				
 Pid 0x0CE7				
 Pid 0x0D03				
 Pid 0x18CD				
 Pid 0x1EAB				
 Null Packets				

Mega-frame Initialization Packet			
Transport packet header	32 bit	0x47601519	
Synchronization id	8 bit	0x00	
Section length	8 bit	57	
Pointer	16 bit	0x0000	
Periodic flag	1 bit	1	
Future use	15 bit	0x0000	
Synchronization time stamp	24 bit	0x189765	180.8229 ms
Maximum delay	24 bit	0x2625A0	250.0000 ms
TPS mip	32 bit	0x41960000	
Constellation	2 bit	0x1	16-QAM
Hierarchy information	3 bit	0x0	non hierarchical
Code rate HP stream	3 bit	0x1	2/3
Guard interval	2 bit	0x2	1/8
Transmission mode	2 bit	0x1	8k
Bandwidth of RF channel	2 bit	0x1	8 MHz
TS priority	1 bit	0x1	High
reserved (future use)	17 bit	0x00000	
Individual addressing length	8 bit	38	
Individual addressing of transmitters			
TX identifier	16 bit	0x0000	broadcast address
Function loop length	8 bit	7	
Function Loop			
Function tag	8 bit	0x03	private data function
Function length	8 bit	7	
Private data (hex)		FF 49 54 49 53	
TX identifier	16 bit	0x0001	
Function loop length	8 bit	4	
Function Loop			
Function tag	8 bit	0x00	TX time offset function
Function length	8 bit	4	
Time offset	16 bit	0x0000	0.0000 ms
TX identifier	16 bit	0x0002	
Function loop length	8 bit	4	
Function Loop			
Function tag	8 bit	0x00	TX time offset function
Function length	8 bit	4	
Time offset	16 bit	0x0000	0.0000 ms
TX identifier	16 bit	0x0003	
Function loop length	8 bit	4	
Function Loop			
Function tag	8 bit	0x00	TX time offset function
Function length	8 bit	4	

Gambar 19.27. Analisis paket MIP

20.9. Tingkat Input Penerima Minimum Diperlukan dengan DVB-T

Untuk mendapatkan penerimaan sinyal DVB-T yang bebas kesalahan, tingkat penerimaan minimum yang diperlukan harus ada pada input penerima DVB-T. Di bawah tingkat sinyal tertentu, penerimaan terputus dan pada ambang batas, efek pemblokiran dan pembekuan akan terjadi, di mana reproduksi tidak sempurna. Bagian ini membahas prinsip-prinsip untuk menentukan tingkat minimum ini.

Level minimum di DVB-T tergantung pada:

- Jenis modulasi (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- Perlindungan kesalahan yang digunakan (kecepatan kode 1/2, 2/3, 3/4,... 7/8)
- Model channel (Gaussian, Ricean, Rayleigh)
- Bandwidth (8, 7, 6 MHz)
- Suhu sekitar
- Karakteristik penerima yang sebenarnya (gambar kebisingan dari tuner dll)
- Kondisi penerimaan multipath

Pada prinsipnya, rasio sinyal/noise minimum SNR diperlukan yang secara matematis merupakan fungsi dari beberapa faktor yang tercantum di atas. Batas SNR teoritis tercantum dalam Tabel 19.14. Sebagai contoh, 2 kasus berikut akan dipertimbangkan:

Kasus 1: Channel beras dengan 16QAM dan laju kode = 2/3, dan

Kasus 2: Channel beras dengan 64QAM dan laju kode = 2/3.

Kasus 1 sesuai dengan kondisi yang disesuaikan untuk jaringan DVB-T yang dirancang untuk penggunaan dalam ruangan portabel (misalnya Jerman) dan Kasus 2 sesuai dengan kondisi yang disesuaikan untuk jaringan DVB-T dengan parameter yang dirancang untuk penerimaan antena atap (misalnya Swedia, Australia). Tabel 19.14. menunjukkan bahwa

Kasus 1 membutuhkan SNR 11,6 dB, dan

Kasus 2 membutuhkan SNR sebesar 17,1 dB.

Tingkat kebisingan N yang ada pada input penerima diperoleh dari hubungan fisik berikut:

$$N[dBW] = -228.6 + 10 \log(B/Hz) + 10 \log((T^{\circ}C + 273)) + F;$$

di mana

B = bandwidth dalam Hz; T = suhu dalam $^{\circ}C$; F = angka kebisingan penerima dalam dB;

Dalam prakteknya ditemukan bahwa nilai-nilai ini dapat dipenuhi dengan cukup nyaman hanya dengan satu jalur sinyal tetapi segera setelah beberapa jalur sinyal hadir pada input penerima (penerimaan multipath), level yang dibutuhkan seringkali lebih tinggi hingga 10 hingga 15 dB dan sangat bervariasi dengan berbagai jenis penerima.

Level yang diterima benar-benar ada adalah hasil dari:

- Kekuatan sinyal yang diterima hadir di lokasi penerima
- Penguatan antena
- Kerugian polarisasi.
- Rugi pada channel umpan dari antena ke penerima

Hal berikut ini berlaku untuk konversi tingkat keluaran antenna dari kekuatan medan yang ada di lokasi penerima:

$$E[dB\mu V/m] = U[dB\mu V] + k[dB];$$

$$k[dB] = (-29.8 + 20 \log(f[MHz]) - g[dB]);$$

dimana :

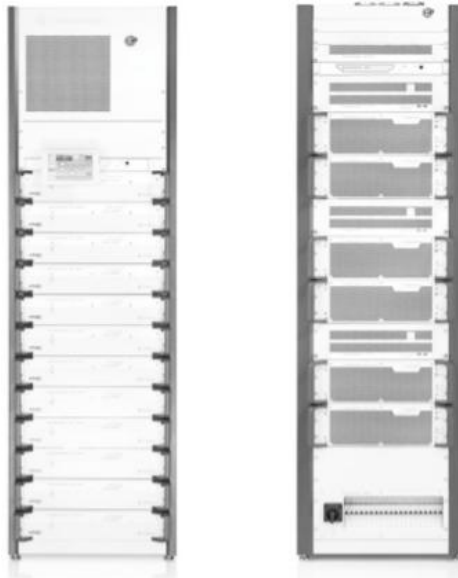
E = kuat medan listrik, U = tingkat keluaran antenna, k = k faktor antenna, f = frekuensi yang diterima, g = penguatan antenna (relatif terhadap radiator isotropik)

$$g_{Dipol} = 2,1 \text{ dB.}$$

Level yang ada pada input penerima sebagai hasilnya adalah:

$$S[dB\mu V] = U[dB\mu V] - loss[dB];$$

Di mana 'kerugian' menunjukkan kerugian implementasi



Gambar 19.28. Pemancar DVB-T berdaya tinggi modern (THU9, kiri, berpendingin cairan) dan daya sedang (TMU9, kanan, berpendingin udara) (Rohde&Schwarz)



Gambar 19.29. Filter masker DVB-T, masker non-kritis (berpendingin cair, pemintal foto pabrikan)

BAB 20

MENGUKUR SINYAL DVB-T

Standar DVB-T dan metode modulasi COFDM yang menarik kini telah dibahas secara menyeluruh. Bab ini membahas metode untuk menguji sinyal DVB-T sesuai dengan Pedoman Pengukuran DVB ETR 290 dan juga di luar ini. Persyaratan untuk pengukuran jauh lebih besar di DVB-T daripada di dua sistem jalur transmisi lainnya DVB-C dan DVB-S karena jalur transmisi terestrial yang sangat kompleks, modulator DVB-T yang jauh lebih rumit dan modulator IQ analog yang digunakan di sana umumnya. Teknik pengukuran DVB-T harus mencakup efek interferensi berikut:

- Kebisingan (AWGN)
- Fase jitter
- pengganggu
- Penerimaan multipath
- efek Doppler
- Efek dalam jaringan frekuensi tunggal
- Gangguan dengan channel yang berdekatan (atenuasi bahu)
- Kesalahan I/Q dari modulator:
 - Ketidakseimbangan amplitudo I/Q
 - Kesalahan fase I/Q
 - kurangnya penekanan pembawa

Instrumen uji yang digunakan dalam teknik pengukuran DVB-T pada dasarnya sebanding dengan yang digunakan dalam teknik pengukuran kabel broadband. Berikut ini diperlukan untuk mengukur sinyal DVB-T:

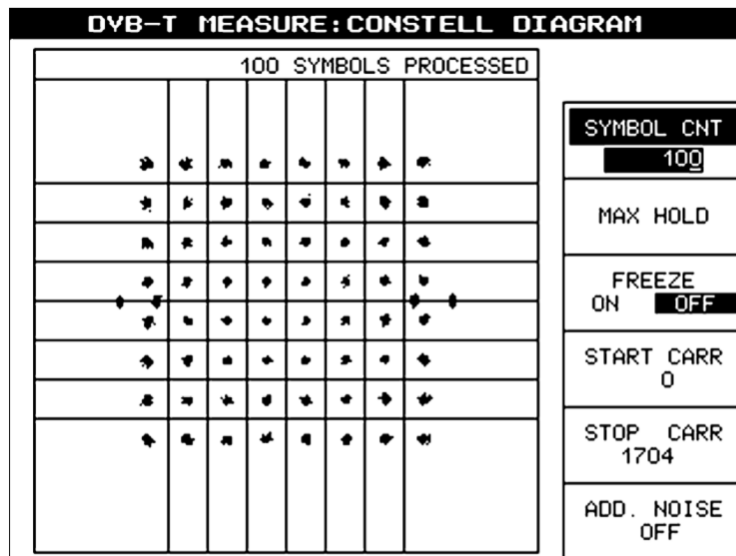
- Penganalisis spektrum modern
- penerima uji DVB-T dengan penganalisis konstelasi
- pemancar uji DVB-T untuk pengukuran pada penerima DVB-T

Penerima uji DVB-T sejauh ini merupakan alat pengukur terpenting dalam DVB-T. Karena sinyal pilot terintegrasi dalam DVB-T, ini memungkinkan analisis paling ekstensif untuk dilakukan pada sinyal tanpa menggunakan alat bantu lain, yang paling penting adalah analisis pola konstelasi DVB-T. Meskipun pengetahuan luas di bidang analisis konstelasi DVB-C telah dikumpulkan sejak tahun 90-an, menyalinnya ke dunia DVB-T saja tidak cukup. Bab ini terutama membahas fitur khusus analisis konstelasi DVB-T, menunjukkan masalah dan memberikan bantuan dalam menafsirkan hasil pengukuran.

Dibandingkan dengan analisis konstelasi DVB-C, analisis konstelasi DVB-T bukan sekadar analisis konstelasi pada ribuan subcarrier dan banyak hal tidak memungkinkan untuk disalin begitu saja.

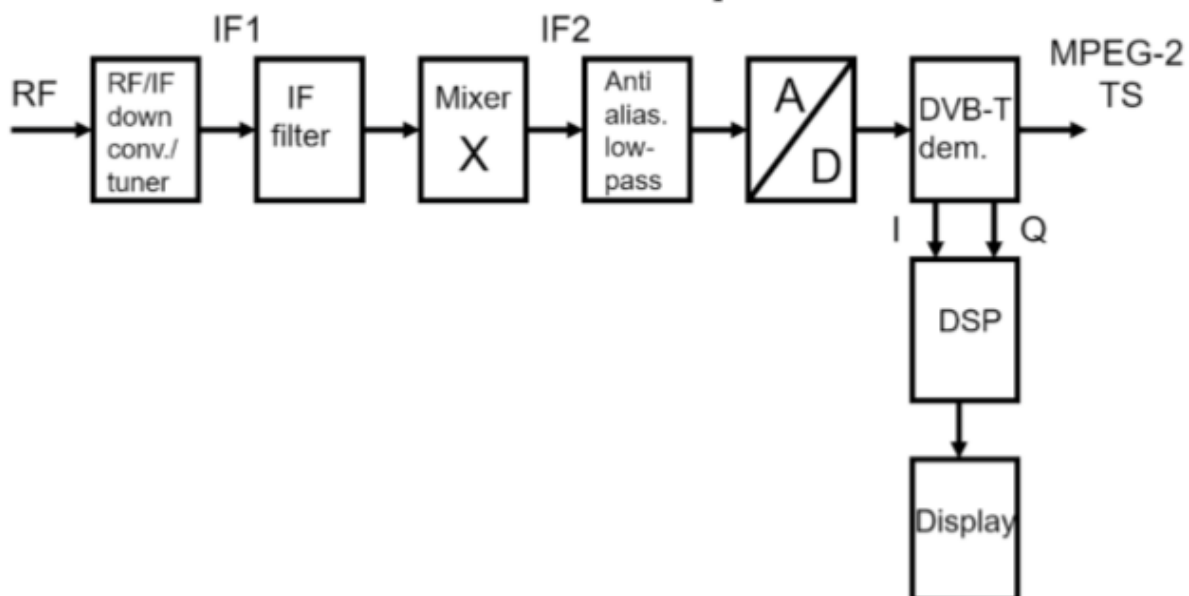
Gambar 20.1. menunjukkan diagram konstelasi modulasi 64QAM di DVB-T. Posisi pilot tersebar dan pilot terus menerus (di kiri dan kanan di luar diagram konstelasi 64QAM pada sumbu I) dan pembawa TPS (titik konstelasi di dalam diagram konstelasi, juga pada sumbu I) dapat mudah dilihat. Pilot yang tersebar digunakan untuk estimasi dan koreksi channel dan

dengan demikian mewakili pos pemeriksaan dalam diagram konstelasi yang selalu dikoreksi ke posisi yang sama. Transmisi parameter signaling carriers (TPS) berfungsi sebagai channel informasi yang cepat dari pemancar ke penerima. Selain noise, tidak ada pengaruh lebih lanjut yang bekerja pada diagram konstelasi yang ditunjukkan (Gbr. 21.1.).



Gambar 20.1. Diagram konstelasi di 64QAM DVB-T

Penerima uji DVB-T (Gbr. 20.2.) dapat digunakan untuk mendeteksi semua pengaruh yang bekerja pada link transmisi. Penerima uji DVB-T pada dasarnya berbeda dari set-top box dalam pemrosesan sinyal analog yang memiliki standar yang jauh lebih tinggi dan data I/Q serta data estimasi channel diakses oleh prosesor sinyal (DSP). DSP kemudian menghitung diagram konstelasi dan nilai pengukuran. Selain itu, sinyal DVB-T dapat didemodulasi ke tingkat aliran transportasi MPEG-2.



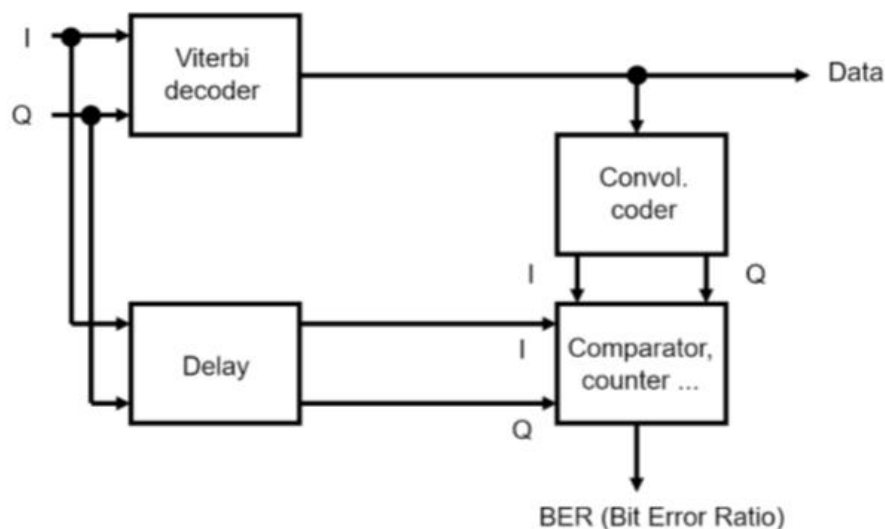
Gambar 20.2. Diagram blok penerima uji DVB-T

20.1. Mengukur Rasio Kesalahan Bit

Di DVB-T, seperti di DVB-S, ada rasio kesalahan 3 bit karena perlindungan kesalahan dalam dan luar:

- Rasio kesalahan bit sebelum Viterbi
- Rasio kesalahan bit sebelum Reed Solomon
- Rasio kesalahan bit setelah Reed Solomon

Rasio kesalahan yang paling menarik dan memberikan informasi paling banyak adalah rasio kesalahan bit pra-Viterbi. Ini dapat ditentukan dengan menerapkan aliran data postViterbi ke encoder konvolusi lain dengan konfigurasi yang sama seperti yang ada di ujung pemancar. Jika aliran data sebelum Viterbi dibandingkan dengan setelah encoder konvolusi - dengan mempertimbangkan penundaan enkoder konvolusi - keduanya identik asalkan tidak ada kesalahan. Perbedaan, dan dengan demikian kesalahan bit, kemudian ditentukan oleh komparator untuk cabang I dan Q.



Gambar 20.3. Sirkuit untuk menentukan rasio kesalahan bit pra-Viterbi

Kesalahan bit yang dihitung kemudian dikaitkan dengan jumlah bit yang ditransmisikan dalam periode yang sesuai, memberikan rasio kesalahan bit (BER)

$$BER = \text{kesalahan bit/bit yang ditransmisikan};$$

Rentang rasio kesalahan bit pra-Viterbi adalah antara 10^{-9} (output pemancar) dan 10^{-2} (input penerima dengan kondisi penerimaan yang buruk).

Dekoder Viterbi hanya dapat memperbaiki beberapa kesalahan bit, meninggalkan rasio kesalahan bit residual sebelum Reed Solomon. Menghitung koreksi dekode Reed Solomon dan menghubungkannya dengan jumlah bit yang ditransmisikan dalam periode yang sesuai memberikan rasio kesalahan bit pra-Reed Solomon.

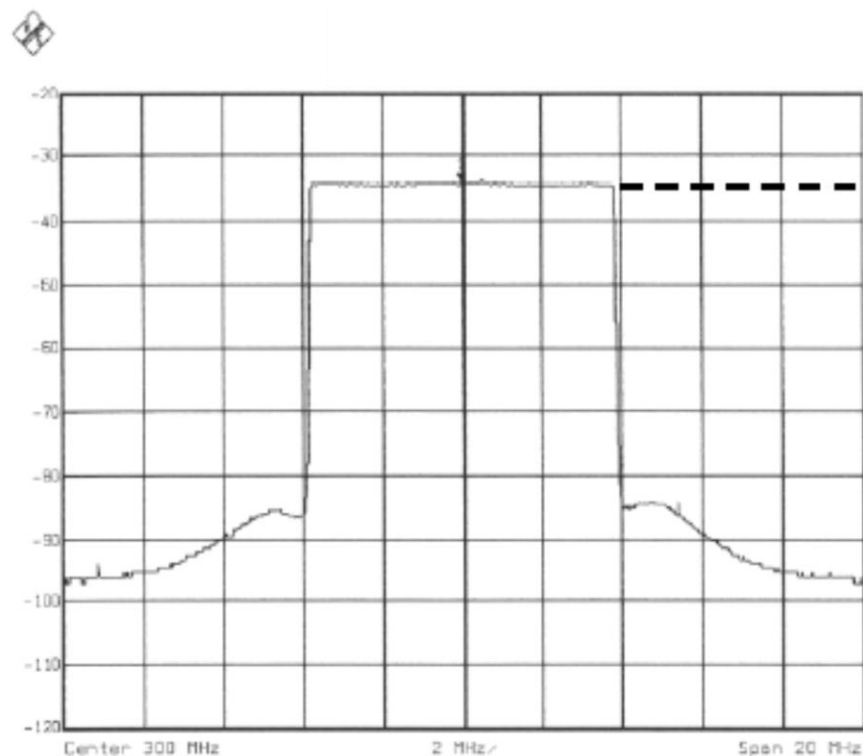
Namun, dekode Reed Solomon juga tidak dapat memperbaiki semua kesalahan bit, dan ini kemudian menghasilkan paket aliran transportasi yang salah. Ini ditandai di header TS (indikator kesalahan transportasi bit = 1). Menghitung paket aliran transportasi yang salah memungkinkan rasio kesalahan bit pasca-Reed Solomon dihitung.

Penerima uji DVB-T akan mendeteksi semua rasio kesalahan 3 bit dan menunjukkannya di salah satu menu pengukuran utama. Harus dicatat bahwa dengan rasio kesalahan bit yang relatif rendah biasanya tersedia setelah dekoder Viterbi dan Reed Solomon, waktu pengukuran dengan panjang yang sesuai dalam kisaran menit hingga jam harus dipilih.

DVB-T MEASURE			
SET RF		ATTEN : 0 dB	
330.000 MHz		57.6 dBuV	
FREQUENCY/BER:			CONSTELL DIAGRAM...
FREQUENCY DEV	2.200 kHz		
SAMPL RATE DEV	12.2 ppm		
BER BEFORE VIT	3.6E-5 (10/10)		FREQUENCY DOMAIN...
BER BEFORE RS	0.2E-9 (1000/1K00)		
BER AFTER RS	0.3E-12 (156K/1M00)		
OFDM/CODE RATE:			TIME DOMAIN...
FFT MODE	2K (TPS: 2K)		
GUARD INTERVAL	1/8 (TPS: 1/4)		
ORDER OF QAM	64 (TPS: 16)		OFDM PARA- METERS...
ALPHA	1 NH (TPS: 1)		
CODE RATE	1/2 (TPS: 5/6, 1/2)		
TPS RESERVED	---		RESET BER
			ADD. NOISE OFF

Gambar 20.4. Pengukuran rasio kesalahan bit

Contoh menu pengukuran menunjukkan bahwa semua informasi penting tentang transmisi DVB-T digabungkan di sini. Terlepas dari RF yang dipilih, ini juga menunjukkan tingkat yang diterima, penyimpangan frekuensi, semua rasio kesalahan 3 bit dan parameter TPS yang didekodekan.



Gambar 20.5. Spektrum sinyal DVB-T

20.2. Mengukur Sinyal DVB-T Menggunakan Spectrum Analyzer

Penganalisis spektrum sangat berguna untuk mengukur kekuatan channel DVB-T, setidaknya pada keluaran pemancar DVB-T. Secara alami, seseorang dapat dengan mudah menggunakan pengukur daya termal untuk tujuan ini, tetapi pada prinsipnya, juga dimungkinkan untuk menggunakan penganalisis spektrum yang akan memberikan perkiraan yang baik tentang rasio pembawa/kebisingan. Namun, pertama-tama, kekuatan sinyal DVB-T sekarang akan ditentukan. Sinyal COFDM terlihat seperti noise dan memiliki faktor puncak yang agak tinggi. Karena kesamaannya dengan white Gaussian noise, kekuatannya diukur dengan cara yang sebanding. Untuk menentukan daya pembawa, penganalisis spektrum diatur sebagai berikut: Pada penganalisis, bandwidth resolusi 30 kHz dan bandwidth video 3 hingga 10 kali bandwidth resolusi, yaitu 300 kHz, dipilih. Untuk mencapai jumlah rata-rata tertentu, waktu sapuan lambat 2000 ms diatur. Parameter ini diperlukan karena kami menggunakan detektor RMS dari penganalisis spektrum. Pengaturan berikut kemudian digunakan:

- Frekuensi tengah: pusat channel DVB-T
- Rentang: 20 MHz
- Bandwidth resolusi: 30 kHz
- Bandwidth video: 300 kHz (karena detektor RMS dan skala logaritmik)
- Detektor: RMS
- Sapuan: lambat (2000 ms)
- Penanda kebisingan: pusat channel (nilai C yang dihasilkan dalam dBm/Hz)

Level yang ditunjukkan dalam pita yang berguna dari spektrum DVB-T tergantung pada pilihan bandwidth resolusi (RBW) dari penganalisis spektrum (misalnya 1, 4, 10, 20, 30 kHz) sehubungan dengan bandwidth sinyal DVB-T (7,61 MHz, 6,66 MHz, 5,71 MHz). Dalam literatur (standar DVB-T, spesifikasi sistem), 4 kHz sering dikutip sebagai bandwidth referensi tetapi tidak selalu didukung oleh penganalisis spektrum. Pada bandwidth referensi 4 kHz, level yang ditunjukkan pada pita yang berguna adalah 38,8 dB (7,61 MHz) atau 32,2 dB, masing-masing, di bawah level sinyal DVB-T.

Tabel 20.1. Tingkat pita yang berguna yang ditunjukkan oleh penganalisis spektrum vs. tingkat sinyal

Resolution bandwidth [kHz]	Atenuasi [dB] di pita yang berguna vs. level sinyal DVB-T di saluran 7 MHz	Atenuasi [dB] di pita yang berguna vs. level sinyal DVB-T di saluran 8 MHz
1	38.8	38.2
4	32.8	32.2
5	31.8	31.2
10	28.8	28.2
20	25.8	25.8
30	24.0	24.0
50	21.8	21.8
100	18.8	18.8
500	11.8	11.8

Untuk mengukur daya, digunakan penanda derau karena sinyal mirip derau. Penanda kebisingan diatur ke pusat pita untuk ini tetapi prasyaratnya adalah channel datar yang selalu dapat diasumsikan ada di pemancar. Jika channel tidak datar, fungsi pengukuran lain yang sesuai harus digunakan untuk mengukur daya channel tetapi ini tergantung pada penganalisis spektrum.

Alat analisa memberikan nilai C' sebagai kerapatan daya kebisingan pada posisi penanda kebisingan dalam dBm/Hz, secara otomatis mempertimbangkan bandwidth filter dan karakteristik penguat logaritma alat analisa. Untuk menghubungkan kerapatan daya sinyal C' dengan bandwidth Nyquist BN dari sinyal DVB-T, perlu menghitung daya sinyal C sebagai berikut:

$$C = C' + 10\log(\text{bandwidth sinyal/Hz}) [\text{dBm}]$$

Bandwidth sinyal dari sinyal DVB-T adalah

- 7,61 MHz di channel 8 MHz
- 6,66 MHz di channel 7 MHz
- 5,71 MHz di channel 6 MHz

Perkiraan Penentuan Daya Kebisingan N:

Jika dimungkinkan untuk mematikan sinyal DVB-T tanpa mengubah rasio noise di channel, penanda noise di tengah pita akan memberikan informasi tentang rasio noise di channel. Namun, ini tidak dapat dilakukan dengan mudah. Menggunakan penanda kebisingan untuk mengukur sangat dekat dengan sinyal di bahu sinyal DVB-T akan memberikan setidaknya "ide bagus" tentang kekuatan kebisingan di channel, jika bukan nilai pengukuran yang tepat. Ini karena dapat diasumsikan bahwa pada pita yang berguna, pinggirannya kebisingan berlanjut serupa dengan yang ditemukan di bahu.

Penganalisis spektrum mengeluarkan nilai N' dari kerapatan daya kebisingan. Daya derau N pada channel dengan bandwidth BC channel transmisi DVB-T dihitung dari rapat daya derau N' sebagai berikut:

$$N = N' + 10\log(BC/\text{Hz}); [\text{dBm}]$$

20.3. Analisis Konstelasi Sinyal DVB-T

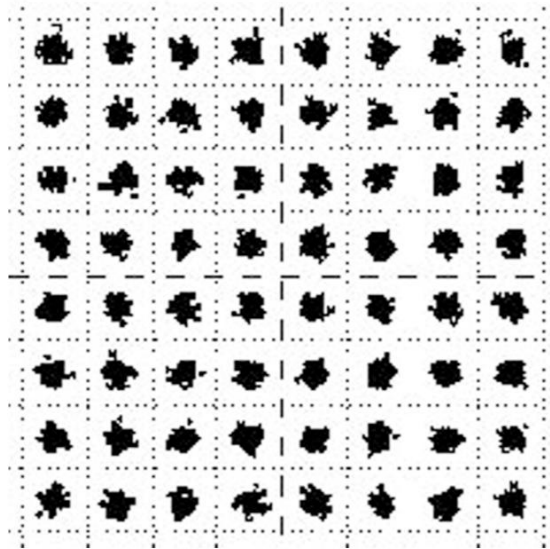
Perbedaan besar antara analisis konstelasi sinyal DVB-T dan DVB-C adalah bahwa dalam DVB-T, ribuan subcarrier COFDM dianalisis. Rentang operator harus dapat dipilih. Seringkali, menampilkan semua diagram konstelasi (operator No. 0 hingga 6817 atau 0 hingga 1705, resp.) sebagai diagram konstelasi yang ditulis di atas satu sama lain adalah hal yang menarik. Rentang operator dapat dipilih dengan 2 cara:

- Mulai/hentikan operator no.
- Nomor operator tengah/rentang

Terlepas dari pembawa muatan murni, pembawa pilot dan pembawa TPS juga dapat dipertimbangkan tetapi tidak ada analisis konstelasi matematis yang akan dilakukan pada pembawa ini. Dalam paragraf berikut, pengaruh individu dan parameter pengukuran akan dibahas.

Nilai pengukuran berikut dapat dideteksi dengan menggunakan analisis konstelasi:

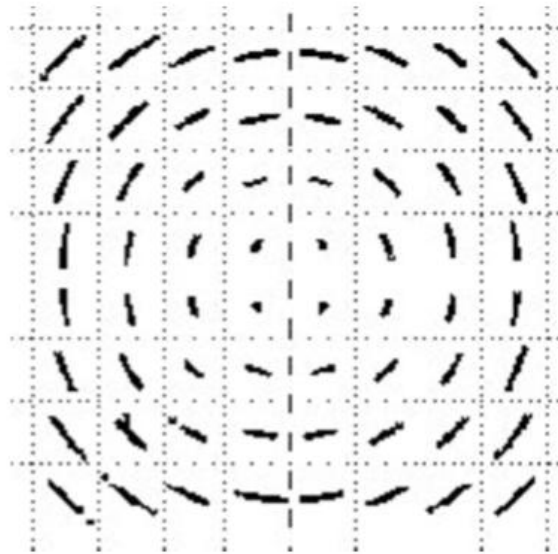
- Sinyal/rasio noise SNR
- Phase jitter
- Ketidakseimbangan amplitudo I/Q
- Kesalahan fase I/Q
- Rasio kesalahan modulasi MER



Gambar 20.6. Pengaruh kebisingan

20.4. Aditif White Gaussian Noise (AWGN)

White noise (AWGN, Additive White Gaussian Noise) mengarah ke titik konstelasi berbentuk awan. Semakin besar titik konstelasi, semakin besar efek noise. Parameter sinyal/noise SNR dapat ditentukan dengan menganalisis fungsi distribusi (distribusi Gaussian normal) di bidang keputusan. Nilai RMS dari komponen kebisingan sesuai dengan standar deviasi. Efek noise mempengaruhi setiap subcarrier DVB-T dan juga dapat ditemukan di setiap subcarrier. Efek dan metode pengukuran benar-benar identik dengan metode DVB-C.



Gambar 20.7. Efek jitter fase

20.5. Fase Jitter

Jitter fase menyebabkan distorsi lurik dalam diagram konstelasi. Hal ini disebabkan oleh osilator dalam modulator dan juga mempengaruhi setiap pembawa dan juga dapat ditemukan pada setiap pembawa.

Di sini juga, metode pengukuran dan efeknya benar-benar identik. dengan yang ada di DVB-C.

20.6. Sumber Interferensi

Sumber interferensi memengaruhi masing-masing operator atau rentang operator. Mereka bisa menjadi seperti kebisingan dan titik konstelasi menjadi awan kebisingan, tetapi mereka juga bisa menjadi sinusoidal ketika titik konstelasi muncul sebagai lingkaran.

20.7. Gema, Penerimaan Multipath

Gema, yaitu penerimaan multipath, menyebabkan fading selektif frekuensi. Ada interferensi dalam rentang pembawa individu tetapi informasi yang hilang sebagai hasilnya dapat dipulihkan kembali karena interleaving melintasi frekuensi dan sejumlah besar perlindungan kesalahan (Reed Solomon dan pengkodean konvolusi) yang disediakan di DVB-T. Tentu saja, COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) dikembangkan tepat untuk tujuan ini, yaitu untuk mengatasi efek penerimaan multipath dalam transmisi terestrial.

20.8. Efek Doppler

Dalam penerimaan seluler, pergeseran frekuensi terjadi di seluruh spektrum DVB-T karena efek Doppler. Dengan sendirinya, efek Doppler tidak menimbulkan masalah dalam transmisi DVB-T karena perpindahan beberapa ratus Hertz pada kecepatan kendaraan bermotor dapat ditangani dengan mudah. Ketika efek Doppler dan penerimaan multipath digabungkan, spektrum menjadi tercoreng. Gema yang bergerak

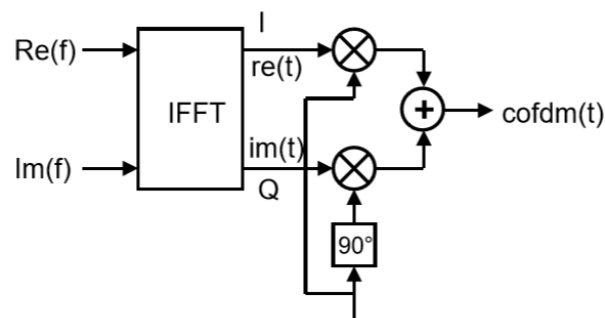
menuju penerima akan menggeser spektrum ke arah yang berbeda dari yang bergerak menjauh dari penerima dan, akibatnya, rasio sinyal/noise di channel memburuk.

20.9. Kesalahan I/Q dari Modulator

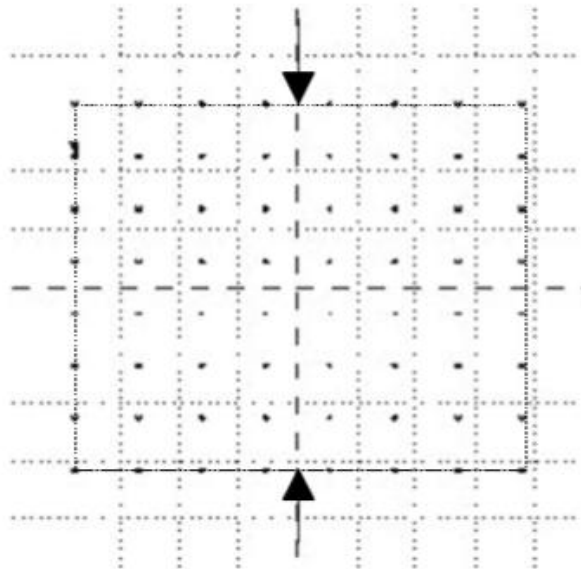
Fokus diskusi ini sekarang akan beralih ke kesalahan I/Q modulator DVB-T, yang efeknya berbeda dari yang ada di DVB-C.

Simbol COFDM dihasilkan melalui mapper, bagian real dan bagian imajiner dari semua subcarrier diatur dalam domain frekuensi sebelum IFFT (Inverse Fast Fourier Transform). Setiap pembawa dimodulasi QAM secara independen (QPSK, 16QAM, 64QAM) sesuai dengan informasi yang akan dikirimkan. Spektrum tidak memiliki simetri atau sentro-simetri dan dengan demikian tidak terkonjugasi terhadap pusat pita IFFT.

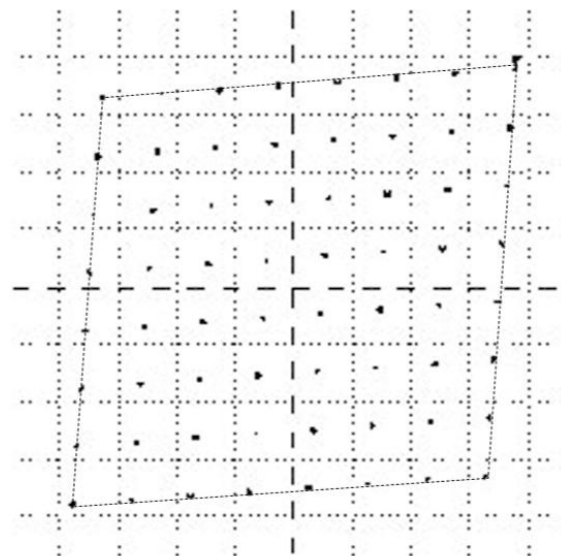
Menurut teori sistem, oleh karena itu, sinyal domain waktu yang kompleks harus dihasilkan setelah IFFT. Dengan mempertimbangkan sinyal domain waktu nyata $re(t)$ dan sinyal domain waktu imajiner $im(t)$ pembawa oleh pembawa, ditemukan bahwa untuk setiap pembawa, $re(t)$ memiliki amplitudo yang persis sama dengan $im(t)$ dan bahwa $im(t)$ selalu digeser tepat 90 derajat dalam fase terhadap $re(t)$. Semua $re(t)$ yang ditumpangkan dalam waktu diumpankan ke cabang I dari mixer I/Q kompleks dan semua $im(t)$ yang ditumpangkan dalam waktu diumpankan ke cabang Q. Pencampur I diumpankan dengan fase pembawa 90 derajat dan pencampur Q diumpankan dengan fase pembawa 90 derajat dan dua produk modulasi yang ditambahkan bersama-sama menghasilkan sinyal COFDM $cofdm(t)$.



Gambar 20.8. Modulator COFDM



Gambar 20.9. ketidakseimbangan I/Q



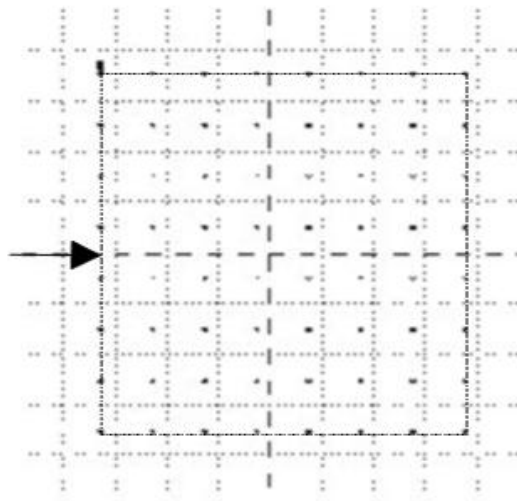
Gambar 20.10. Kesalahan fase I/Q

Cabang sinyal $re(t)$ dan $im(t)$ harus menunjukkan rasio level yang tepat satu sama lain. Pemindah fase 90° juga harus disetel dengan benar. Dan tidak boleh ada komponen DC yang ditumpangkan pada sinyal $re(t)$ dan $im(t)$. Jika tidak, apa yang disebut kesalahan I/Q akan terjadi. Fenomena yang dihasilkan muncul dalam sinyal DVB-T akan ditunjukkan pada Gambar. 20.9.

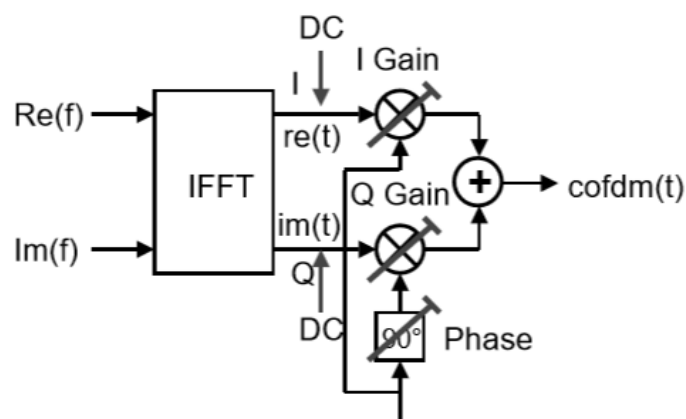
Gambar 20.9. menunjukkan diagram konstelasi dengan ketidakseimbangan amplitudo I/Q dalam mixer I/Q dari modulator. Polanya terdistorsi secara persegi panjang, yaitu dikompresi dalam satu arah (horizontal atau vertikal). Efek ini dapat diamati dengan mudah di DVB-C tetapi hanya dapat diverifikasi pada operator pusat (pusat band) di DVB-T di mana semua operator lain menampilkan gangguan seperti noise.

Kesalahan fase I/Q menyebabkan distorsi seperti belah ketupat pada diagram konstelasi. Efek ini dapat diamati tanpa masalah dalam standar kabel DVB-C tetapi hanya dapat

diverifikasi pada carrier tengah (pusat band) di DVB-T di mana semua operator lain juga menampilkan gangguan seperti noise karena efek ini. Pembawa sisa yang ada pada mixer I/Q menggeser diagram konstelasi keluar dari pusat ke beberapa arah. Pola itu sendiri tetap tidak terdistorsi. Efek ini hanya dapat diamati pada carrier tengah dan hanya mempengaruhi carrier ini. Saat ini, hampir sebagian besar modulator DVB-T beroperasi sesuai dengan metode modulasi langsung. Modulator I/Q analog yang digunakan dalam mode ini biasanya menunjukkan masalah dalam penekanan pembawa, antara lain. Meskipun pabrikan telah berhasil mengatasi masalah ketidakseimbangan amplitudo I/Q dan kesalahan fase I/Q dalam banyak kasus, ada masalah yang tersisa dari penekanan pembawa yang dapat ditemukan kurang lebih pada setiap modulator DVB-T jenis ini dan telah diamati pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil di banyak situs pemancar DVB-T di seluruh dunia oleh penulis. Masalah pembawa sisa hanya dapat diverifikasi di pembawa tengah (3408 atau 852, resp.) di tengah pita dan hanya menyebabkan gangguan di sana atau di area sekitar pembawa tengah. Kurangnya penekanan pembawa dapat dideteksi segera sebagai penurunan dalam tampilan rasio kesalahan modulasi pada kisaran subcarrier DVB-T di tengah pita dan ahli dalam teknik pengukuran DVB-T dapat segera mengetahui bahwa ada modulator DVB-T yang beroperasi dalam mode modulasi langsung.



Gambar 20.11. Efek pembawa residu



Gambar 20.12. Modulator COFDM dengan kesalahan I/Q

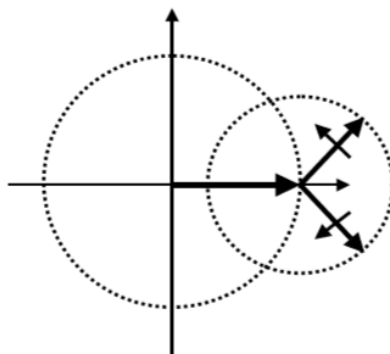
20.10. Penyebab dan Akibat Kesalahan I/Q pada DVB-T

Lalu apa penyebab kesalahan I/Q, mengapa efek ini hanya dapat diamati pada pembawa pusat dan mengapa semua pembawa lain menunjukkan gangguan seperti noise dengan adanya ketidakseimbangan amplitudo I/Q dan kesalahan fase I/Q?

Gambar 20.12. menunjukkan tempat di modulator I/Q di mana kesalahan ini dihasilkan. Komponen DC dalam $re(t)$ atau $im(t)$ setelah IFFT akan menyebabkan pembawa residu di cabang I atau Q atau di kedua cabang. Terlepas dari amplitudo yang sesuai, pembawa residu, oleh karena itu, juga akan menunjukkan sudut fase.

Keuntungan yang berbeda di cabang I dan Q akan menghasilkan ketidakseimbangan amplitudo I/Q. Jika sudut fase pada mixer I/Q berbeda dari 90 derajat, kesalahan I/Q (kesalahan kuadratur) dihasilkan.

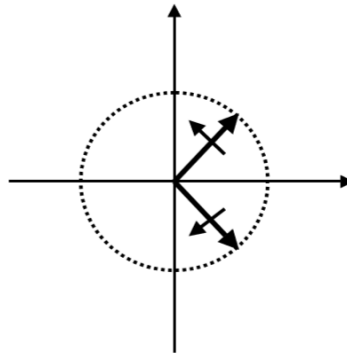
Gangguan pada DVB-T yang disebabkan oleh kesalahan I/Q dapat dijelaskan dengan cukup jelas tanpa banyak matematika dengan menggunakan diagram vektor. Mari mulai dengan diagram vektor modulasi amplitudo normal. Sebuah AM dapat direpresentasikan sebagai vektor pembawa yang berputar dan oleh vektor-vektor yang ditumpangkan dari dua pita samping, satu vektor pita samping berputar berlawanan arah jarum jam dan satu vektor pita samping berputar searah jarum jam. Vektor yang dihasilkan selalu terletak di bidang vektor pembawa, yaitu vektor pembawa bervariasi (termodulasi) dalam amplitudo.



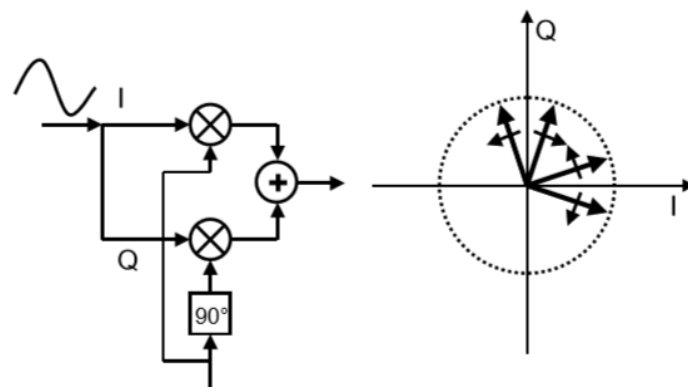
Gambar 20.13. Diagram vektor dari modulasi amplitudo

Menekan vektor pembawa menghasilkan modulasi amplitudo dengan penekanan pembawa.

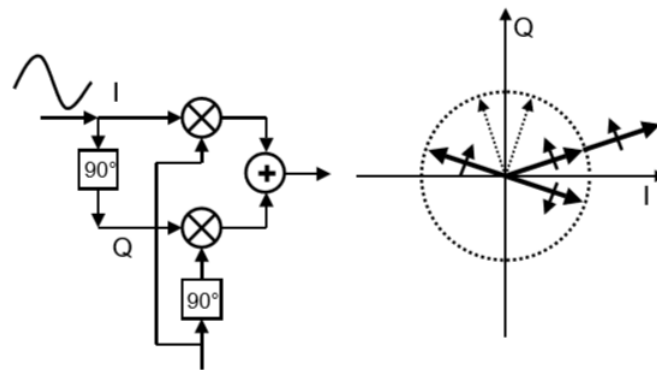
Sejalan dengan itu, perilaku modulator I/Q juga dapat direpresentasikan dengan menempatkan 2 diagram vektor (Gbr. 20.15.). Kedua mixer beroperasi dengan pembawa yang ditekan.



Gambar 20.14. Diagram vektor modulasi amplitudo dengan pembawa yang ditekan



Gambar 20.15. Modulasi I/Q

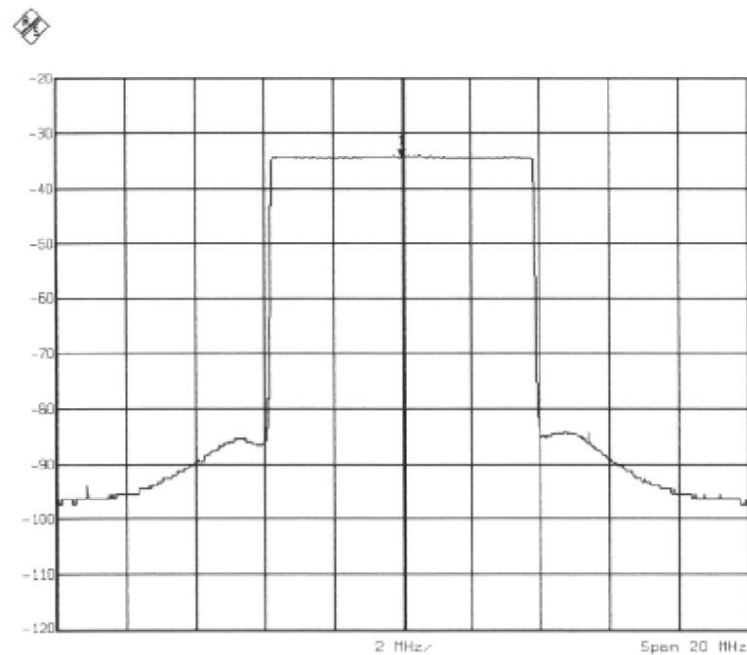


Gambar 20.16. Modulasi sideband tunggal

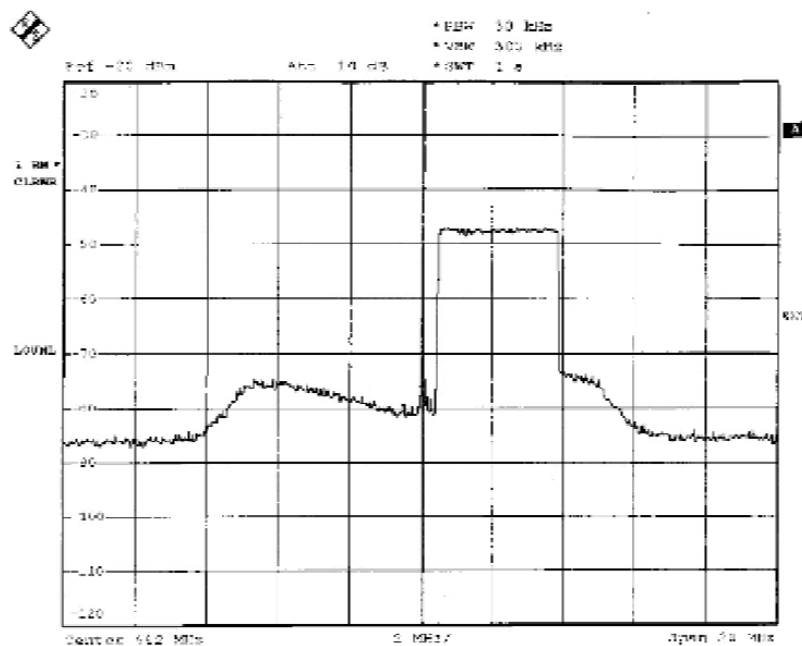
Jika sinyal yang sama diumpunkan ke cabang I dan ke cabang Q, tetapi dengan perbedaan fasa 90 derajat satu sama lain, diagram vektor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20.16. ('modulasi sideband tunggal') diperoleh. Dapat dilihat dengan jelas bahwa dua vektor sideband ditambahkan dan dua vektor sideband dibatalkan (dikurangi). Satu sideband dengan demikian ditekan, menghasilkan modulasi amplitudo sideband tunggal. Modulator COFDM dengan demikian dapat diartikan sebagai modulator sideband tunggal untuk ribuan subcarrier. Dalam modulator COFDM yang ideal, tidak ada crosstalk dari pita COFDM atas ke pita bawah dan sebaliknya.

Karena IFFT adalah proses matematis murni, maka dapat dianggap ideal. Mixer I/Q, bagaimanapun, dapat diimplementasikan sebagai mixer digital (ideal) atau sebagai

mixer analog dan ada dan akan ada di masa depan mixer I/Q analog dalam modulator DVB-T (modulasi langsung).

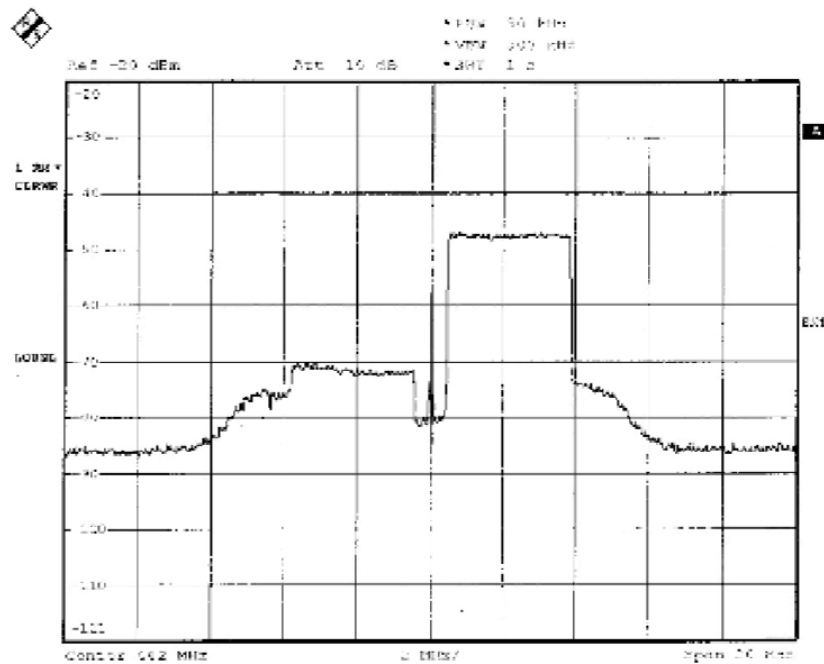


Gambar 20.17. Spektrum sinyal DVB-T



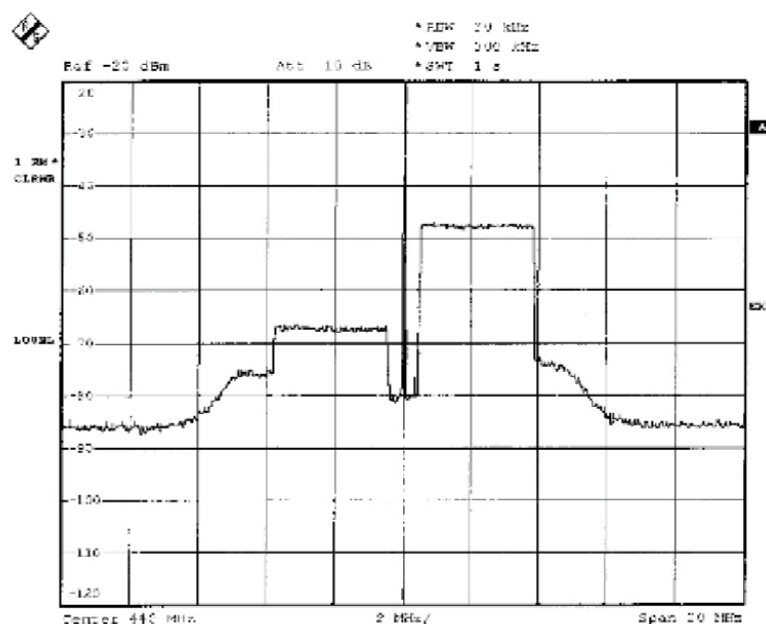
Gambar 20.18. Pita bawah dimatikan

Jika kemudian terjadi ketidakseimbangan amplitudo I/Q, ini berarti bahwa pita samping atas atau bawah tidak lagi batal sepenuhnya, meninggalkan komponen interferensi. Hal yang sama berlaku untuk kesalahan fase I/Q. Oleh karena itu, jelas bahwa semua subcarrier tunduk pada interferensi seperti noise, kecuali carrier tengah. Juga jelas mengapa pembawa residual akan mendorong pola konstelasi menjauh dari pusat di pembawa pusat dan hanya mengganggu yang terakhir.



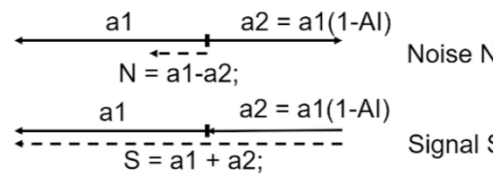
Gambar 20.19. ketidakseimbangan amplitudo 10%

Ini juga dapat ditunjukkan secara mengesankan dalam spektrum sinyal DVB-T jika modulator DVB-T memiliki fungsi uji mati, mis. pita pembawa yang lebih rendah dalam spektrum. Ini dapat dilakukan, misalnya, dengan pemancar uji DVB. Di bagian tengah pita (center carrier), sisa carrier yang ada dapat terlihat dengan jelas. Jika modulator I/Q kemudian diatur untuk menghasilkan ketidakseimbangan amplitudo, crosstalk dari sideband atas ke bawah terlihat jelas. Hal yang sama berlaku untuk kesalahan fase I/Q.



Gambar 20.20. 10° fase kesalahan

Proses crosstalk seperti noise dapat dijelaskan dengan mudah melalui operasi trigonometri sederhana yang dapat diturunkan dari diagram vektor.

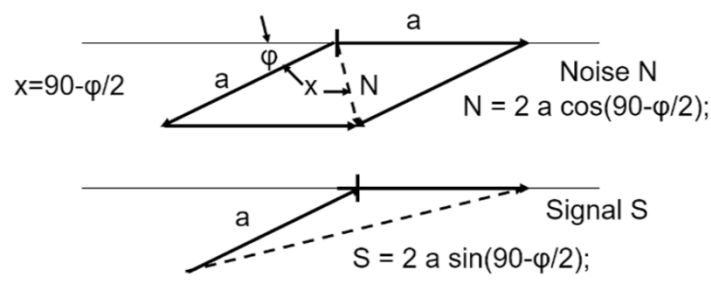


$$S/N = (a_1 + a_2) / (a_1 - a_2) = (a_1 + a_1(1-AI)) / (a_1 - a_1(1-AI)) = (2-AI) / AI;$$

$$SNR[dB] = 20 \lg((2-AI[\%])/100) / (AI[\%]/100);$$

Gambar 20.21. Menentukan SNR dengan ketidakseimbangan amplitudo

Dalam kasus ketidakseimbangan amplitudo, vektor lawan tidak lagi membatalkan sepenuhnya (Gbr. 20.21.), menghasilkan vektor noise yang menyebabkan crosstalk dari pita DVB-T atas ke pita bawah dan sebaliknya. Amplitudo sinyal yang berguna sebenarnya berkurang dengan jumlah yang sama dengan peningkatan crosstalk

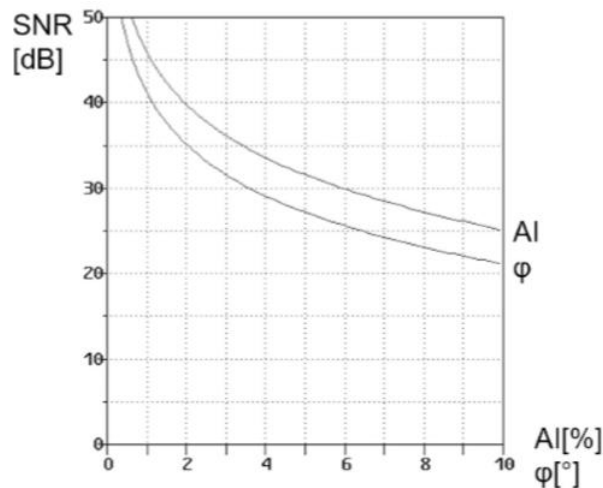


$$S/N = (2a) / (2a) (\sin(90-\phi/2) / \cos(90-\phi/2)) = \tan(90-\phi/2);$$

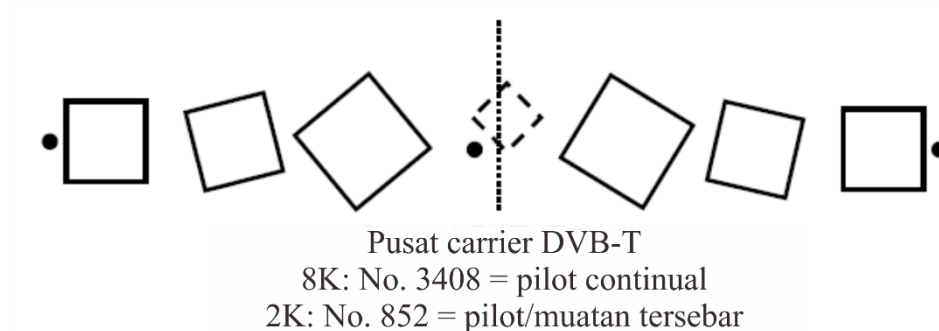
$$SNR[dB] = 20 \lg(\tan(90-\phi/2));$$

Gambar 20.22. Menentukan SNR dengan adanya kesalahan fase I/Q

Kesalahan fase akan menghasilkan vektor kebisingan yang panjangnya dapat ditentukan dari jajaran genjang vektor. Amplitudo sinyal yang berguna juga berkurang dengan jumlah yang sama. Gambar 20.22. menunjukkan kondisi untuk rasio sinyal/kebisingan SNR di hadapan ketidakseimbangan amplitudo dan kesalahan fase, masing-masing, yang sekarang telah diturunkan sebagai rumus. Dalam implementasi praktis modulator DVB-T, tujuannya adalah ketidakseimbangan amplitudo kurang dari 0,5% dan kesalahan fase kurang dari 0,5 derajat.



Gambar 20.23. Rasio sinyal/noise DVB-T dengan ketidakseimbangan amplitudo (AI) dan kesalahan fase (PE) dari modulator IQ

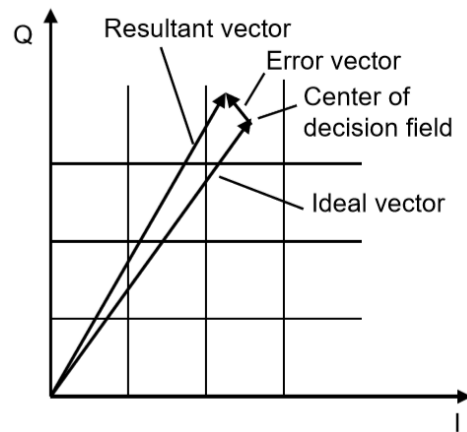


Gambar 20.24. Distorsi di sekitar pembawa pusat karena koreksi channel di penerima DVB-T

Dengan demikian, kesalahan I/Q modulator DVB-T hanya dapat diidentifikasi dengan mengamati pembawa pusat tetapi dapat mengganggu seluruh sinyal DVB-T. Selain itu, akan ditemukan bahwa dalam setiap kasus setidaknya dua pembawa atas dan bawah yang berdekatan dengan pembawa pusat juga terdistorsi. Hal ini disebabkan oleh koreksi channel pada penerima DVB-T dimana estimasi dan koreksi channel dilakukan berdasarkan evaluasi pilot yang tersebar. Tetapi ini hanya tersedia dalam interval 3 pembawa dan di antara mereka perlu diinterpolasi.

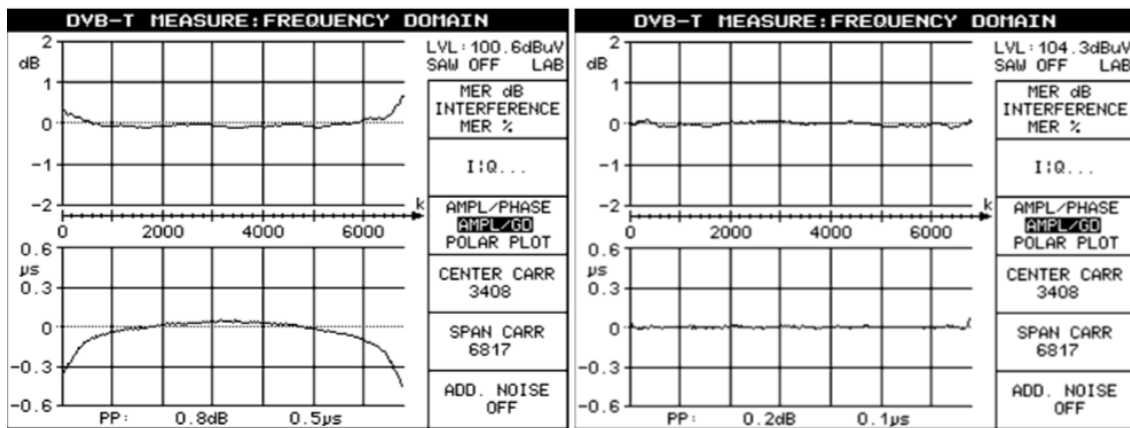
Dalam mode 2K, pembawa pusat adalah No. 852 yang merupakan pembawa muatan atau terkadang pilot yang tersebar. Oleh karena itu, memverifikasi kesalahan I/Q tidak akan menimbulkan masalah. Situasinya berbeda dalam mode 8K di mana operator pusat adalah No. 3408 dan selalu menjadi pilot berkelanjutan. Kesalahan I/Q hanya dapat diekstrapolasi dalam kasus ini dengan mengamati pembawa atas dan bawah yang berdekatan.

Setiap efek yang dijelaskan memiliki parameter pengukurannya sendiri. Dalam standar kabel DVB-C, parameter ini telah digabungkan untuk membentuk parameter agregat tambahan yang disebut rasio kesalahan modulasi.

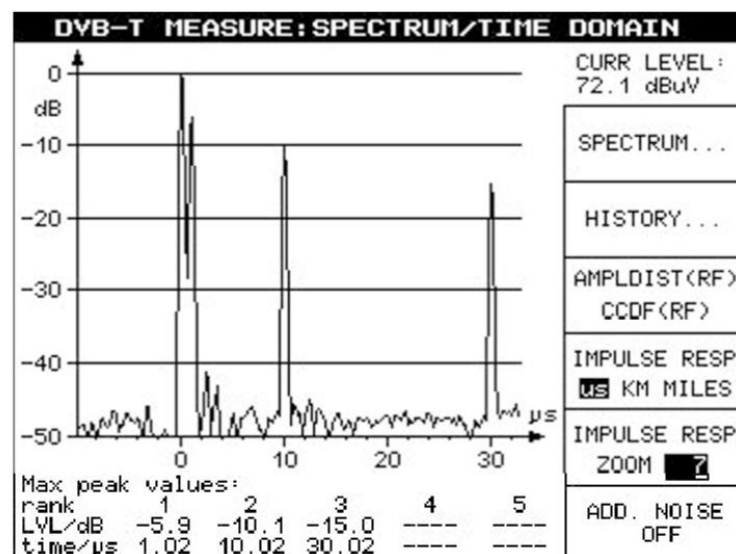


Gambar 20.25. Vektor kesalahan untuk menentukan rasio kesalahan modulasi (MER)

Rasio kesalahan modulasi (MER) adalah ukuran dari jumlah semua efek interferensi yang terjadi pada link transmisi. Seperti rasio signal/noise, biasanya ditentukan dalam dB. Jika hanya ada satu efek noise, MER dan SNR adalah sama.



Gambar 20.26. Pengukuran respons amplitudo dan penundaan grup menggunakan pilot yang tersebar



Gambar 20.27. Pengukuran respons impuls melalui IFFT dari respons impuls channel CIR

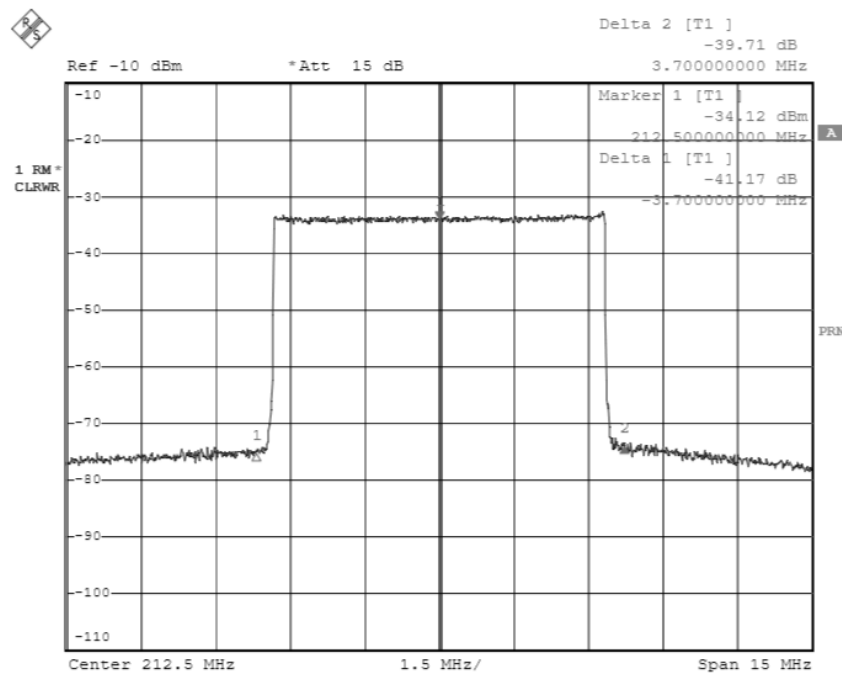
Hasil dari semua efek interferensi pada sinyal TV digital di jaringan kabel broadband, dijelaskan di atas, adalah bahwa titik konstelasi menunjukkan penyimpangan sehubungan dengan posisi nominalnya di pusat kesalahan keputusan. Jika penyimpangan terlalu besar, batas keputusan dilintasi dan kesalahan bit terjadi. Namun, penyimpangan dari pusat bidang keputusan juga dapat dianggap sebagai parameter pengukuran untuk besarnya interferensi sewenang-wenang. Itulah tepatnya tujuan dari parameter pengukuran buatan seperti MER. Saat mengukur MER, diasumsikan bahwa hit aktual di bidang konstelasi telah didorong menjauh dari pusat kesalahan masing-masing oleh interferensi. Pengganggu dialokasikan vektor kesalahan, vektor kesalahan menunjuk dari pusat bidang konstelasi ke titik pukulan sebenarnya di bidang konstelasi. Kemudian panjang semua vektor kesalahan ini diukur terhadap waktu dan rata-rata kuadrat terbentuk atau nilai puncak maksimum diukur dalam jendela waktu. Definisi MER dapat ditemukan di Pedoman Pengukuran DVB.

20.11. Mengukur Amplitudo, Fase dan Respon Delay Grup

Meskipun DVB-T cukup toleran terhadap distorsi linier seperti distorsi amplitudo, fase dan keterlambatan grup, di sisi lain, tidak ada masalah besar untuk mengukur parameter ini. Penerima uji DVB-T dapat dengan mudah menganalisis pembawa pilot (pilot tersebar dan pilot berkelanjutan) yang terkandung dalam sinyal dan menghitung dari distorsi linier ini. Distorsi linier dengan demikian ditentukan dari data estimasi channel.

20.12. Mengukur Respon Impuls

Transformasi data estimasi channel, yang tersedia dalam domain frekuensi dan dari mana representasi amplitudo dan respons fase diturunkan, ke dalam domain waktu melalui transformasi Fourier cepat terbalik memberikan respons impuls. Panjang maksimum respons impuls yang dapat dihitung tergantung pada sampel yang disediakan oleh estimasi channel. Setiap subcarrier ketiga memberikan kontribusi untuk estimasi channel pada suatu waktu, yaitu jarak antara dua titik interpolasi dari estimasi channel adalah $3 \cdot f$, di mana f sesuai dengan jarak subcarrier dari COFDM. Panjang respons impuls yang dapat dihitung adalah $1/3 f$, yaitu sepertiga periode simbol COFDM. Dalam kasus ideal, respons impuls hanya terdiri dari satu impuls utama pada $t = 0$, yaitu hanya ada satu jalur sinyal. Dari respon impuls, beberapa gema dapat dengan mudah diklasifikasikan sesuai dengan penundaan dan redaman jalur.

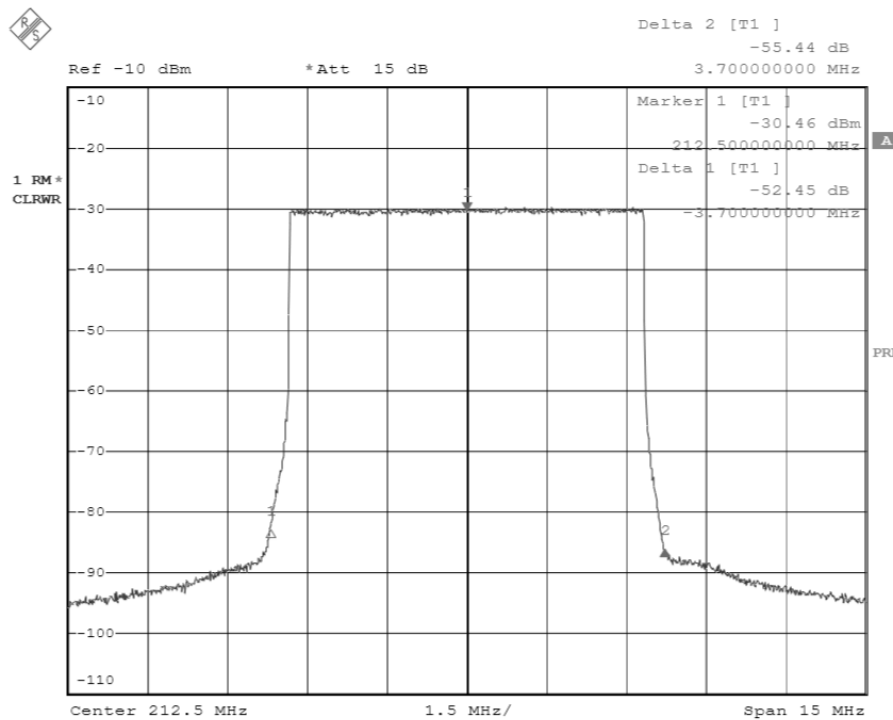


Gambar 20.28. Spektrum sinyal DVB-T pada keluaran pemancar sebelum filter topeng

20.13. Mengukur Redaman Bahu

Sistem tidak menggunakan bandwidth channel penuh, yaitu beberapa subcarrier 2K atau 8K disetel ke nol sehingga tidak ada gangguan pada channel yang berdekatan. Karena nonlinier, bagaimanapun, masih ada komponen outband dan efek pada spektrum dan bentuknya telah menimbulkan istilah 'shoulder attenuation' (redaman bahu).

Dalam Standar, redaman bahu yang diizinkan didefinisikan sebagai topeng toleransi. Gambar 20.30. spektrum sinyal DVB-T pada output penguat daya, yaitu sebelum filter masker. Untuk menentukan atenuasi bahu, metode yang berbeda didefinisikan dan terutama metode yang relatif rumit dalam Pedoman Pengukuran [ETR290]. Dalam praktiknya, spektrum DVB-T dalam banyak kasus hanya diukur dengan menggunakan tiga penanda, menyetel satu penanda ke pusat pita dan yang lainnya ke $\pm$ (bandwidth channel DVB-T/2 + 0,2 MHz). Dengan channel 8 MHz, ini menghasilkan titik uji pada $\pm$ 4,2 MHz relatif terhadap pusat pita dan $\pm$ 3,7 MHz untuk channel 7 MHz. Gambar 20.31, menunjukkan spektrum sinyal DVB-T setelah filter masker (masker kritis). Standar DVB-T [ETS 300 744] mendefinisikan berbagai topeng toleransi untuk berbagai alokasi channel yang berdekatan.



Gambar 20.29. Spektrum sinyal DVB-T diukur setelah filter masker (masker kritis)

Dalam praktiknya, atenuasi bahu berikut tercapai:

- Penguat daya, tidak terdistorsi: kira-kira. 28 dB
- Penguat daya, disamakan: kira-kira. 38 dB
- Setelah output BPF: kira-kira. 52 dB (masker kritis)

Biasanya masker toleransi tercantum pada Tabel 20.3. (topeng nonkritik) dan 20.4. (masker kritis) digunakan untuk mengevaluasi sinyal DVB-T (bandwidth 7 dan 8 MHz). Dalam dokumen yang sesuai (Standar DVB-T [ETS300744], Spesifikasi Sistem), rasio sehubungan dengan daya channel pada bandwidth referensi 4 kHz biasanya ditentukan. Jika penganalisis spektrum tidak mendukung bandwidth resolusi ini, dimungkinkan untuk memilih yang berbeda (misalnya 10, 20 atau 30 kHz) dan nilainya dapat dikonversi.

$10\log(4/7610) = -32,8 \text{ dB}$ dan $10\log(4/6770) = -32,2 \text{ dB}$ sesuai dengan redaman sehubungan dengan daya sinyal total dari sinyal DVB-T dengan bandwidth referensi 4 kHz di pita DVB-T yang berguna . Jika bandwidth resolusi lain dari penganalisis digunakan, nilai yang sesuai harus dimasukkan ke dalam rumus. Tabel juga menunjukkan redaman relatif dibandingkan dengan channel yang berguna secara independen dari bandwidth referensi.

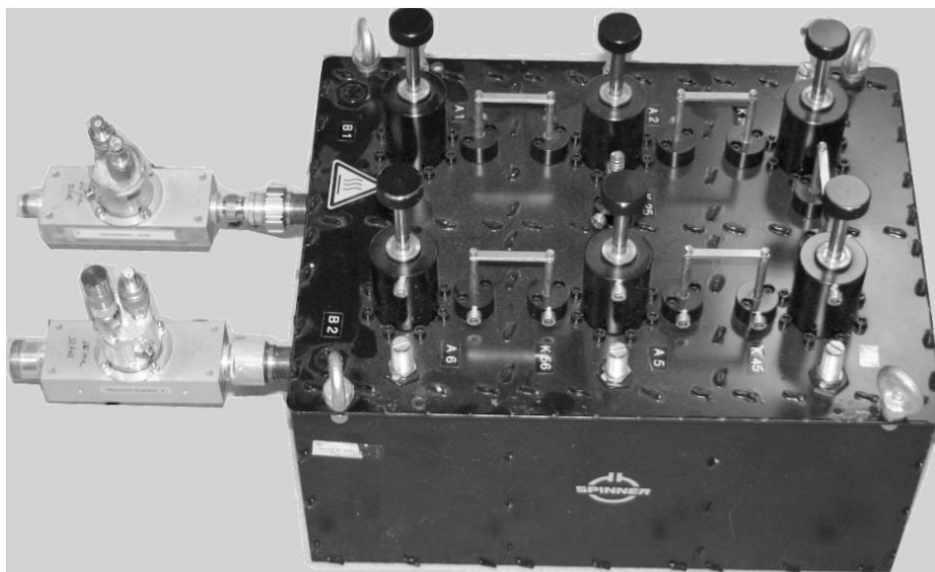
Faktor penting dalam memilih bandwidth resolusi dari penganalisis spektrum adalah tidak terlalu kecil dan tidak terlalu besar. Biasanya, 10, 20 atau 30 kHz dipilih.

Tabel 20.3. Masker toleransi DVB-T (tidak kritis) di channel 7 dan 8 MHz

frel[MHz] pada 7MHz channel bandwidth	frel[MHz] pada 8MHz channel bandwidth	redaman [dB] vs. Kekuatan chanel pada 4 kHz reference bandwidth	redaman [dB] pada 7 MHz channel bandwidth	redaman [dB] pada 8 MHz channel bandwidth
+/-3.4	+/-3.9	-32.2 (7 MHz) -32.8 (8 MHz)	0	0
+/-3.7	+/-4.2	-73	-40.8	-40.2
+/-5.25	+/-6.0	-85	-52.8	-52.2
+/-10.5	+/-12.0	-110	-77.8	-77.2
+/-13.85		-126	-93.8	

Tabel 20.4. Masker toleransi DVB-T (kritis) di channel 7 dan 8 MHz

frel[MHz] pada 7MHz channel bandwidth	frel[MHz] pada 8MHz channel bandwidth	redaman [dB] vs. Kekuatan chanel pada 4 kHz reference bandwidth	redaman [dB] pada 7 MHz channel bandwidth	redaman [dB] pada 8 MHz channel bandwidth
+/-3.4	+/-3.9	-32.2 (7 MHz) -32.8 (8 MHz)	0	0
+/-3.7	+/-4.2	-83	-50.8	-50.2
+/-5.25	+/-6.0	-95	-62.8	-62.2
+/-10.5	+/-12.0	-120	-87.8	-87.2
+/-13.85		-126	-93.8	

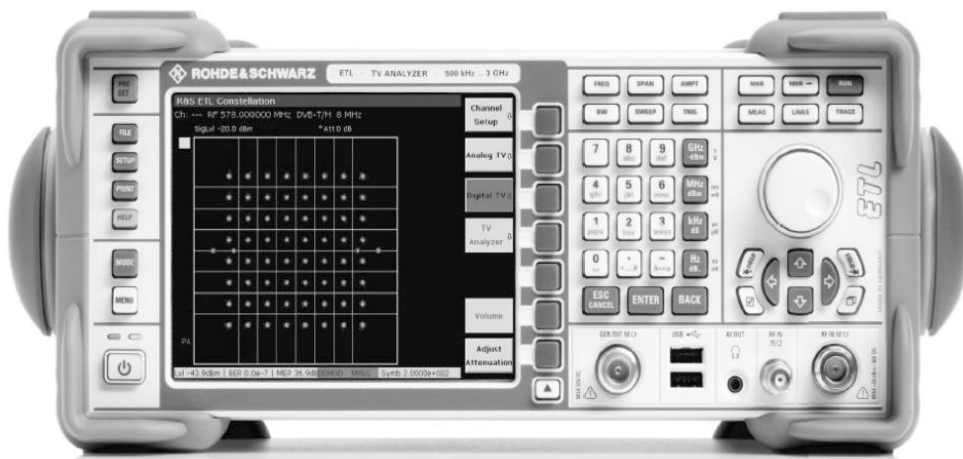


Gambar 20.30. Filter masker DVB-T (Masker non-kritis, daya rendah, diproduksi oleh Spinner) dengan coupler uji terarah pada input dan output



Gambar 20.31. Tautan transmisi DVB-T

generator uji MPEG-2 DVRG (kiri tengah), pemancar uji DVB-T SFQ (kiri bawah), penerima uji DVB-T EFA (kiri atas), dekoder uji MPEG-2 DVMD (kanan tengah) dan Monitor TV, penganalisis video VSA dan penganalisis “601” VCA (Rohde&Schwarz).



Gambar 20.32. TV Analyzer ETL menampilkan diagram konstelasi DVB-T 64QAM

BAB 21

DVB-H/DVB-SH – SIARAN VIDEO DIGITAL UNTUK PERANGKAT GENGAM

21.1. Pendahuluan

Pengenalan 2G GSM (*Global System for Mobile Communication* generasi ke-2) telah memicu ledakan yang cukup besar untuk jenis komunikasi nirkabel ini. Jika kepemilikan telepon mobil atau telepon seluler sejenis adalah hak prerogatif sebagian besar kalangan khusus orang di awal tahun sembilan puluhan, setidaknya setiap orang kedua memiliki telepon seluler pribadinya pada akhir tahun sembilan puluhan dan dalam banyak kasus itu hanya digunakan baik untuk menelepon atau untuk mengirim dan menerima pesan singkat - SMS - sampai saat itu. Namun, pada saat itu, orang juga ingin dapat mengirim dan menerima data melalui telepon seluler, mis. dari PC. Untuk dapat memeriksa database email seseorang pada awalnya merupakan cara yang menyenangkan untuk menjaga diri tetap up-to-date, terutama di bidang profesional; hari ini, ini adalah penggunaan standar. Dalam standar GSM, yang dikembangkan terutama untuk telepon seluler, namun, kecepatan datanya sekitar 9600 bit/s. Ini cukup memadai untuk email teks sederhana tanpa lampiran tetapi menjadi agak merepotkan ketika file panjang dilampirkan ke pesan asli. Ini juga dapat digunakan untuk berselancar di Internet tetapi merupakan cara yang rumit dan mahal untuk melakukan ini. Dengan diperkenalkannya telepon seluler 2.5G, GPRS (*General Packet Radio System*), kecepatan data ditingkatkan menjadi 171,2 kbit/s dengan membentuk paket, yaitu menggabungkan slot waktu dari sistem GSM. Hanya dengan generasi ke-3, UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), kecepatan data dapat ditingkatkan menjadi 144 - 384 kbit/s dan 2 Mbit/s, yang, bagaimanapun, sangat tergantung pada kondisi penerimaan masing-masing. dan cakupan. Menggunakan modulasi tingkat yang lebih tinggi (8PSK), standar EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), juga memungkinkan kecepatan data yang lebih tinggi hingga 345.6 kbit/s (ECSD) dan 473.6 kbit/s (EGPRS), secara berturut-turut. LTE memungkinkan kecepatan data yang jauh lebih tinggi sekitar 10 Mbit/s dan bahkan lebih tinggi dan standar 5G yang baru akan meningkatkan kecepatan data up- dan downstream yang tersedia juga.

Karena sifatnya, semua standar radio bergerak dirancang untuk komunikasi dua arah antara terminal dan stasiun pangkalan. Metode modulasi seperti, mis. GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) di GSM atau WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) di UMTS telah dirancang untuk kondisi penerimaan "kasar" ini dalam penerimaan bergerak.

Sejak sekitar pertengahan tahun 2000-an, telepon seluler tidak lagi sekadar telepon tetapi dapat digunakan sebagai kamera atau sebagai konsol atau penyelenggara game, berkembang semakin menjadi terminal multimedia. Produsen peralatan dan operator jaringan terus mencari lebih banyak aplikasi baru.

Sejalan dengan evolusi radio seluler, transisi televisi analog ke televisi digital terjadi. Jika pada akhir tahun delapan puluhan, masih tampak mustahil untuk dapat mengirim gambar bergerak secara digital melalui jalur transmisi yang ada seperti satelit, TV kabel atau cara kuno terestrial, ini adalah fakta yang diterima saat ini. Hal ini dimungkinkan oleh metode kompresi modern seperti MPEG (*Moving Picture Experts Group*) dan metode modulasi modern dan perlindungan kesalahan pencocokan (FEC). Peristiwa penting di bidang ini dapat dianggap sebagai penggunaan pertama dari apa yang disebut DCT (*Discrete Cosine Transform*) dalam standar JPEG (*Joint Photographic Experts*

21.2. Konvergensi antara Radio Seluler dan Penyiaran

Jaringan radio seluler adalah jaringan di mana koneksi dua arah (point-to-point) dimungkinkan pada kecepatan data yang relatif rendah. Metode modulasi, proteksi kesalahan dan prosedur serah terima disesuaikan dengan lingkungan bergerak. Penagihan dll juga ditemukan terkait sistem dalam standar. Jenis layanan yang akan dipilih, baik itu panggilan telepon, SMS, atau tautan data, ditentukan oleh pengguna akhir dan dia akan ditagih sesuai dengan itu.

Jaringan penyiaran adalah jaringan searah di mana konten didistribusikan point-to-multipoint secara bersama-sama ke sejumlah besar pihak dengan kecepatan data yang relatif tinggi. Konten berdasarkan permintaan relatif jarang, konten yang telah ditentukan didistribusikan ke banyak pihak dari satu situs pemancar atau saat ini juga oleh jaringan frekuensi tunggal di beberapa pemancar. Konten ini biasanya berupa program radio atau televisi. Kecepatan data jauh lebih tinggi daripada di jaringan radio seluler. Metode modulasi dan perlindungan kesalahan sering dirancang hanya untuk penerimaan antena portabel atau atap. Penerimaan seluler disediakan hanya sebagai bagian dari DAB (Digital Audio Broadcasting) dalam Standar. DVB-T telah dikembangkan hanya untuk penerimaan stasioner atau portabel.

Sebagai bagian dari DVB-H (Digital Video Broadcasting for Hand-held mobile terminals), upaya sekarang sedang dilakukan untuk menggabungkan dunia radio bergerak dengan dunia penyiaran (Gbr. 21.1.) dan untuk menggabungkan keunggulan kedua sistem jaringan, menggabungkan bi-directionalitas jaringan radio bergerak pada kecepatan data yang relatif rendah dengan uni-directionalitas jaringan siaran pada kecepatan data yang relatif tinggi. Jika layanan yang sama, seperti layanan video/audio tertentu sesuai permintaan diminta oleh banyak pelanggan, layanan data dipetakan dari jaringan radio bergerak ke rel siaran point-to-multipoint, tergantung pada permintaan dan jumlah informasi. terlibat.

Jenis informasi yang dialihkan dari jaringan radio bergerak ke jaringan penyiaran hanya bergantung pada kebutuhan saat ini. Saat ini masih belum diputuskan layanan apa yang akan ditawarkan ke telepon seluler di masa depan melalui layanan DVB-H. Mereka dapat murni layanan berbasis IP atau juga video/audio melalui IP. Namun, dalam setiap kasus, DVB-H akan menjadi layanan berbasis UDP/IP sehubungan dengan MPEG/DVB-T/-H. Aplikasi yang dapat dibayangkan adalah program olahraga terkini, berita, dan layanan lain yang dapat menarik minat publik menggunakan telepon seluler. Dapat dipastikan bahwa, dengan kondisi penerimaan yang tepat, ponsel berkemampuan DVB-H juga akan dapat menerima transmisi DVB-T murni tanpa biaya.

21.3. Parameter Penting DVB-H

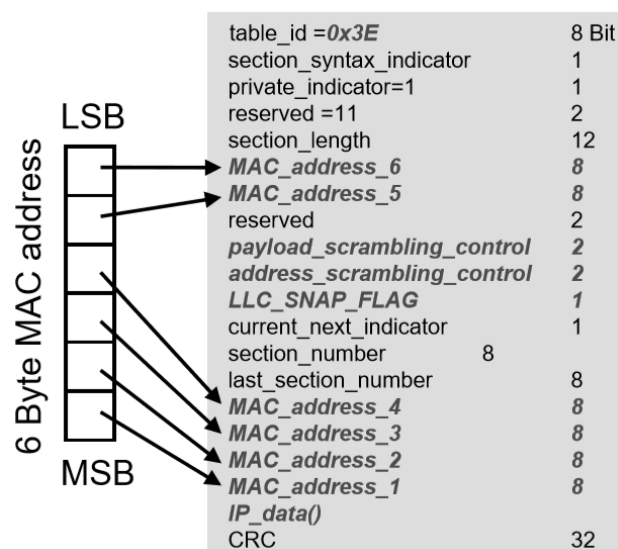
Parameter penting DVB-H sesuai dengan Standar DVB-T. Lapisan fisik DVB-T telah diperluas hanya sedikit. Selain mode 8K dan 2K, yang sudah ada di DVB-T, mode 4K diperkenalkan sebagai kompromi yang baik antara keduanya, memungkinkan jaringan frekuensi tunggal dengan ukuran yang wajar untuk dibentuk sementara pada saat yang sama lebih cocok untuk seluler. menggunakan. Mode 8K sangat tidak cocok untuk penggunaan seluler karena jarak subcarriernya yang kecil dan mode 2K hanya memungkinkan jarak pendek sekitar 20 km antara pemancar. Mode 8K membutuhkan lebih banyak ruang memori untuk interleaving dan deinterleaving data daripada mode 4K dan 2K. Ruang yang tersedia dalam mode 4K dan 2K sekarang dapat digunakan untuk interleaving yang lebih dalam di DVB-H, yaitu interleaver dapat dipilih antara 'asli' dan 'mendalam' dalam mode 4K dan 2K. Untuk pensinyalan parameter tambahan,

bit TPS (Transmission Parameter Signalling), dicadangkan atau sudah digunakan sebaliknya, digunakan dalam DVB-H.

Parameter tambahan yang diperkenalkan di DVB-H terdaftar sebagai lampiran dalam Standar DVB-T. Semua perubahan atau ekstensi lainnya berhubungan dengan aliran transport MPEG-2. Ini, pada gilirannya, dapat ditemukan di DVB Data Broadcast Standard. Aliran transport MPEG-2, sebagai sinyal pita dasar DVB, adalah sinyal input untuk modulator DVB-H. Dalam DVB-H, Enkapsulasi Multiprotokol (MPE), yang sudah didefinisikan dalam konteks Penyiaran Data DVB sebelum DVB-H, digunakan sebagai metode pemotongan waktu sehingga energi dapat dihemat di bagian bergerak. Panjang dan jarak slot waktu harus diberi tanda. Paket IP yang dikemas dalam slot waktu MPE dapat secara opsional dilengkapi dengan FEC tambahan (koreksi kesalahan maju) di DVB-H. Ini adalah perlindungan kesalahan Reed Solomon pada tingkat paket IP. Segala sesuatu yang lain berhubungan langsung dengan DVB-T atau MPEG-2, masing-masing. DVB-H adalah metode untuk transmisi paket IP slot waktu melalui aliran transport MPEG-2. Lapisan fisik yang digunakan adalah DVB-T dengan beberapa ekstensi. Tujuannya adalah konvergensi antara jaringan radio seluler dan jaringan siaran DVB-H. Layanan data ditransmisikan ke ponsel baik melalui jaringan radio seluler atau melalui jaringan DVB-H, tergantung pada volume lalu lintas.

21.4. Bagian DSM-CC

Dalam MPEG-2 Standar ISO/IEC 13818 Bagian 6, mekanisme untuk mentransmisikan data, layanan data, dan struktur direktori telah dibuat sejak awal. Ada bagian yang disebut DSM-CC, di mana DSM-CC adalah singkatan dari Digital Storage Media Command and Control. Pada prinsipnya, Bagian DSM-CC memiliki struktur yang sebanding dengan Tabel PSI/SI. Mereka mulai dengan ID Tabel yang selalu dalam rentang dari 0x3A hingga 0x3E. Bagian DSM-CC memiliki panjang hingga 4 kbytes dan juga dibagi menjadi paket-paket transport stream dan disiarkan secara multipleks ke transport stream. Menggunakan korsel objek (siaran data yang berulang secara siklis), seluruh pohon direktori dengan pemindaian file yang berbeda ditransmisikan ke penerima DVB melalui bagian DSM-CC. Ini dilakukan, mis. di MHP (Multimedia Home Platform), tempat file HTML dan Java ditransmisikan yang kemudian dapat dieksekusi di penerima DVB yang mendukung MHP.



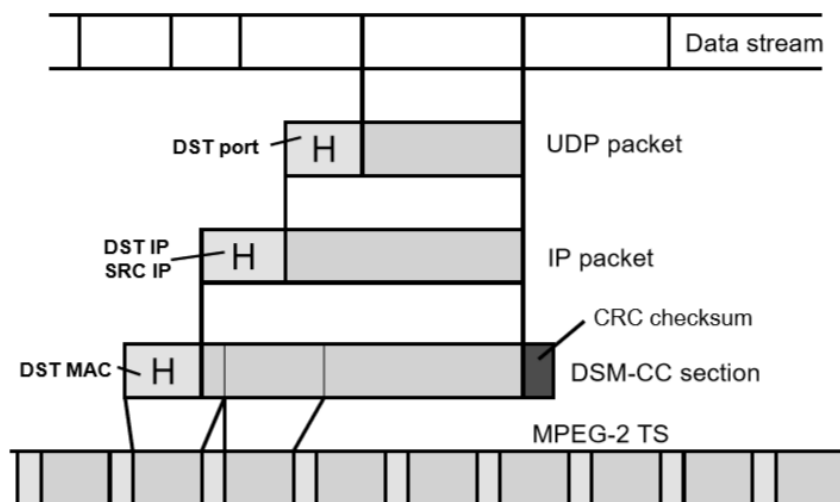
Gambar 21.2. Bagian DSM-CC untuk transmisi IP (Table_ID=0x3E)

Bagian DSM-CC dengan Tabel ID=0x3E (Gbr. 21.2.) dapat digunakan untuk mentransmisikan paket Internet (IP) dalam aliran transport MPEG-2. Dalam sebuah paket IP, paket TCP (Transport Control Protocol) atau paket UDP (User Datagram Protocol) ditransmisikan. Paket TCP melakukan transmisi terkontrol antara pemancar dan penerima melalui prosedur jabat tangan. Sebaliknya, paket UDP dikirim tanpa pesan balasan. Karena dalam kebanyakan kasus, tidak ada channel kembali dalam operasi siaran (maka istilah 'penyiaran'), paket TCP tidak masuk akal. Untuk alasan ini, hanya protokol UDP yang digunakan di DVB selama transmisi IP

tabel dalam apa yang disebut Multiprotocol Encapsulation (MPE). Meskipun ada channel balik di DVB-H melalui jaringan radio seluler, paket IP tidak dapat diminta baru karena pesan harus dikirim secara bersamaan ke banyak alamat di DVB-H.

21.5. Enkapsulasi Multiprotokol

Dalam Enkapsulasi Multiprotokol DVB, konten seperti, mis. File HTML atau bahkan aliran video dan audio MPEG-4 diangkut dalam paket UDP (User Datagram Protocol). Aplikasi Windows Media 9 juga dapat ditransmisikan dengan cara ini dan juga dapat direproduksi di perangkat yang dilengkapi dengan semestinya. Paket-paket UDP berisi alamat port tujuan (Port DST) (Gbr. 21.3.), sebuah nilai numerik lebar 16-bit yang melaluinya aplikasi tujuan ditujukan. Misalnya, World Wide Web (WWW) selalu berkomunikasi melalui port No. 0x80. Port diblokir dan dikendalikan oleh firewall.



Gambar 21.3. Enkapsulasi Multiprotokol (MPE)

Paket UDP, pada gilirannya, kemudian disematkan ke bagian muatan paket IP. Header paket IP kemudian berisi alamat IP sumber dan tujuan (SRC dan DST) yang melaluinya paket IP dilingkarkan melalui jaringan dari pemancar ke penerima dengan cara yang terkendali.

Jika paket IP ditransmisikan melalui jaringan komputer normal, mereka sebagian besar diangkut dalam paket Ethernet. Header paket Ethernet sekali lagi berisi alamat perangkat keras dari komponen jaringan yang berkomunikasi satu sama lain, yang disebut alamat MAC (Media Access Command).

Ketika paket IP ditransmisikan melalui jaringan DVB, lapisan Ethernet digantikan oleh aliran transport MPEG-2 dan lapisan DVB fisik (DVB-C, -S, -T). Paket IP pertama kali dikemas dalam bagian DSM-CC yang dibagi menjadi banyak paket transport stream, secara bergantian. Ini disebut Enkapsulasi Multiprotokol: UDP dibagi menjadi IP, IP menjadi DSMCC, DSM-CC menjadi paket TS. Header bagian DSM-CC berisi alamat

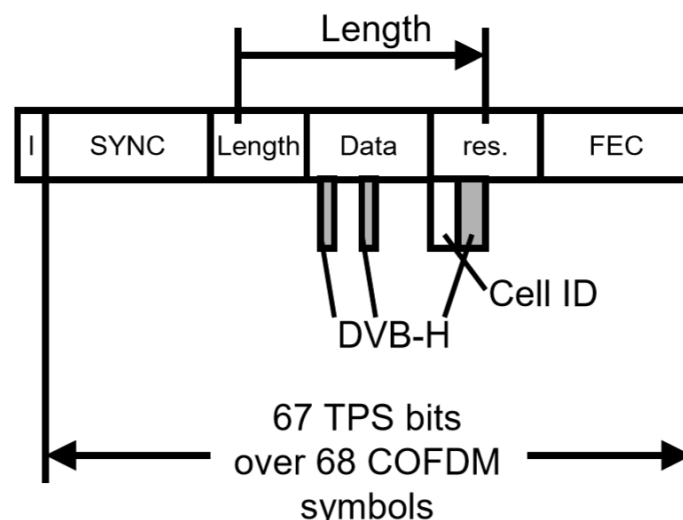
MAC tujuan (DST). Ini memiliki panjang 6 byte seperti pada lapisan Ethernet. Tidak ada alamat MAC sumber.

2K Mode $\Delta f \sim 4\text{kHz}$, $t_s \sim 250\mu\text{s}$ 2048 operator 1705 digunakan operator pilot terus- menerustersebar pilot TPS carrier 1512 pembawa data interleaving mendalam on/off	Mode 4K $f \sim 2\text{kHz}$, $t_s \sim 500\mu\text{s}$ 4096 operator 3409 operator bekas pilot terus- menerus pilot tersebar TPS carrier 3024 pembawa data interleaving mendalam	Mode 8K $f \sim 1\text{kHz}$, $t_s \sim 1000\mu\text{s}$ 8192 operator 6817 operator bekas pilot terus-menerus pilot tersebar Operator TPS 6048 operator data
--	---	---

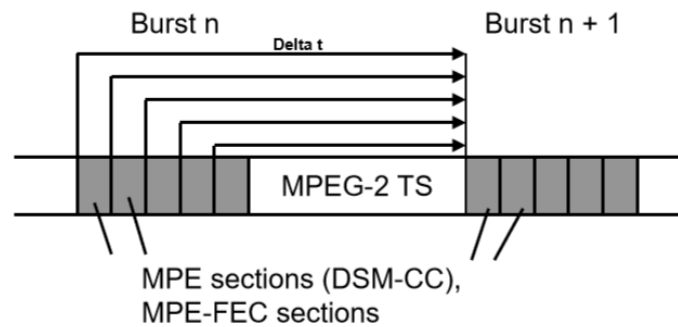
Gambar 21.4. Gambaran mode 2K, 4K, dan 8K di DVB-H

21.6. Standar DVB-H

DVB-H adalah singkatan dari "Digital Video Broadcasting for Handheld mobile terminals" dan merupakan upaya konvergensi antara jaringan radio seluler dan jaringan penyiaran. Hilir dari jaringan radio bergerak (GSM/GPRS, UMTS) dipetakan ulang ke jaringan penyiaran tergantung pada volume lalu lintas. Jika, misalnya, hanya satu pelanggan yang meminta layanan melalui UMTS, misalnya, hilir ini terus melewati UMTS. Jika sejumlah besar pelanggan meminta layanan yang sama pada waktu yang hampir bersamaan, masuk akal untuk menawarkan layanan ini, mis. video, arahkan ke multipoint melalui jaringan siaran. Layanan yang dimaksudkan untuk diimplementasikan melalui DVB-H semuanya berbasis IP.



Gambar 21.5. Bit TPS dalam bingkai DVB-T (Pensinyalan Parameter Transmisi)



Gambar 21.6. Pengirisan waktu dalam DVB-H

DVB-H dimaksudkan untuk menyediakan kerangka kerja bagi jaringan DVB-T yang dimodifikasi untuk menyiarkan layanan IP dalam slot waktu dalam transport stream MPEG-2. Parameter modulasi fisik sangat mirip atau hampir identik dengan jaringan DVB-T. Transport stream MPEG-2 membutuhkan modifikasi yang lebih besar.

Tinjauan sistem DVB-H disediakan dalam dokumen ETSI. Rincian yang relevan dijelaskan dalam Standar Penyiaran Data DVB dan dalam Standar DVB-T

Lapisan fisik DVB-T telah dimodifikasi atau paling sedikit terpengaruh. Selain mode 8K yang sangat cocok untuk jaringan frekuensi tunggal (SFN) dan mode 2K yang lebih cocok untuk penerimaan seluler, mode 4K juga diperkenalkan sebagai kompromi opsional. Dengan menggunakan mode 4K, jarak pemancar dapat dicapai dua kali lipat dibandingkan dengan mode 2K dan kemampuan seluler jelas meningkat dibandingkan dengan mode 8K. Kapasitas memori yang tersedia di interleaver dan de-interleaver harus menyediakan interleaver mendalam yang, pada gilirannya, akan membuat DVB-H lebih tahan terhadap kesalahan burst, yaitu kesalahan multibit dan datastream didistribusikan lebih baik dari waktu ke waktu.

Beberapa parameter tambahan juga harus ditandai melalui pembawa TPS di DVB-H.

Ini adalah:

- Pengirisan waktu hidup/mati dalam aliran transport MPEG-2 (=DVB-H)
- IP FEC hidup/mati
- Interleaving mendalam aktif/nonaktif
- Modus 4K

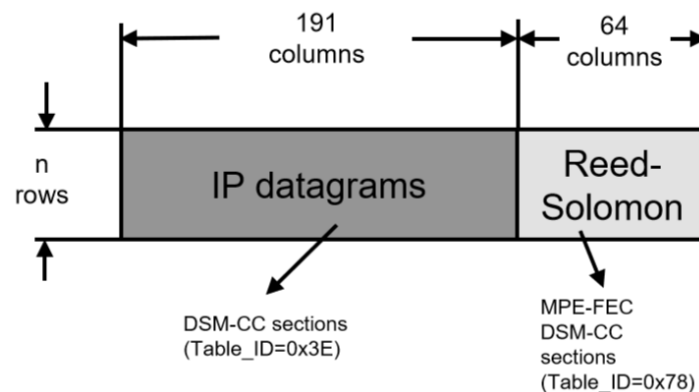
Untuk tujuan ini, 2 bit tambahan dari bit TPS (Transmission Parameter Signalling) yang dicadangkan, bit 42 dan 43, dan bit yang sudah digunakan digunakan. Detailnya dapat ditemukan pada Gambar 21.5.

Menggunakan mode 4K dan interleaving mendalam dalam mode 4K dan 2K memungkinkan pencapaian kinerja RF yang lebih baik di channel seluler. Pada saat yang sama, jarak pemancar yang dapat dicapai dalam mode 4K (sekitar 35 km) lebih besar dengan faktor 2 dibandingkan dengan mode 2K (sekitar 17 km) dalam jaringan SFN.

Selain channel 8, 7 atau 6 MHz yang dikenal dari DVB-T, bandwidth 5 MHz (L band) sekarang dapat dipilih di DVB-H.

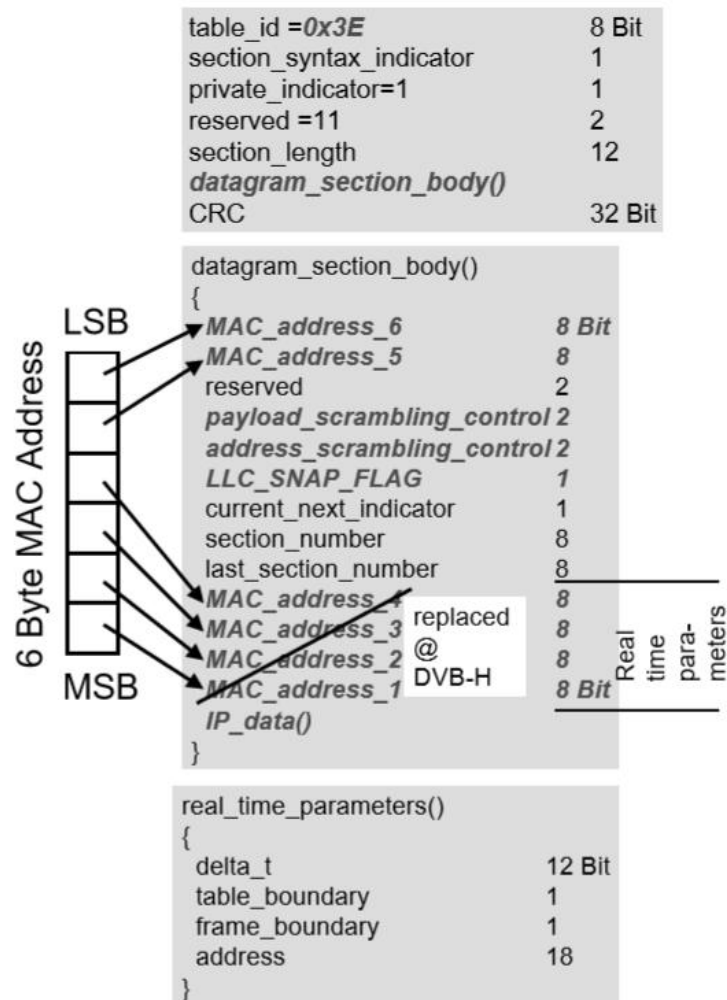
Modifikasi lain ditemukan dalam struktur transport stream MPEG-2.

Dalam DVB-H, transmisi IP dicapai melalui transport stream MPEG-2 melalui Enkapsulasi Multiprotokol (MPE) yang telah dijelaskan. Namun, dibandingkan dengan MPE konvensional, ada beberapa fitur khusus di DVB-H: paket IP dapat dilindungi dengan FEC Reed Solomon tambahan (Gbr. 21.7.). Reed Solomon FEC dari datagram IP ditransmisikan di bagian MPE FEC-nya sendiri. Bagian ini memiliki nilai 0x78 sebagai Table_ID. Header bagian FEC ini memiliki struktur yang sama dengan bagian MPE. Karena transmisi FEC yang terpisah, penerima dapat mengambil paket IP bahkan tanpa evaluasi FEC jika tidak ada kesalahan. Selanjutnya, informasi IP yang akan ditransmisikan digabungkan ke dalam slot waktu dalam transport stream MPEG-2. Dalam slot waktu, waktu t hingga awal slot waktu berikutnya ditandai di header DSM-CC. Setelah menerima slot waktu, ponsel kemudian dapat "tidur" lagi hingga sesaat sebelum slot waktu berikutnya untuk menghemat daya baterai. Rata-rata, kecepatan data dalam slot waktu akan mencapai sekitar 400 kbit/s, tergantung pada aplikasinya. Ini adalah informasi IP yang diminta secara bersamaan oleh banyak pengguna. Untuk memberi sinyal waktu t hingga slot waktu berikutnya, digunakan 4 dari total 6 byte yang disediakan untuk alamat MAC tujuan di header DSM-CC. Akhir slot waktu ditandai melalui batas bingkai dan bit batas tabel di bagian MPE dan FEC (Gbr. 21.8.). Penerima seluler diberitahu tentang di mana layanan IP dapat ditemukan melalui tabel SI baru, Tabel Pemberitahuan MAC IP (INT) dalam transport stream MPEG-2. Parameter slot waktu juga ditransmisikan di sana (Gbr. 21.8.).

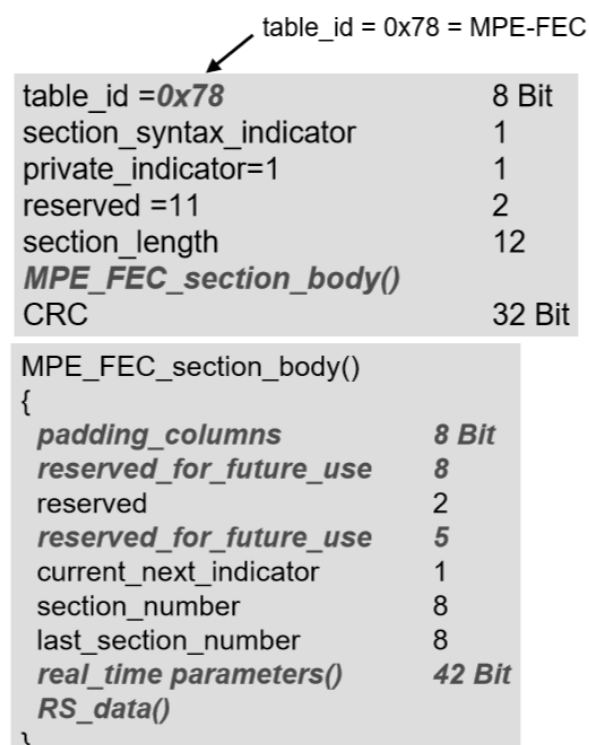


Gambar 21.7. Bagian MPE dan FEC di DVB-H

Alih-alih 4 byte alamat MAC yang paling tidak signifikan, bagian MPE di DVB-H berisi parameter slot waktu, waktu t hingga awal slot waktu baru dalam langkah 10 ms, dan dua "batas_tabel" dan "batas_bingkai" bit. "table_boundary" menandai bagian terakhir dalam irisan waktu dan "frame_boundary" menandai akhir sebenarnya dari irisan waktu, terutama ketika bagian MPE FEC digunakan.



Gambar 21.8. Struktur bagian MPE dengan parameter slot waktu menurut DVB-H



Gambar 21.9. Struktur bagian DVB-H MPE FEC dengan parameter slot waktu

21.7. Ringkasan

DVB-H mewakili konvergensi antara GSM/UMTS dan DVB. Jaringan radio seluler GSM/UMTS digunakan sebagai channel interaktif melalui layanan tingkat tinggi seperti, mis. video streaming (H.264/MPEG-4 Bagian 10 AVC Advanced Video Coding atau Windows Media 9) diminta yang kemudian ditransmisikan baik melalui jaringan radio seluler (UMTS) atau dipetakan ulang ke jaringan DVB-H. Di DVB-H, jaringan DVB-T secara virtual digunakan secara fisik, dengan beberapa modifikasi dari Standar DVB-T. Sebagai bagian dari DVB-H, mode operasi tambahan diperkenalkan:

- Mode 4K sebagai kompromi yang baik antara mode 2K dan 8K dengan 3409 operator yang sekarang digunakan
- Interleaving mendalam dimungkinkan dalam mode 4K dan 2K
- 2 bit TPS baru untuk pensinyalan tambahan dan pensinyalan tambahan melalui bit TPS yang sudah digunakan
- Mengiris waktu untuk menghemat daya
- Paket IP dengan perlindungan FEC
- Pengenalan channel 5 MHz (pita L)

Dalam aliran transport MPEG/2, Enkapsulasi Multiprotokol diterapkan dalam metode time slicing. Paket IP yang akan ditransmisikan dapat dilindungi oleh kode FEC Reed Solomon tambahan. Terminal pengguna akhir diberitahu melalui tabel DVB-SI baru tentang di mana ia dapat menemukan layanan IP.

Pada akhir tahun 2003, prototipe pertama dari terminal berkemampuan DVB-H disajikan yang memiliki penerima DVB-H yang terintegrasi dalam paket baterai yang dimodifikasi.

Protocol

- DVB-H MAC [0x 05 06]
 - MPE Section
 - MPE-FEC Section

Content

- IP: 254.128.0.0.0.0.0.0.2:13:86:255:254:128:52:127 --> 255:14:0

Table: datagram_section (MPE) for DVB-H

table_id	8 bit	0x3E	DSM_CC sections with pri
section_syntax_indicator	1 bit	1	
private_indicator	1 bit	0	
reserved	2 bit	0x3	
section_length	12 bit	1377	

Section (MPE) for DVB-H

MAC_address_6	8 bit	0x06	
MAC_address_5	8 bit	0x05	
reserved	2 bit	0x3	
payload_scrambling_control	2 bit	0	
address_scrambling_control	2 bit	0	
LLC_SNAP_flag	1 bit	0	
current_next_indicator	1 bit	1	
section_number	8 bit	0	
last_section_number	8 bit	0	
delta_t	12 bit	772	in units of 10 ms
table_boundary	1 bit	0	
frame_boundary	1 bit	0	
address	18 bit	0x00000	FEC
IP_datagram			
CRC_32	32 bit	0x6053506A	CRC32 ok

MPE Connection: IP: 254:128:0:0:0:0:0:2:13:86:255:254:128:52:127 --> 255:14:0

MAC Address	: 0x 05 06
Address Scrambling Ctrl	: 0x0
Payload Scrambling Ctrl	: 0x0
LLC SNAP Flag	: 0x0
IP Datagram Version	: 6
IP Src Address	: 254:128: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 2: 13: 86:255:254:
IP Dst Address	: 255: 14: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 0:

Gambar 21.10. Representasi Bagian DVB-H pada Penganalisis MPEG-2

21.8. DVB-SH

DVB-SH adalah singkatan dari Mobile TV via satelit dan jalur terestrial dan pada akhirnya merupakan kombinasi virtual DVB-H dan DVB-S2 dengan parameter teknis yang diubah. Siaran terestrial ditujukan untuk pusat populasi dan cakupan satelit di pita S (21.270 hingga 2200 GHz) untuk daerah pedesaan. Pita MSS (layanan satelit bergerak) ini berada di sebelah pita UMTS. Siaran terestrial menggunakan teknologi multicarrier COFDM, yang dikenal dari DVB-T/H, di pita UHF dan tautan satelit menggunakan metode modulasi single-carrier dalam kisaran GHz dekat di mana GPS seluler juga bekerja dengan sangat baik. Penerimaan satelit lebih sulit di pusat-pusat populasi karena gedung-gedung tetapi jangkauan terestrial dari menara TV hemat biaya; sebaliknya berlaku di daerah pedesaan. Proposal DVBSH yang berasal dari Alcatel sekarang menjadi standar ETSI [EN302583] yang diterbitkan pada Agustus 2007. Dalam parameter teknis, perubahan dibuat dalam perlindungan kesalahan; waktu interleaver diperpanjang menjadi sekitar 300 ms dan pengkodean convolutional digantikan oleh pengkodean turbo.

Pada jalur langsung dan tidak langsung dari satelit atau melalui repeater atau menara TV (Gbr. 21.11.), parameter teknis DVB-SH adalah:

- Berasal dari DVB-T/H
- Modus COFDM
- QPSK
- 16QAM
- FEC = 3GPP2 turbo encoder (dimodifikasi dan diperpanjang)
- 1k, 2k, 4k, 8k mode
- Modulasi hierarkis melalui 16QAM, $\alpha = 1, 2, 4$
- Bandwidth 8, 7, 6, 5, 1,7 MHz.

Di jalur langsung dari satelit ke terminal saja, parameter teknisnya juga bisa (Gbr. 21.11.):

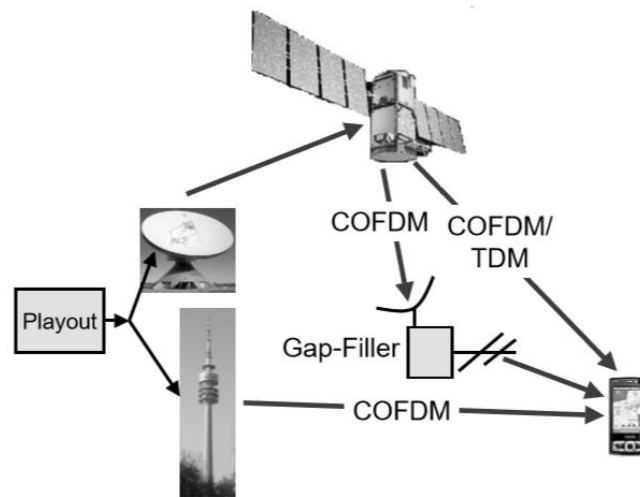
- Berasal dari DVB-S2
- Mode TDM operator tunggal
- QPSK
- 8PSK
- 16APSK
- FEC = 3GPP2 turbo encoder (dimodifikasi dan diperpanjang)
- Bandwidth 8, 7, 6, 5, 1,7 MHz.

Seperti pada DVB-H, sinyal pita dasar yang digunakan adalah aliran transport MPEG-2 dengan time slicing tetapi aliran umum tidak dikecualikan (dianggap sebagai opsi). Di DVB-SH, dua mode operasi disediakan:

- Tipe 1: SH-A-SFN: Frekuensi yang sama digunakan baik untuk jalur satelit maupun terestrial.
- Tipe 2: SH-B atau SH-A-MFN: Frekuensi yang berbeda digunakan untuk jalur satelit dan terestrial.

Berkenaan dengan kedalaman interleaver waktu, dua jenis penerima telah ditentukan dalam DVB-SH:

- Penerima kelas 1: Hanya memori interleaver 4 Mbit
- Penerima kelas 2: memori interleaver 512 Mbit.



Gambar 21.11. Skenario transmisi DVB-SH

Baik DVB-H maupun DVB-SH bukanlah kesuksesan pasar. Mungkin terlalu dini untuk standar itu? Ponsel pintar itu masih belum berkembang ketika DVB-H dan DVB-SH dicoba untuk diperkenalkan ke pasar.

DIGITAL VIDEO

Dr. Unang Achlison, ST, M.Kom

BIO DATA PENULIS



Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yaitu sarjana teknik elektro yang diperoleh dari Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang, magister teknologi informasi yang diperoleh dari Universitas Dian Nuswantoro (UDINUS) Semarang dan doktor Administrasi Pendidikan (Manajemen Pendidikan) yang diperoleh dari Universitas Negeri Semarang (UNNES). Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sekarang mengabdikan sebagai dosen di Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM).

Penulis memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor 300 (Assistant Profesor) dan telah menghasilkan beberapa Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta produk berbasis IPTEK, Sertifikat TOEFL dan Jurnal Ilmiah Internasional. Penulis sebagai dosen telah mengampu matakuliah Microcontroller, Aplikasi Animasi Digital, dan Audio Video.



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 978-623-6141-88-5 (PDF)

