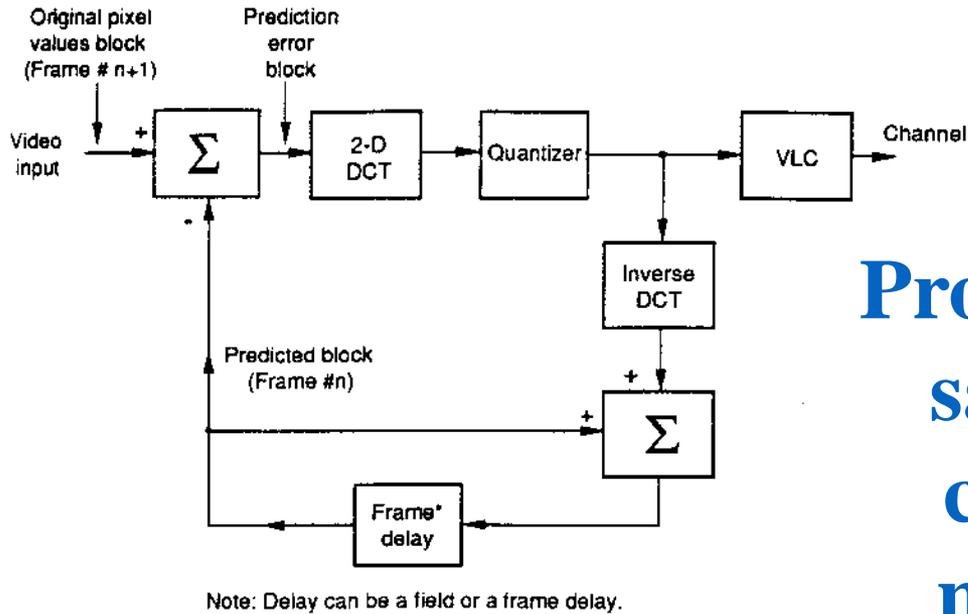


Compresión de la señal digital y su distribución: MPEG

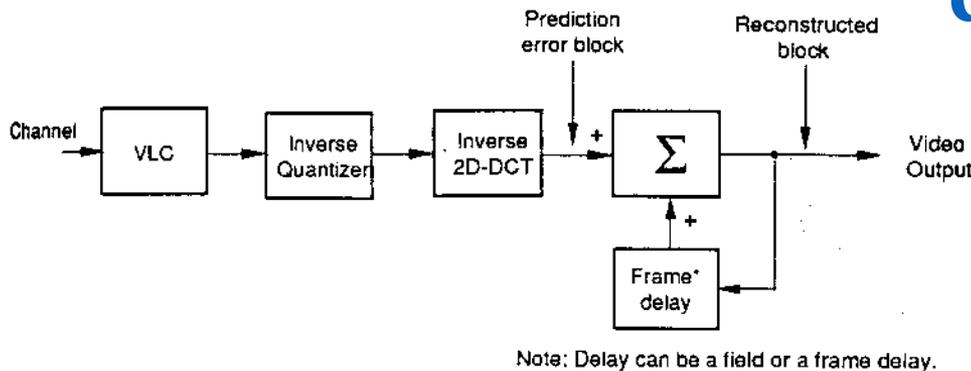
[Rafael Sotelo](#)

Técnicas temporales de reducción de datos

a) Hybrid DCT/DPCM encoder

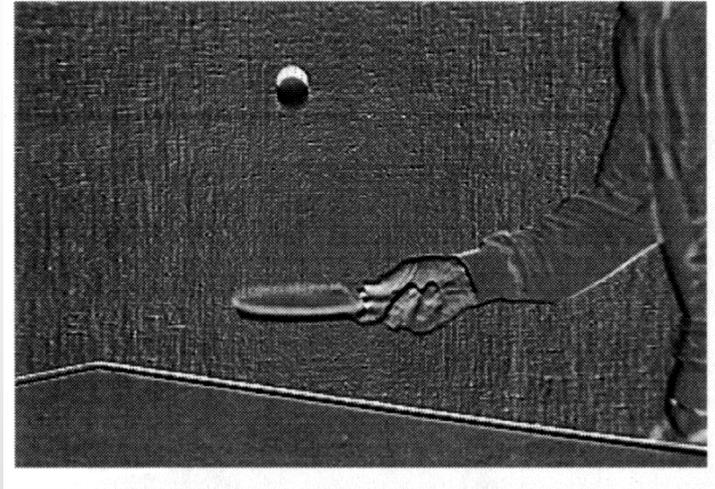
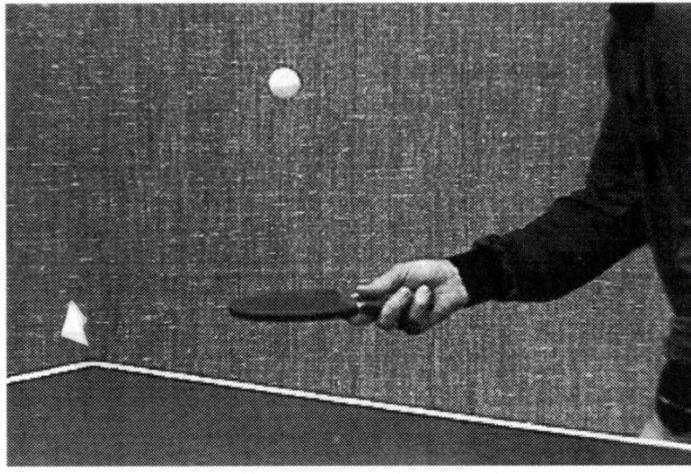
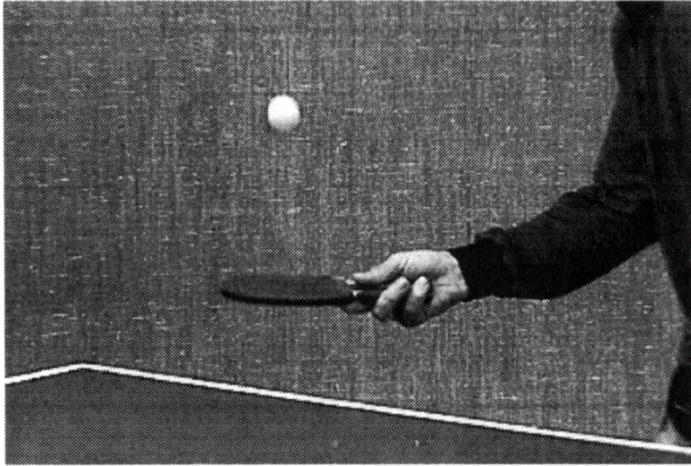


b) Hybrid DCT/DPCM decoder



Problema: no es satisfactorio cuando hay movimiento entre los cuadros

Figure 8.24 Hybrid DCT/DPCM encoder/decoder with temporal and spatial data decorrelation.



Técnica de predicción de compensación de movimiento

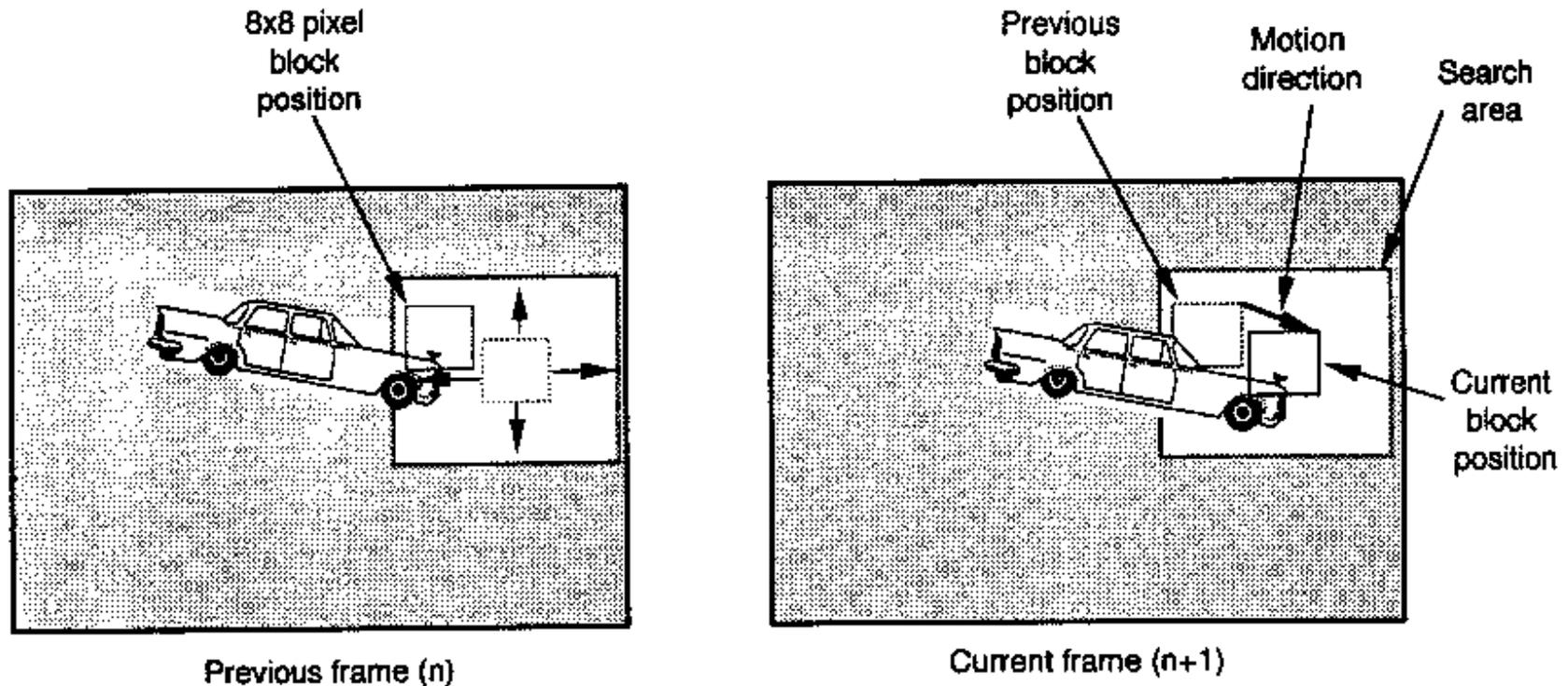


Figure 8.25 Motion vectors between two consecutive frames.

Se calculan los vectores de movimiento en base a los macrobloques de la señal de luminancia

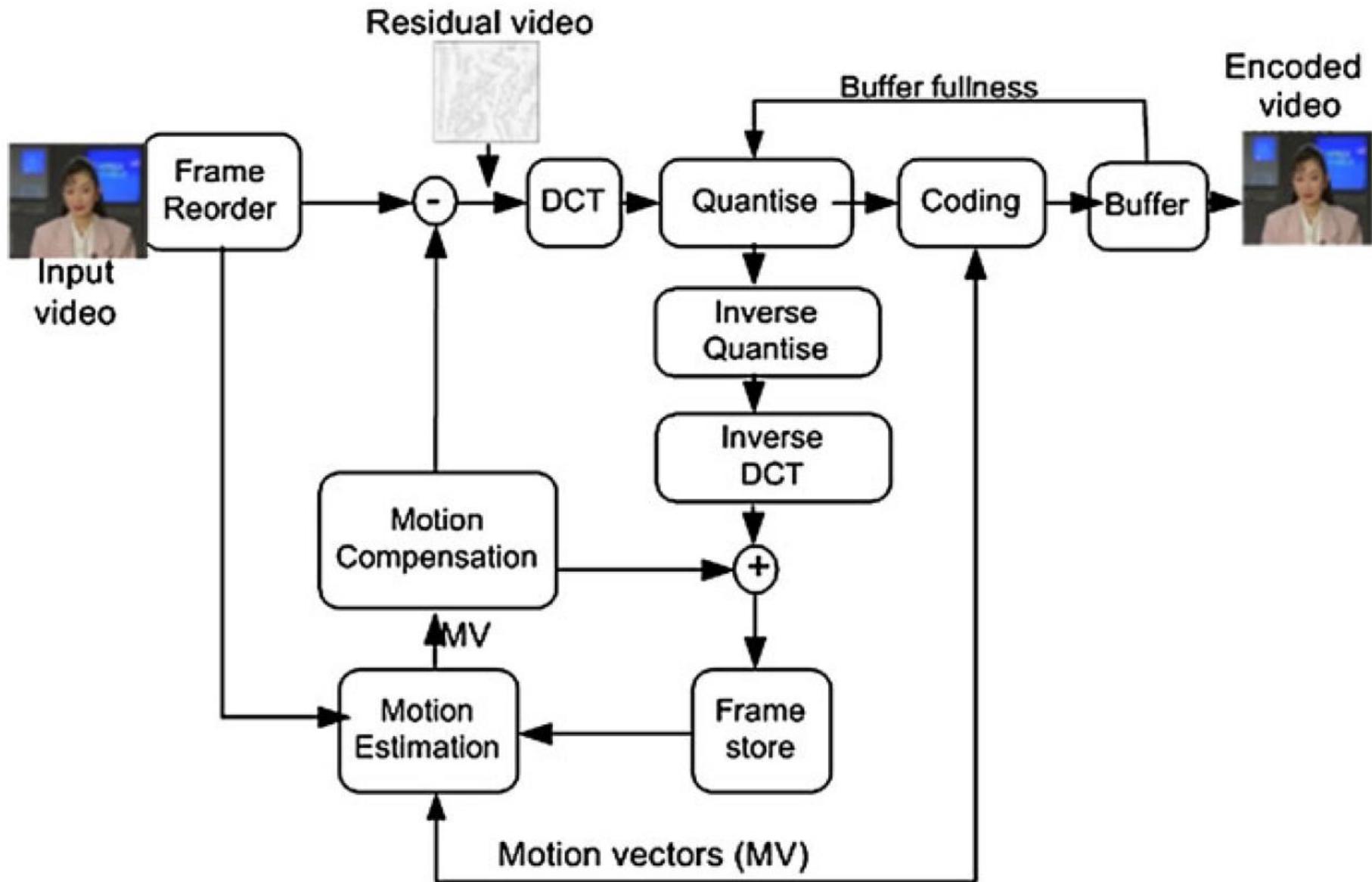
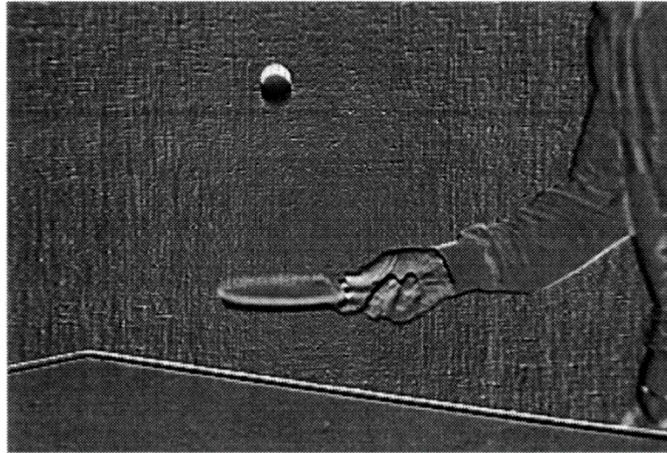
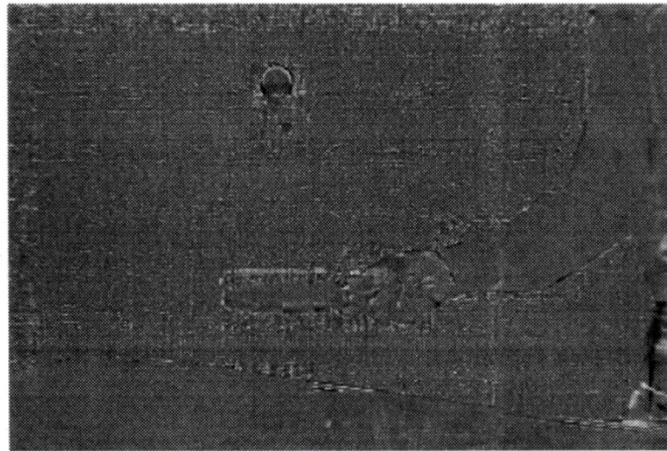


Fig. 3.5 A simplified MPEG-2 encoder

Compensación de Movimiento



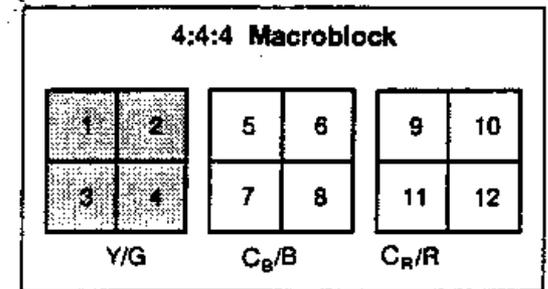
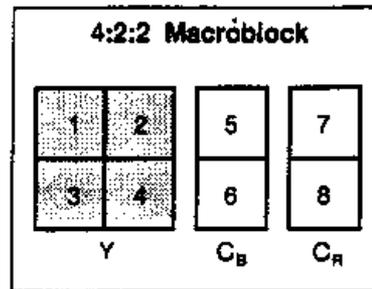
Sin Compensación
de Movimiento



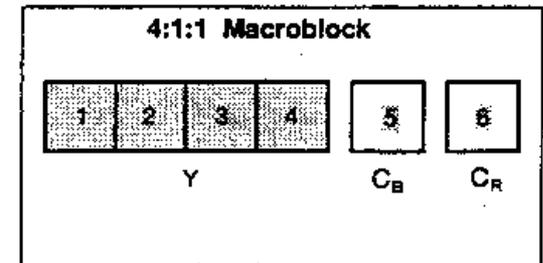
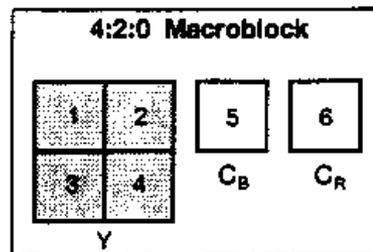
Con Compensación
de Movimiento

Técnica de predicción de compensación de movimiento

Los vectores de movimiento se calculan en base a los macrobloques de la señal de luminancia

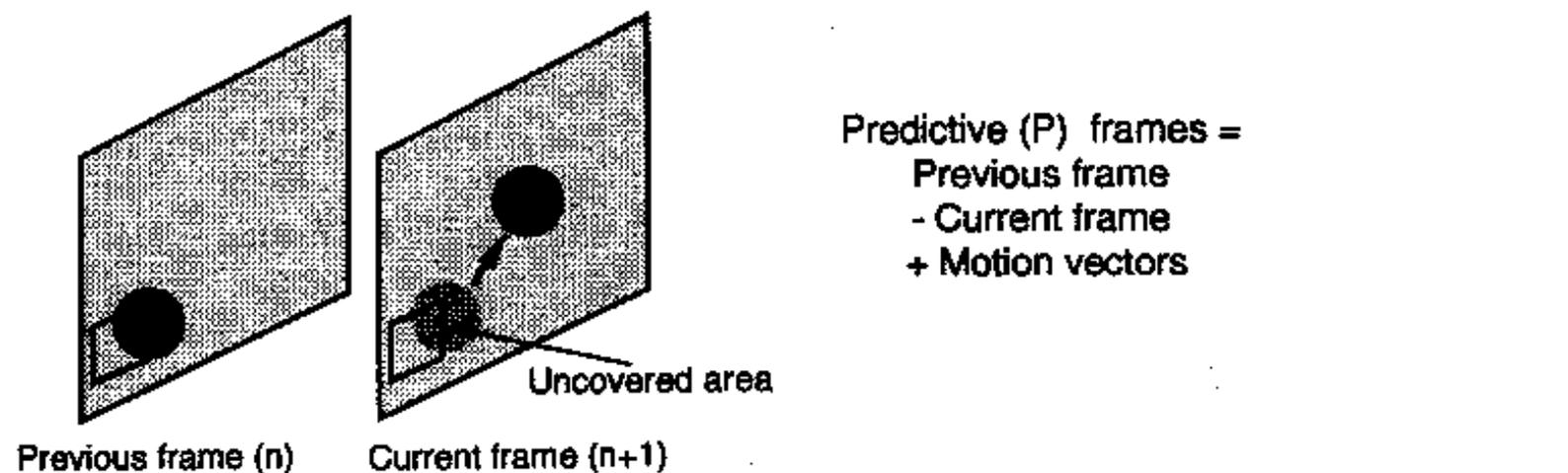


Se transmiten los vectores de movimiento junto con los coeficientes DCT diferencia en el macrobloque actual

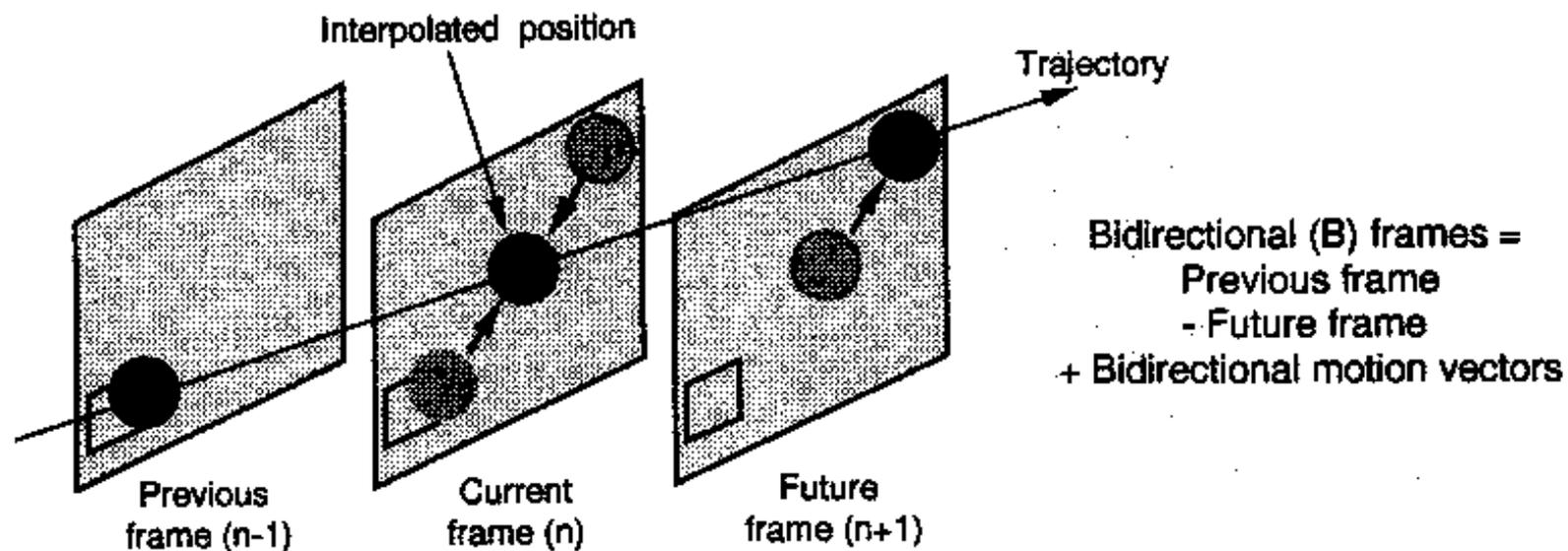


Note: All blocks are made of 8 pixels x 8 lines. The block numbering corresponds to the order in which all blocks within a macroblock are sent to the DCT process.

Figure 8.15 Macroblock structures of various sampling formats.

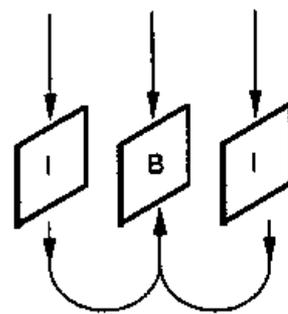
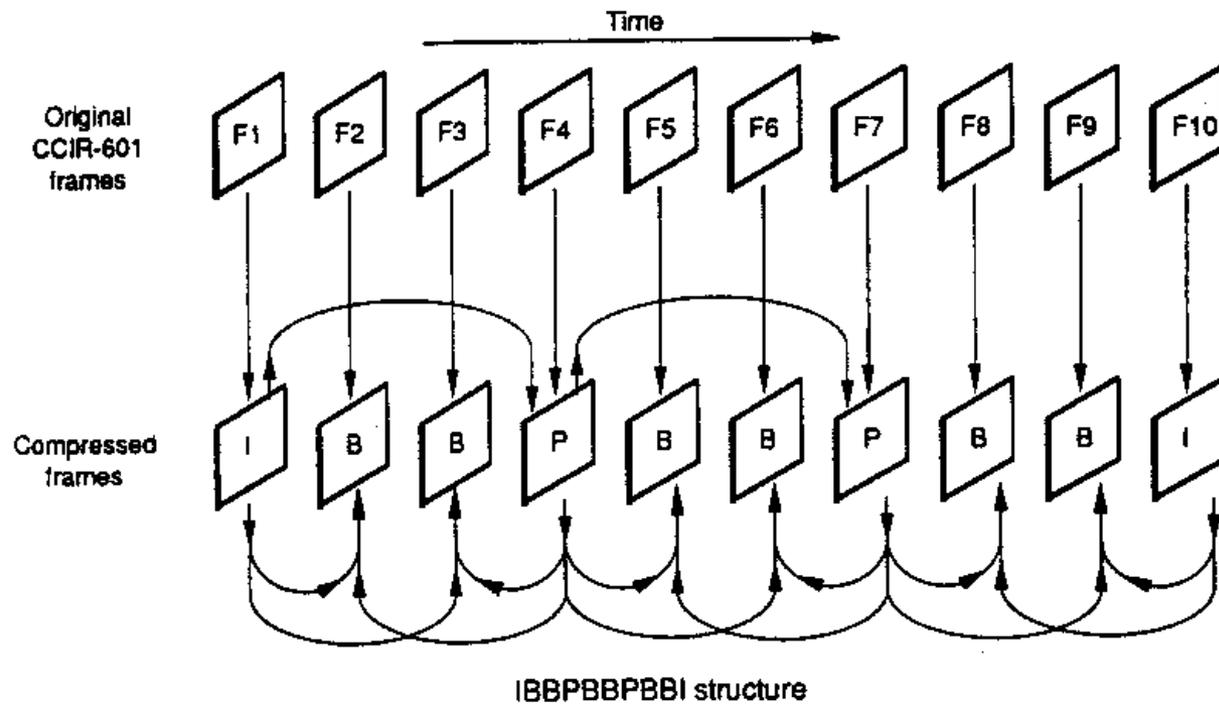


a) Unidirectional MCP

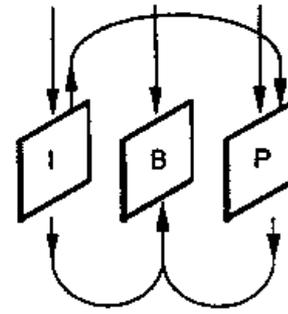


b) Motion compensated interpolation

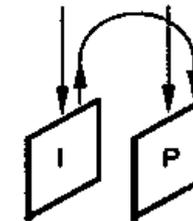
Figure 8.27 Unidirectional and Bidirectional Motion Compensation Prediction (MCP).



IB structure



IBP structure



IP structure

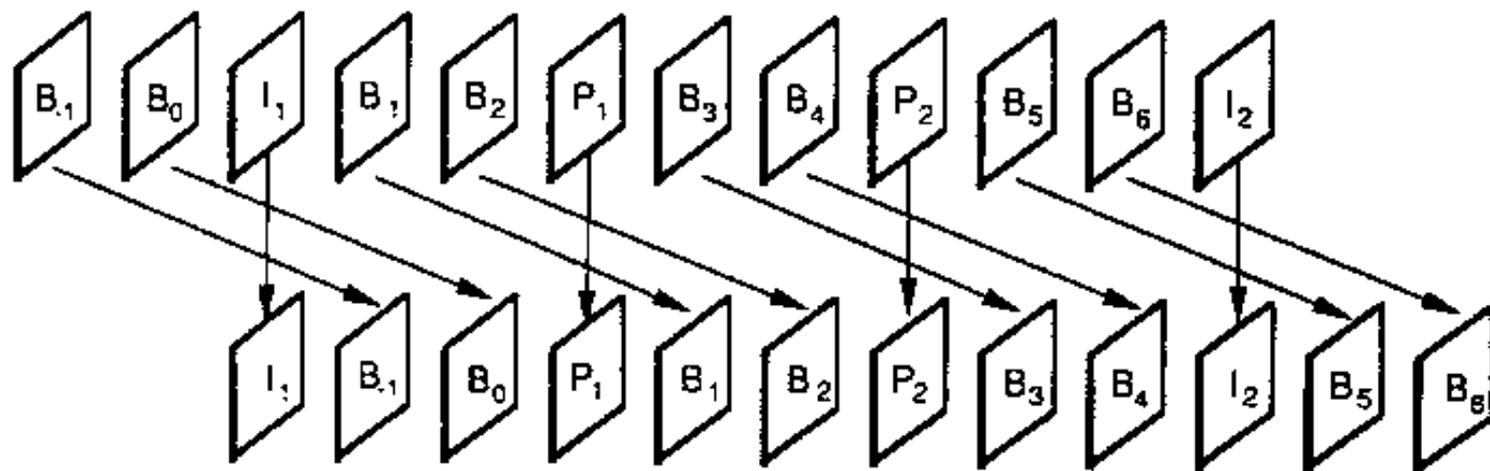
I = Intra-coded frames

P = Predictive coded frames (Forward prediction)

B = Bidirectionally interpolated frames (Bidirectional prediction)

Figure 8.30 Typical Group of Pictures (GOP) in MPEG systems.

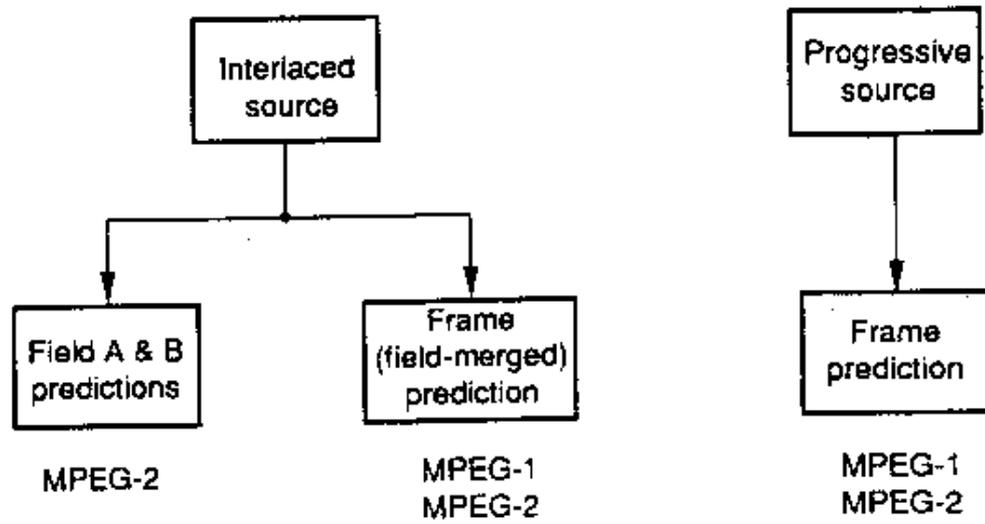
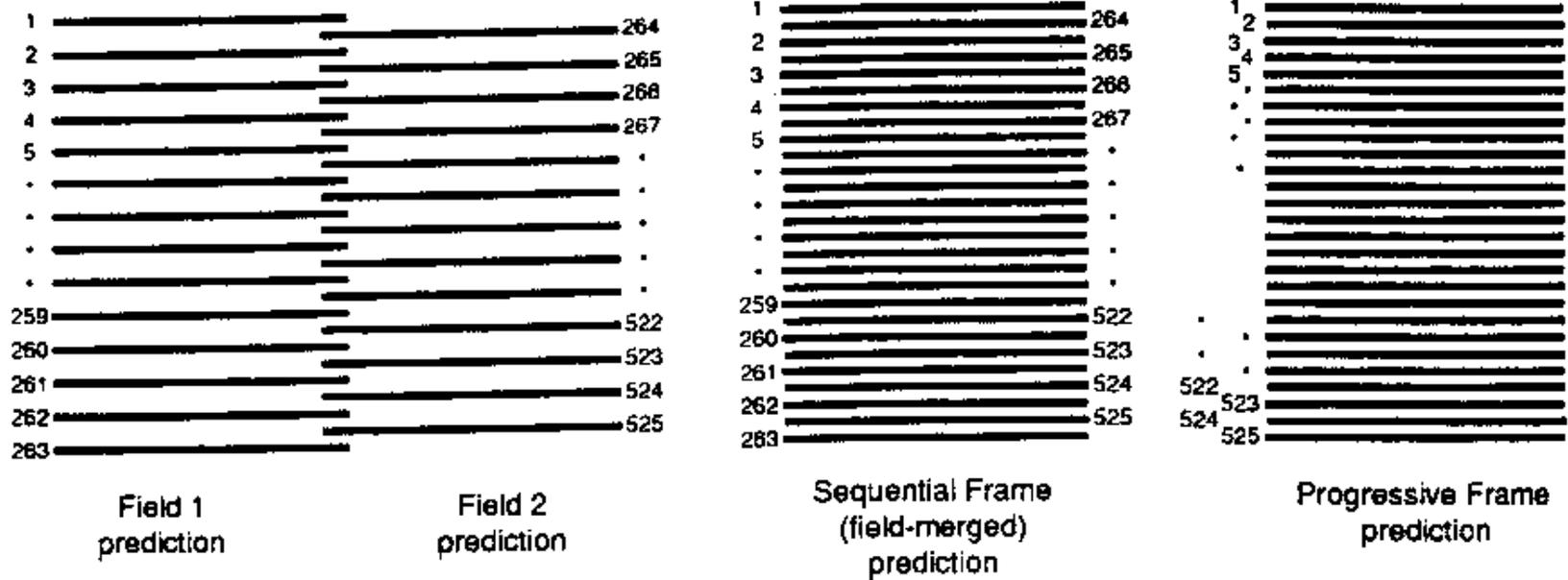
Compressed
video
Frame display
order



Video frame
encoding and
transmission
order

Figure 8.28 Video data frame ordering.

- Se define una estructura llamada Group of Pictures (GOP)
 - m que define el número de cuadros desde el primer I hasta el último B o P del GOP
 - n que define el número de cuadros B entre dos cuadros P
- GOPs típicos:
 - PAL \rightarrow 12, 2
 - NTSC \rightarrow 15, 2



b) Use of predictions in present compression standards

Figure 8.29 Field and frame predictions based on source scanning formats.

- Técnicas de procesamiento complementarias
 - Prefiltrado: sacar altas frecuencias para evitar 'artifacts'. Desventaja: pérdida de resolución en la imagen.
 - Reducción de ruido: Hay diversas técnicas para sacarlo, ya que el ruido es difícil de codificar e insume mucho bitrate.

Defectos de procesamiento con altas tasas de compresión

- *Efecto «Mosquito»*. Discontinuidad en los contornos de los bloques causadas por cuantización excesiva de los coeficientes DCT
- *Pérdida de detalles*: las texturas suaves se "suavizan" porque la cuantización de la DCT elimina las componentes de altas frecuencias y amplitudes bajas
- *Segmentación de movimiento*: en objetos con texturas de bajo contraste, algunas zonas de la imagen permanecen estáticas cuando no deben, porque el macrobloque correspondiente (y sus vectores de movimiento) se descartaron en cuadros P y B
- *Pérdida de detalle en los movimientos*: objetos en movimiento que presentan texturas detalladas se vuelven ruidosos o borrosos debido a errores en la detección de movimiento
- *Vaciamiento de Croma*: como la crominancia es despreciada en la detección de movimiento, regiones de diferentes colores con alta saturación pueden mezclarse en la imagen

Jerarquía de datos de video – MPEG-1 y MPEG-2

- Bloque – 8x8 píxeles. Base para DCT
- Macrobloque – grupo de bloques. 16x16. El header del macrobloque tiene información de su tipo (Y , C_B , C_R) y de los vectores de movimiento correspondientes.
- Slice – Formada por uno o más macrobloques contiguos. El header del slice contiene información sobre su posición en la imagen y el factor de cuantización usado. Protección de errores. El coeficiente DC de referencia es actualizado al comienzo de cada slice.

Jerarquía de datos de video – MPEG-1 y MPEG-2 (continuado)

- Picture – Dice qué tipo de cuadro es (I, B o P). En el header: orden de transmisión-despliegue, sincronización, resolución, y el rango de los vectores de movimiento.
- GOP – Empieza siempre por un cuadro I. Provee puntos de comienzo para edición. El header tiene código de tiempos y control de 25 bits.
- Video Sequence – Header, uno o más GOPs y un código de fin de secuencia. Información de tamaño horizontal y vertical, pixel aspect ratio, bit rate, picture rate, minimum decoder buffer size. Constituye el *encoded bit stream* o *video elementary stream*.

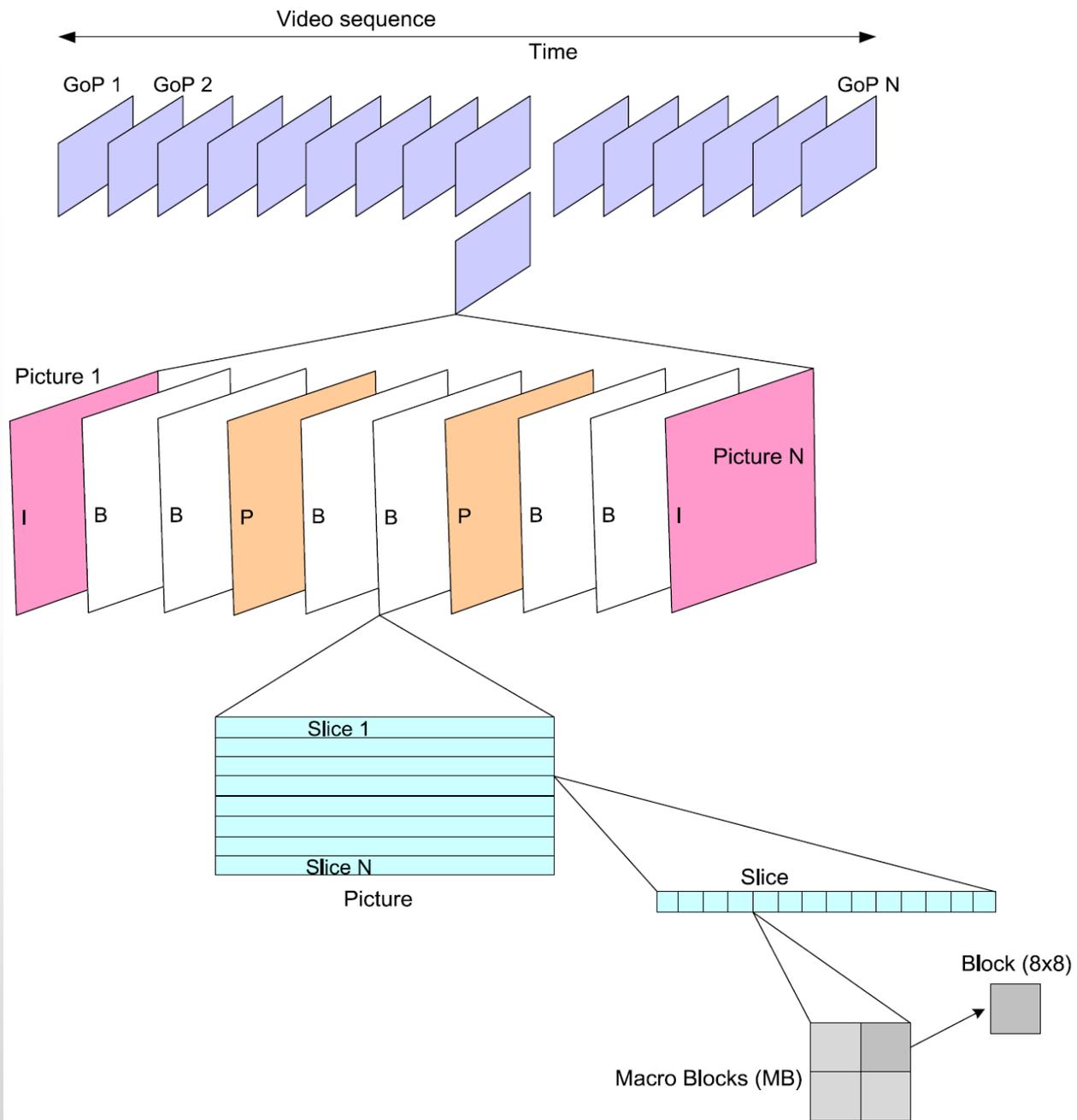


Fig. 3.6 MPEG-2 coded video structure

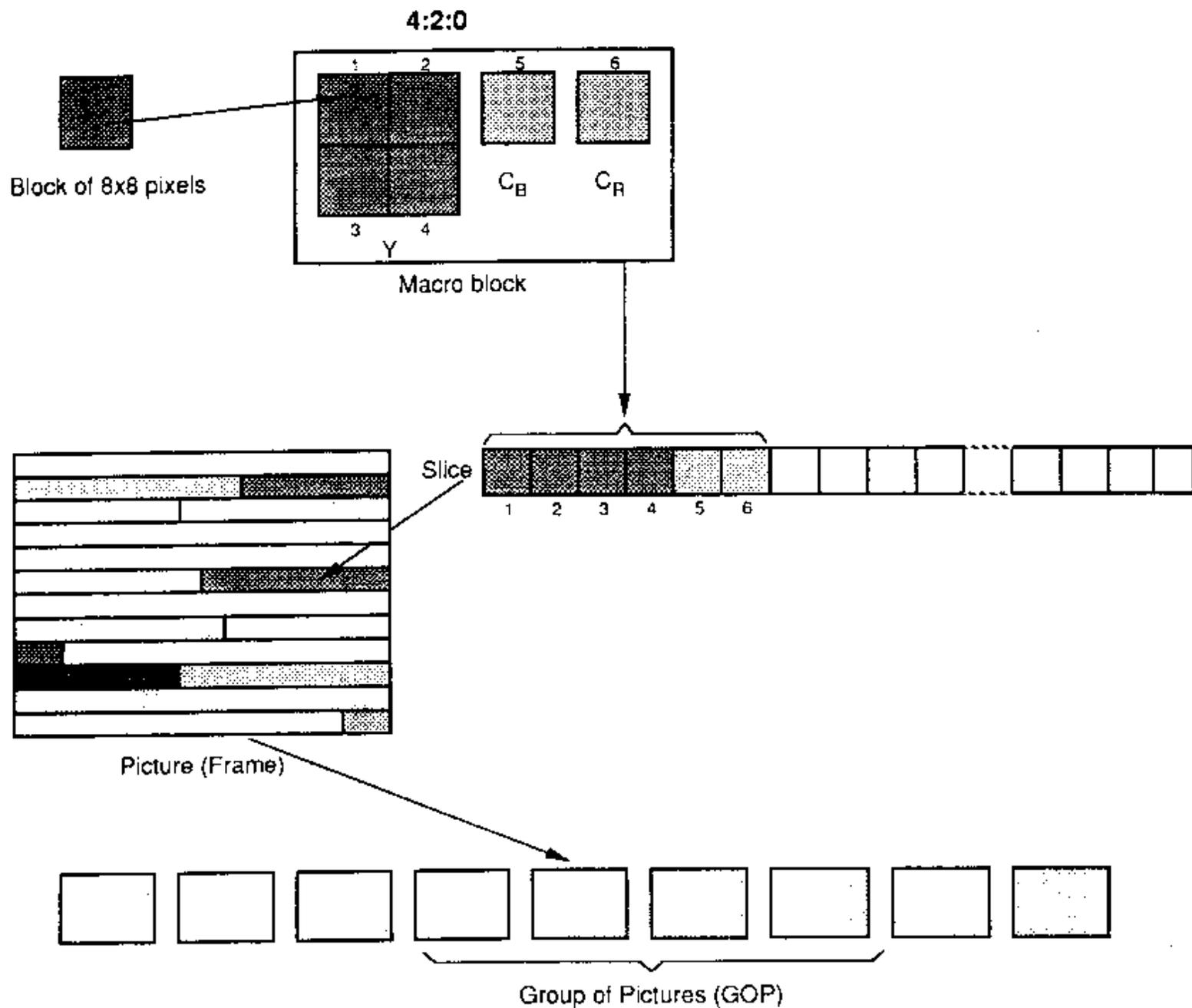


Figure 8.31 Architecture of the MPEG video data stream.

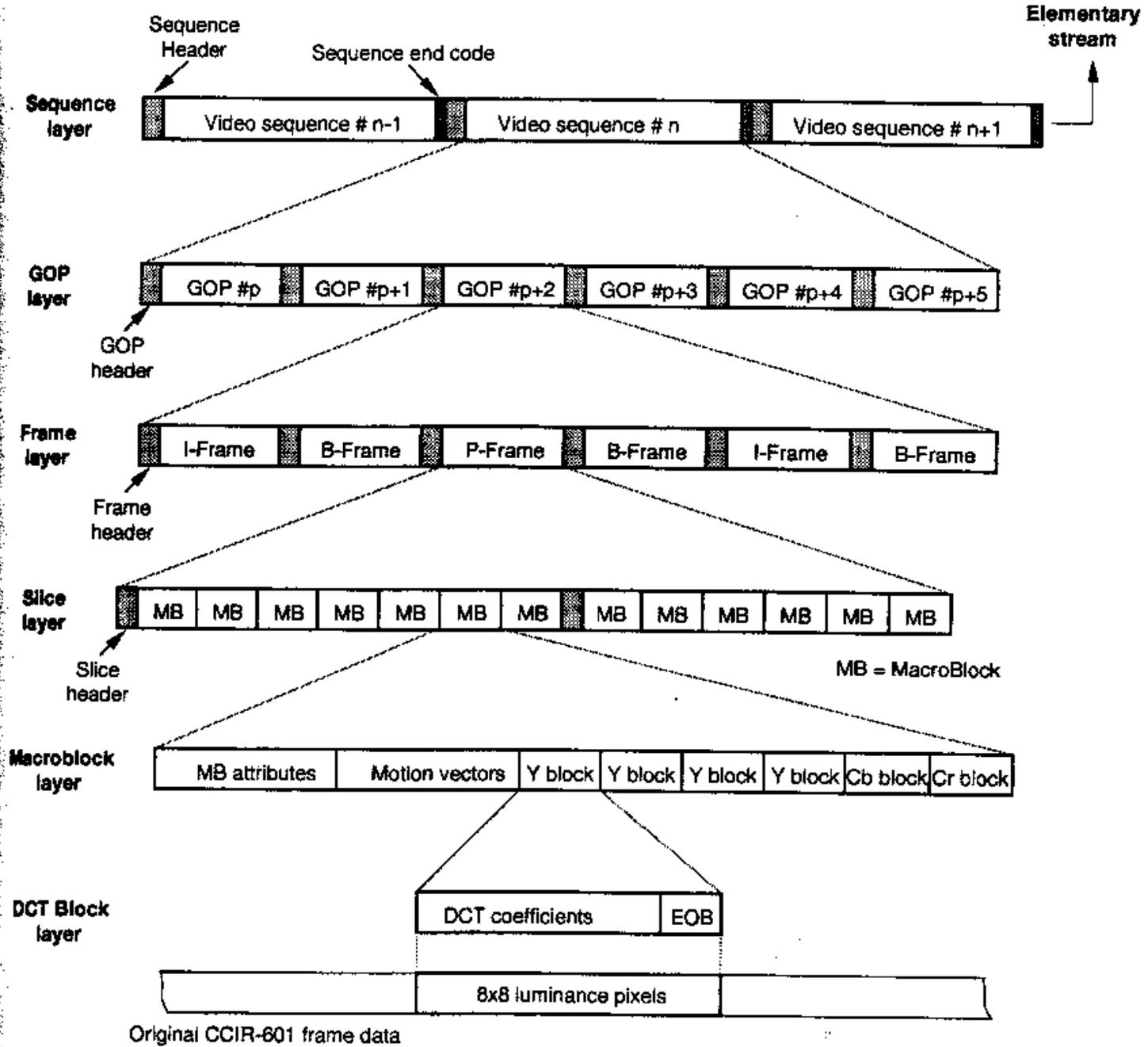
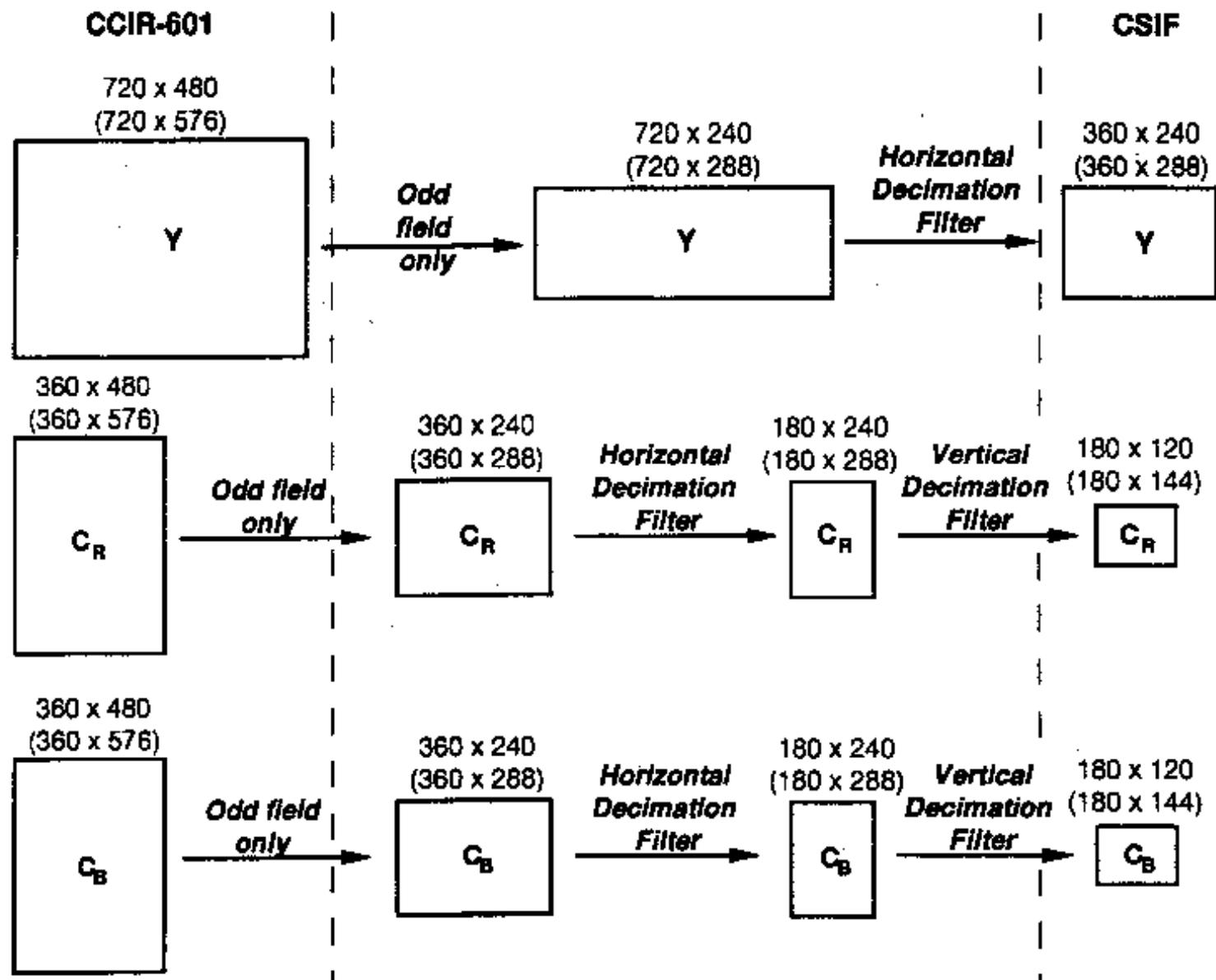


Figure 8.32 Structure of MPEG compressed-image data.

MPEG-1 ISO/IEC 11172

- Desarrollado para uso de video y audio a 1.5 Mbps aprox.
- Usos: almacenamiento, video games, publicaciones electrónicas y educación.
- Formato CSIF (common source intermediate format) a 30fps, aceptable, similar o superior a VHS



Note: Values in brackets are related to the 625 lines, 50 Hz, scanning format.

Figure 8.33 Conversion processes from CCIR-601 into CSIF and pixel array sizes.

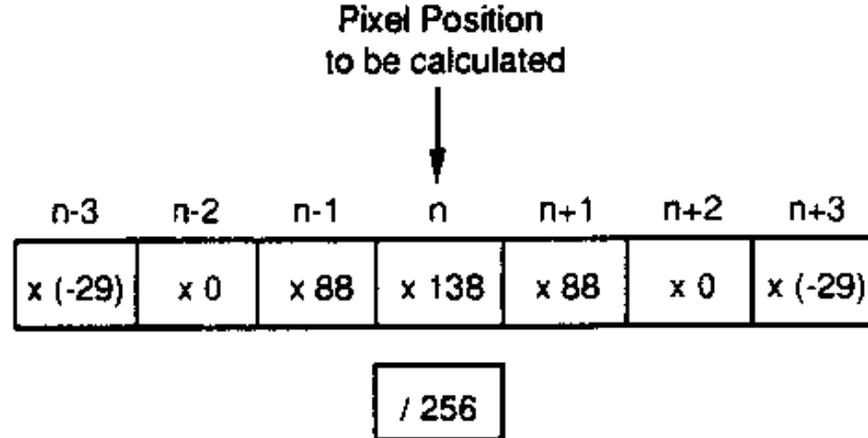


Figure 8.34 Decimation filter coefficients adjacent pixels.

TABLE 8.4 Characteristics of CSIF-Based Image Formats

	CCIR-601 525	CSIF 525 4:2:0	CCIR-601 625	CSIF 625 4:2:0
Number of pixels per active line				
Luminance (Y)	720	352	720	352
Chrominance (C_B , C_R)	360	176	360	176
Sampling frequency MHz				
Luminance (Y)	13.5	6.75	13.5	6.75
Chrominance (C_B , C_R)	6.75	3.38	6.75	3.38
Number of active lines				
Luminance Y	480	240	576	288
Chrominance C_B , C_R	480	120	576	144
Frame rate, Hz	30	30	25	25
Image aspect ratio	4:3	4:3	4:3	4:3

the original data rate, which is equal to 166 Mbps for an 8-bit system, to 31.5 Mbps. A reverse converter is also necessary at the decoding receiver.

Estándar MPEG-1

- Parámetros restringidos para reducir la complejidad y el costo del decoder.
- 6 capas de jerarquía para la sintaxis del bit stream.
- Dos modos de funcionamiento:
 - Intraframe: DCT, cuantificación, codificación VLC
 - Interframe: Motion estimation, predicción motion-compensated para generar los cuadros P y B. NO ESPECIFICA EL ALGORITMO

TABLE 8.5 Bit-Stream Constraint Parameters for the MPEG-1 Encoding

Parameters	Maximum value
Picture width	768 pixels
Picture height	576 lines
Picture rate	30 picture/s
Number of macroblocks	396
Range-of-motion vectors	± 64 pixels
Input buffer size	327,680 bits
Bit rate	1.8 Mbps

Características MPEG-1

- Un espacio de color posible (Y, C_B, C_R)
- Una estructura de muestreo (4:2:0)
- Máximo tamaño 720x576
- Muestreo de 8 bits
- Precisión de 9 bits en proceso de DCT y cuantificación
- Cuantificador lineal DPCM para coeficiente DC
- Proceso de cuantificación adaptativa en capa de macrobloque

Características MPEG-1

- La precisión máxima del coeficiente DC: 8bits
- Las matrices de cuantificación pueden ser cambiadas en el nivel de secuencia. Es única para Y, C_B y C_R .
- RLC usa un esquema de Huffman modificado
- Tablas VLC no 'downloadables'
- Compensación de movimiento que permite compresión intraframe e intrafield.
- Sólo scanning progresivo

Características MPEG-1

- Usa cuadros P y B
- Resolución de estimación de movimiento de medio pixel
- Algoritmo asimétrico
- Máximo bit rate de 1.85 Mbps
- Permite acceso aleatorio de los cuadros de video, fast-forward/fast-reverse search, edición
- Es un subset de MPEG-2. Un decoder MPEG-2, decodifica MPEG-1

MPEG-2

- Extensión de MPEG-1.
- Mayor rango de aplicaciones a bit rates más altos, levantando muchas de sus restricciones
- El estándar sólo define la sintaxis del bit-stream y el proceso de decodificación
- ISO 113818-1 : Sistema
- ISO 113818-2 : Compresión de Video
- ISO 113818-3 : Compresión de Audio

Características MPEG-2

- Estructuras de muestreo 4:4:4, 4:2:2 y 4:2:0
- Los coeficientes DC pueden ser expresados con precisión extra
- Las matrices de cuantificación pueden ser cambiadas en el nivel de cuadro
- Diferentes matrices de cuantificación para luminancia y componentes de crominancia
- Capacidad de scanning interlaceado y progresivo. Permite estimación de compensación basada en esquema predictivo de campos

Características MPEG-2

- Predicciones por campo o por cuadro
- Capacidades de detección e indicación de errores reducen la sensibilidad de la señal a errores de transmisión. Frecuentes start codes permiten la resincronización de los decoders VLC.
- Cada picture header puede tener su tabla de cuantificación

MPEG-2 Levels and Profiles

- Las características y las herramientas de MPEG-2 son muchas para una variedad de aplicaciones. La integración en una sola sintaxis de bit-stream es complicada
- Se definen PROFILES (perfiles) que son subconjuntos jerárquicos
- Cada profile se asocia a LEVELS (niveles) que describen un conjunto de parámetros como tamaño de imagen, estructura de cuadro (I, B, P), máximo data rate, máximo frame rate y estructura de muestreo

<i>Profile</i> @ <i>Level</i>	MPEG-1 CPB	Simple (no B pictures)	Main (MP)	4:2:2 (422P)
High (HL)			1920×1152 60 Hz 80 Mb/s	1920×1088 60 Hz 300 Mb/s
High-1440 (H14)			1440×1152 60 Hz 47 Mb/s	
Main (ML)		720×576 30 Hz 15 Mb/s	720×576 30 Hz 15 Mb/s	720×608 30 Hz 50 Mb/s
Low (LL)			352×288 30 Hz 4 Mb/s	
MPEG-1 CPB † <i>max 99 Kpx</i>	768×576 [†] 30 Hz 1.856 Mb/s			

Table 47.1 MPEG-2 profiles, here arranged in columns, specify algorithmic features. (I exclude SNR, Spt, HP, and MVP.) MPEG-2 levels, here arranged in rows, constrain parameter values. Each entry gives maximum picture size, frame rate, and bit rate. The two shaded entries are commercially dominant: Main profile at main level (MP@ML) is used for SD distribution; main profile at high level (MP@HL) is used for HD distribution. SMPTE 308M places constraints on GoP structure for 422P@HL. Any compliant MPEG-2 decoder must decode an MPEG-1 *constrained-parameters bitstream* (CPB); the constrained parameters effectively constitute a profile/level combination.

<i>Profile@Level</i>	<i>Image columns (N_C)</i>	<i>Image rows (N_R)</i>	<i>Frame rate, Hz</i>	<i>Luma rate [samples/s]</i>	<i>Bit rate [Mb/s]</i>	<i>VBV size [KBytes]</i>
422P@HL	1920	1088	60	62,668,800	300	5,760
MP@HL	1920	1088	60	62,668,800	80	1,194
MP@H-14	1440	1088	60	47,001,600	60	896
422P@ML	720	608	60	11,059,200	50	1,152
MP@ML	720	576	30	10,368,000	15	224
MP@LL	352	288	30	3,041,280	4	58

Table 47.2 MPEG-2 main and 4:2:2 profiles are summarized. MP@ML and MP@HL are shaded to emphasize their commercial significance. The DVD-video specification requires MP@ML compliance, and imposes additional constraints. ATSC standards for 720*p*, 1080*p*, and 1080*i* HD require MP@HL compliance, and impose additional constraints.

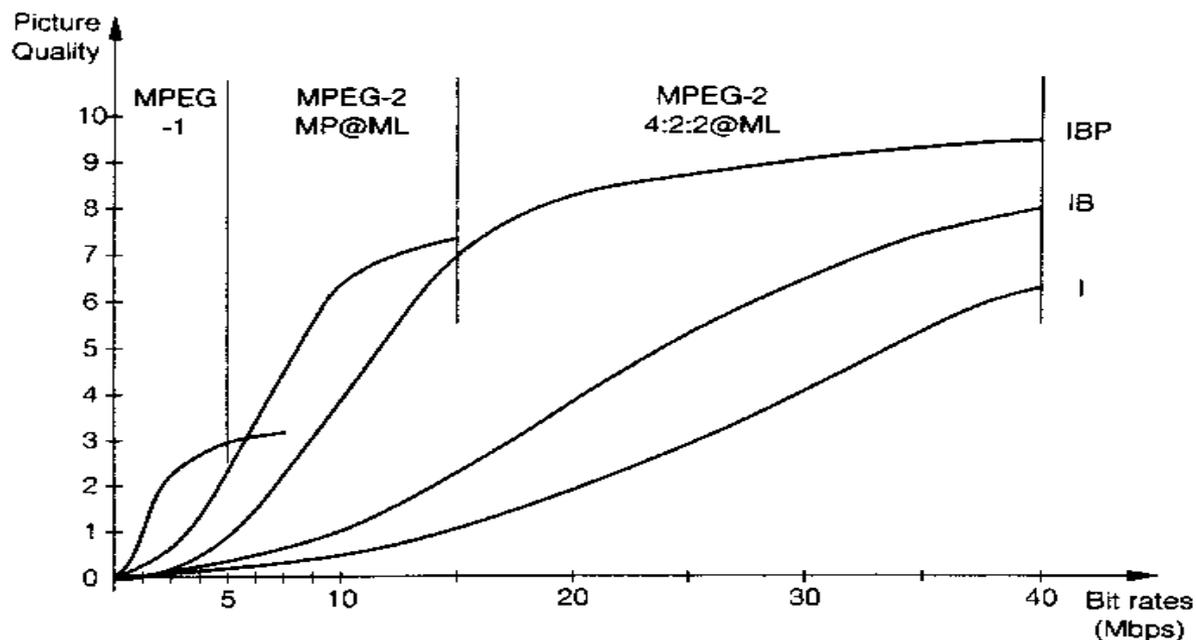


Figure 8.36 Different picture qualities are achieved with MPEG-1 and MPEG-2 standards, which depend on profiles and GOPs (Courtesy of Hewlett Packard company).

TABLE 8.7 Bit-Rate-Reduction Applications

Applications	Coding standard	Maximum spatial resolution	Temporal resolution, bps	Maximum bit rate
Videophone	H.261	176 × 144 QCIF	7.5	64–128 kbps
Videoconferencing	H.261	352 × 288 CIF	10–30	0.384–1.554 Mbps
Entertainment TV	MPEG-1	352 × 288	30	<1.554 Mbps
Cable	MPEG-2	720 × 576	30	4–9 Mbps
Contribution	DPCM MPEG-2	720 × 576	30	<50 Mbps
Studio/production	Motion-JPEG MPEG-2 (@4:2:2)	720 × 576	30	<50 Mbps
HDTV production	MPEG-2	1920 × 1280	30	100 Mbps
HDTV transmission	MPEG-2	1920 × 1280	30	20 Mbps

Distribución de señales comprimidas

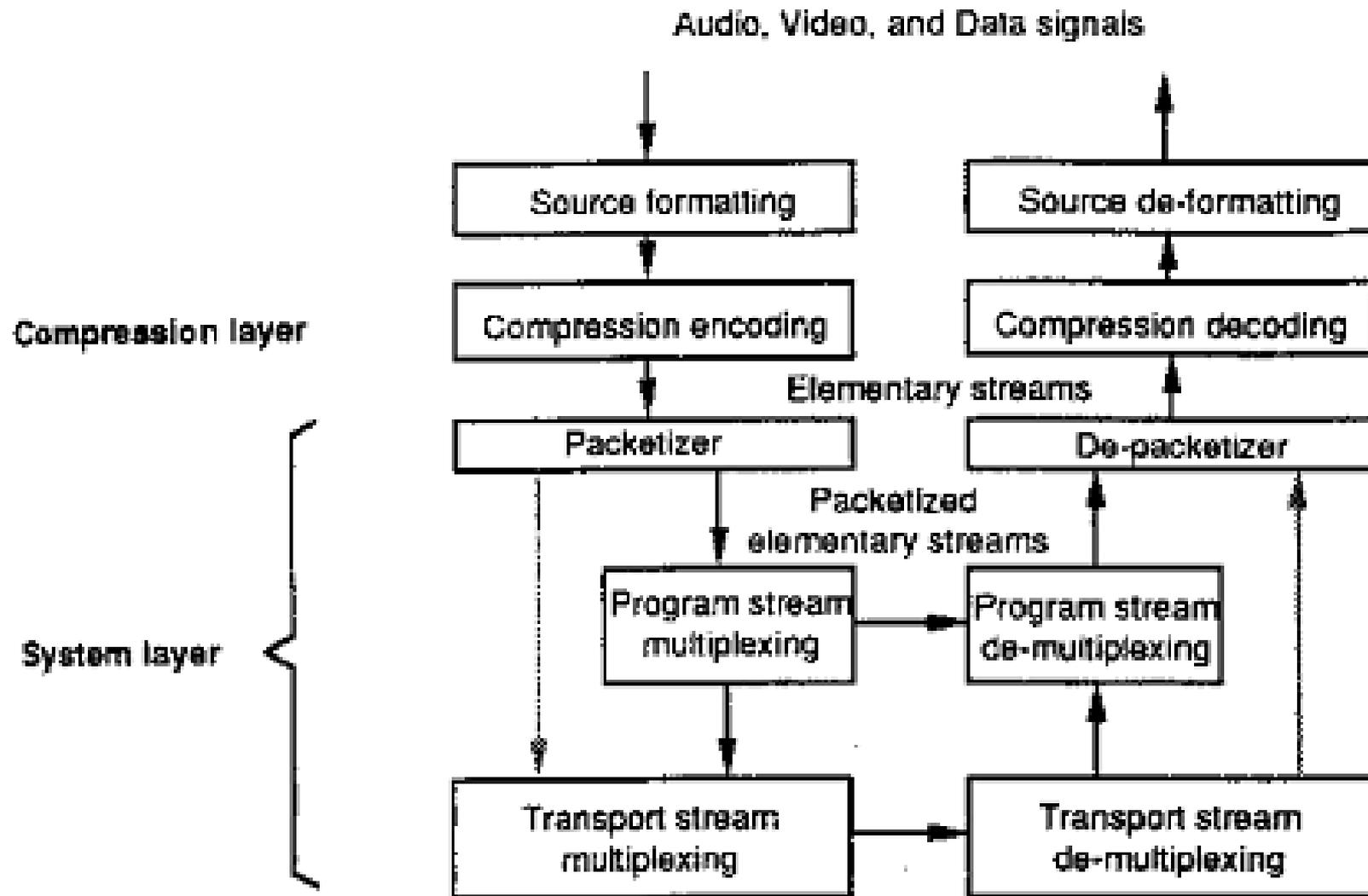


Figure 8.51 The MPEG-2 layered architecture.

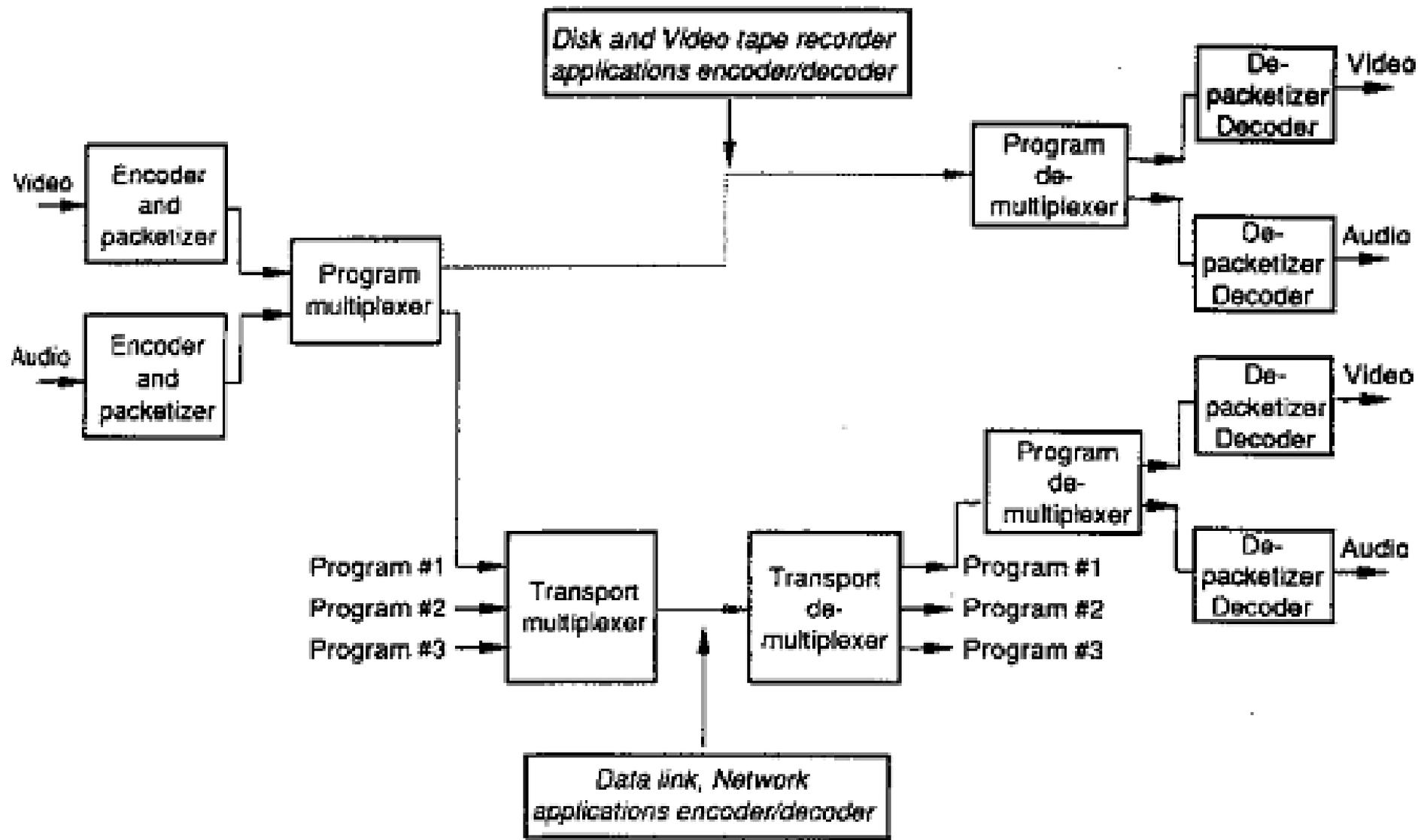


Figure 8.52 MPEG encoding of audio/video signals in program and transport data streams.

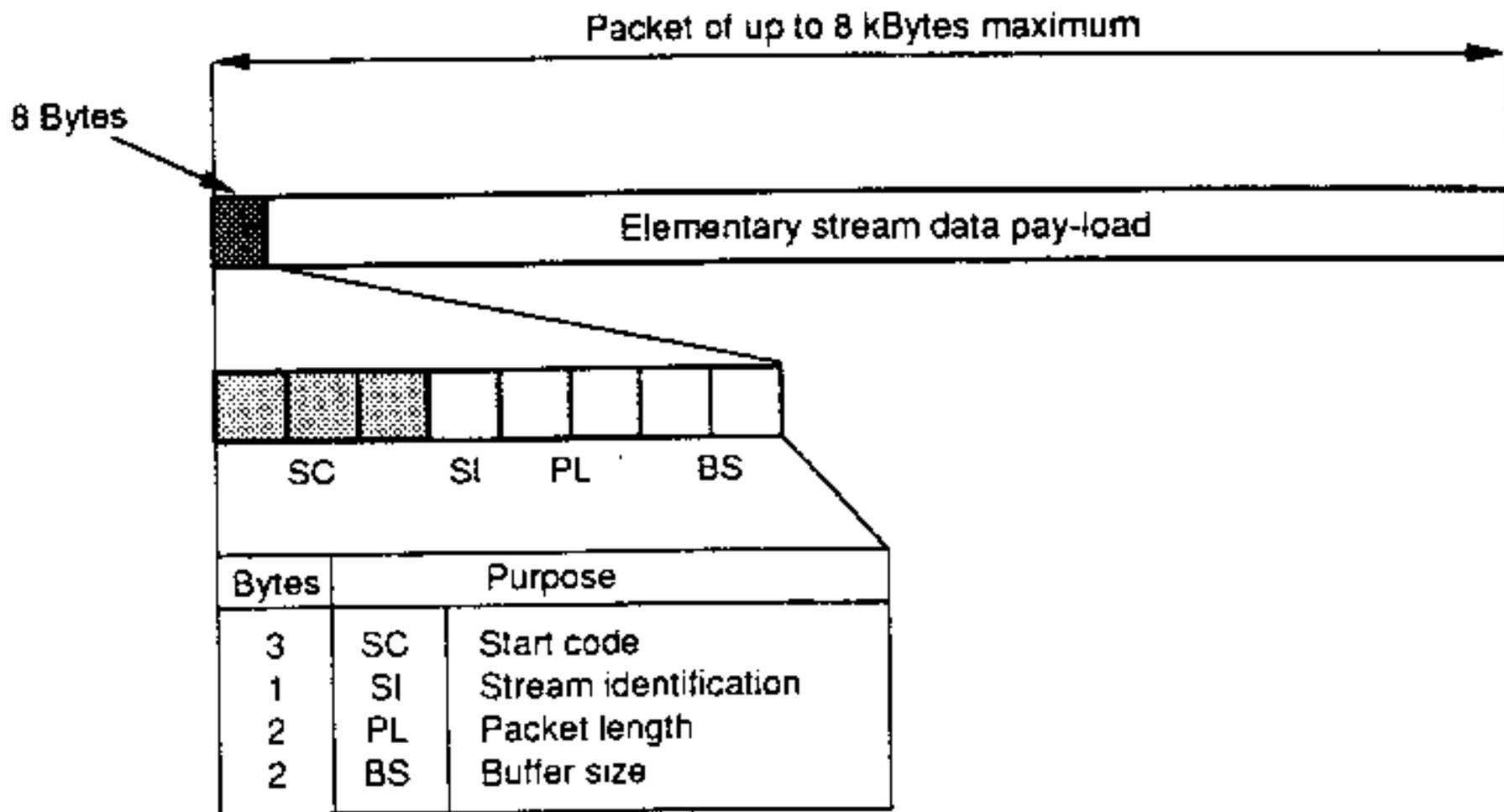


Figure 8.53 Packetized Elementary Stream (PES) structure in the MPEG-2 standard.

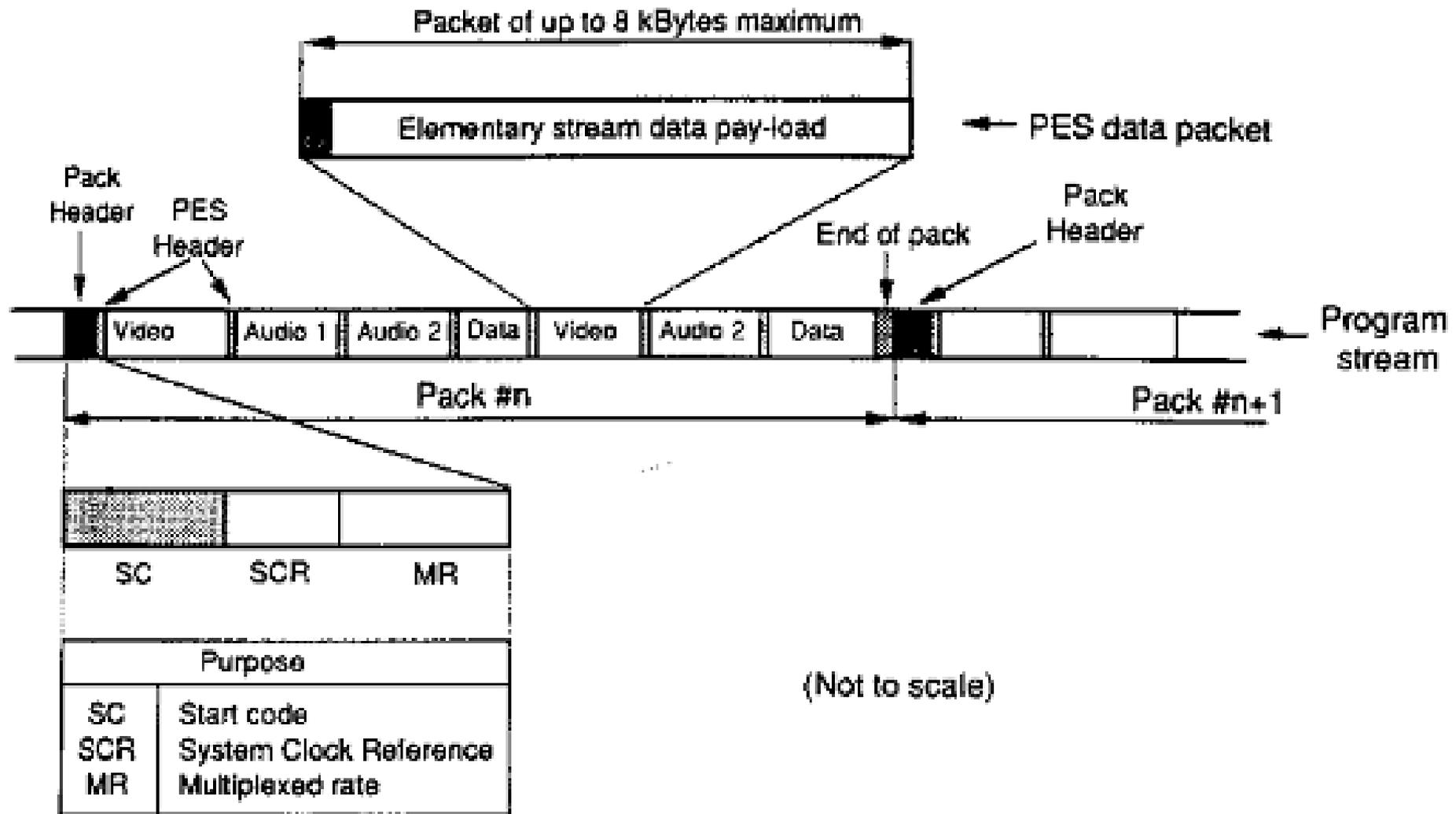


Figure 8.54 Program stream structure in the MPEG-2 standard.

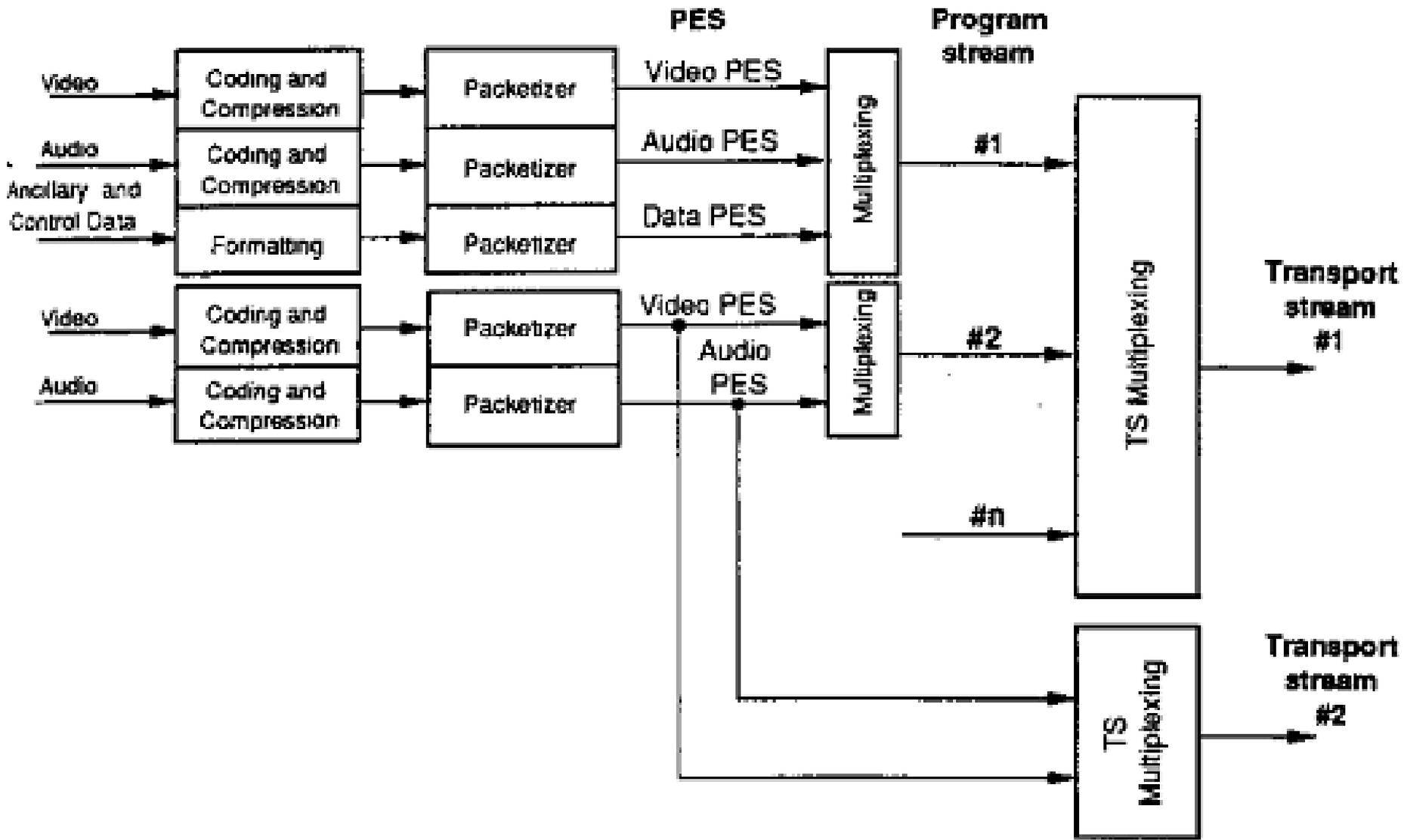


Figure 8.55 Program and Transport Streams formatting from Packetized Elementary Streams.

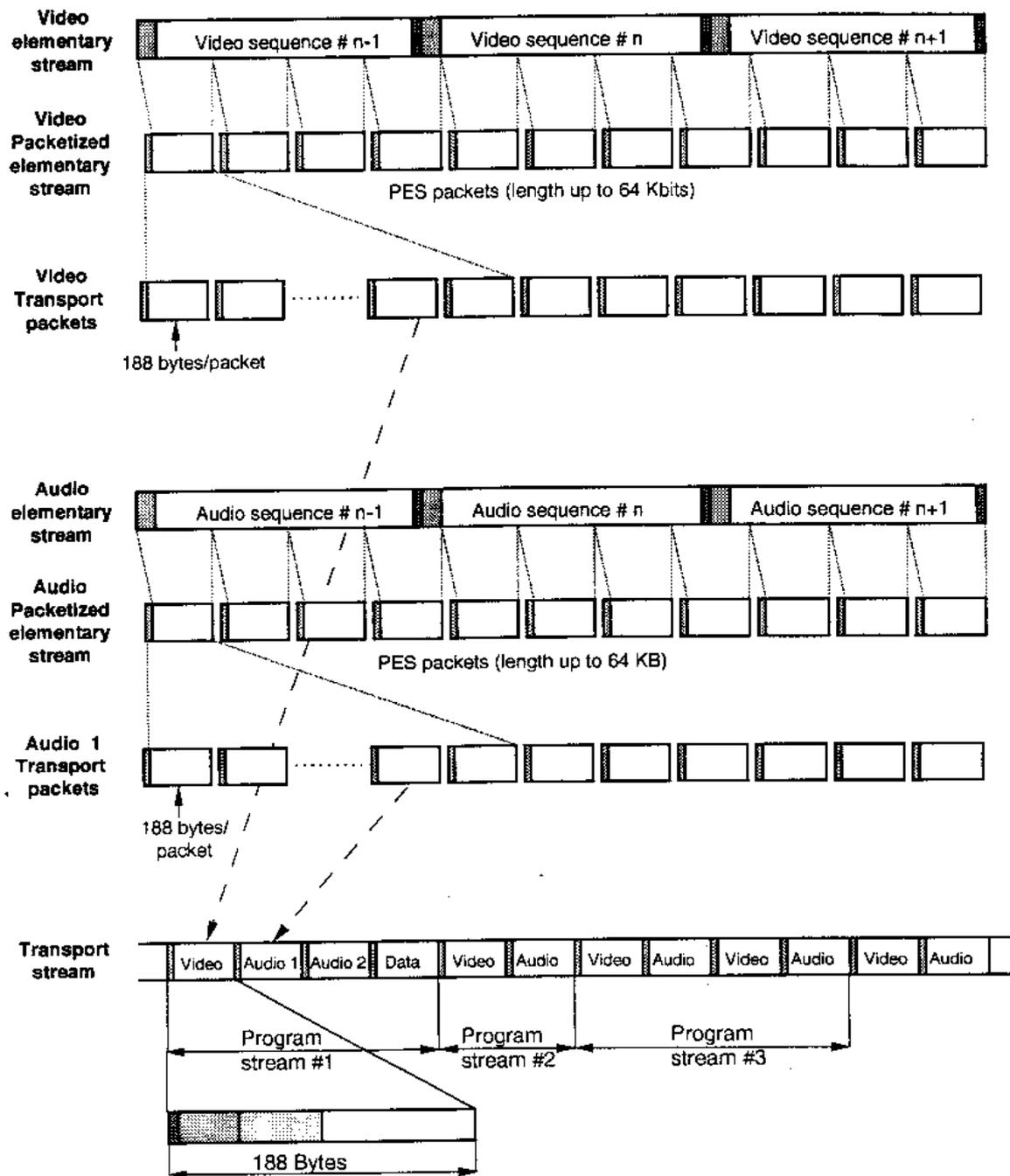


Figure 8.56 MPEG-2 Transport stream formatting.

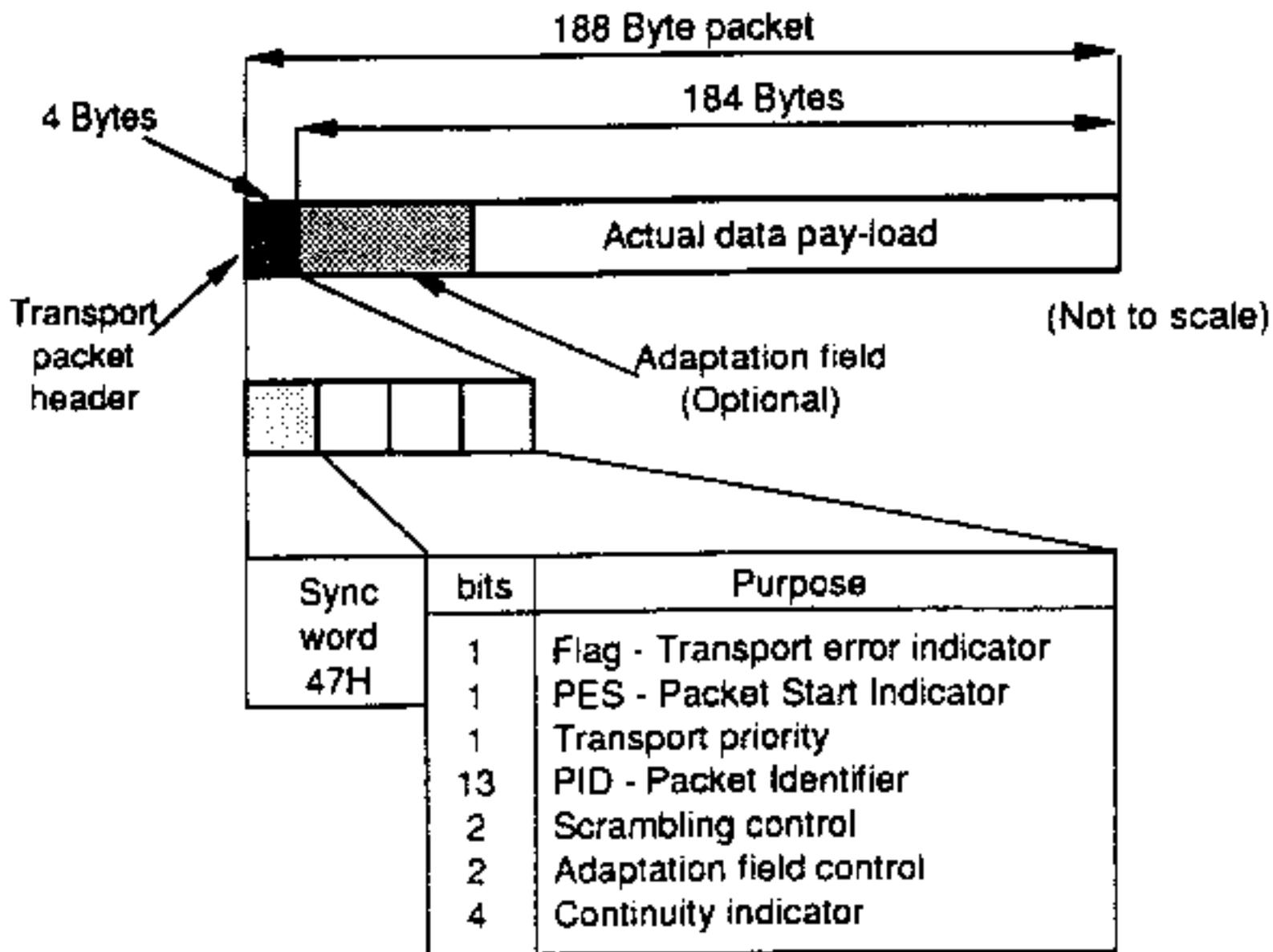


Figure 8.57 Transport packet structure in the MPEG-2 standard.

H.264/MPEG-4

- Compensación de movimiento. Macrobloques de:
 - 16x16
 - 16x8 y 8x16
 - 8x8
 - 8x4 y 4x8
 - 4x4
- Precisión de vector de movimiento:
 - 1 pixel
 - $\frac{1}{2}$ pixel
 - $\frac{1}{4}$ pixel
- Código entrópico
 - CAVLC
 - CABAC
- Transformada
 - 4x4 DCT
 - 8x8 DCT

Level	Max decoding speed		Max frame size		Max video bit rate for video coding layer (VCL) kbit/s			Examples for high resolution @ highest frame rate (max stored frames) Toggle additional details
	Luma samples/s	Macroblocks/s	Luma samples	Macroblocks	Baseline, Extended and Main Profiles	High Profile	High 10 Profile	
1	380,160	1,485	25,344	99	64	80	192	128×96@30.9 (8) 176×144@15.0 (4)
1b	380,160	1,485	25,344	99	128	160	384	128×96@30.9 (8) 176×144@15.0 (4)
1.1	768,000	3,000	101,376	396	192	240	576	176×144@30.3 (9) 320×240@10.0 (3) 352×288@7.5 (2)
1.2	1,536,000	6,000	101,376	396	384	480	1,152	320×240@20.0 (7) 352×288@15.2 (6)
1.3	3,041,280	11,880	101,376	396	768	960	2,304	320×240@36.0 (7) 352×288@30.0 (6)
2	3,041,280	11,880	101,376	396	2,000	2,500	6,000	320×240@36.0 (7) 352×288@30.0 (6)
2.1	5,068,800	19,800	202,752	792	4,000	5,000	12,000	352×480@30.0 (7) 352×576@25.0 (6)
2.2	5,184,000	20,250	414,720	1,620	4,000	5,000	12,000	352×480@30.7 (12) 352×576@25.6 (10) 720×480@15.0 (6) 720×576@12.5 (5)
3	10,368,000	40,500	414,720	1,620	10,000	12,500	30,000	352×480@61.4 (12) 352×576@51.1 (10) 720×480@30.0 (6) 720×576@25.0 (5)
3.1	27,648,000	108,000	921,600	3,600	14,000	17,500	42,000	720×480@80.0 (13) 720×576@66.7 (11) 1,280×720@30.0 (5)
3.2	55,296,000	216,000	1,310,720	5,120	20,000	25,000	60,000	1,280×720@60.0 (5) 1,280×1,024@42.2 (4)

Level	Max decoding speed		Max frame size		Max video bit rate for video coding layer (VCL) kbit/s			Examples for high resolution @ highest frame rate (max stored frames)
	Luma samples/s	Macroblocks/s	Luma samples	Macroblocks	Baseline, Extended and Main Profiles	High Profile	High 10 Profile	
4	62,914,560	245,760	2,097,152	8,192	20,000	25,000	60,000	1,280×720@68.3 (9) 1,920×1,080@30.1 (4) 2,048×1,024@30.0 (4)
4.1	62,914,560	245,760	2,097,152	8,192	50,000	62,500	150,000	1,280×720@68.3 (9) 1,920×1,080@30.1 (4) 2,048×1,024@30.0 (4)
4.2	133,693,440	522,240	2,228,224	8,704	50,000	62,500	150,000	1,280×720@145.1 (9) 1,920×1,080@64.0 (4) 2,048×1,080@60.0 (4)
5	150,994,944	589,824	5,652,480	22,080	135,000	168,750	405,000	1,920×1,080@72.3 (13) 2,048×1,024@72.0 (13) 2,048×1,080@67.8 (12) 2,560×1,920@30.7 (5) 3,672×1,536@26.7 (5)
5.1	251,658,240	983,040	9,437,184	36,864	240,000	300,000	720,000	1,920×1,080@120.5 (16) 2,560×1,920@51.2 (9) 3,840×2,160@31.7 (5) 4,096×2,048@30.0 (5) 4,096×2,160@28.5 (5) 4,096×2,304@26.7 (5)
5.2	530,841,600	2,073,600	9,437,184	36,864	240,000	300,000	720,000	1,920×1,080@172.0 (16) 2,560×1,920@108.0 (9) 3,840×2,160@66.8 (5) 4,096×2,048@63.3 (5) 4,096×2,160@60.0 (5) 4,096×2,304@56.3 (5)

	<i>Profile</i>	<i>Baseline (BP)</i>	<i>Extended (XP)</i>	<i>Main (MP)</i>	<i>High (HiP)</i>
<i>Algorithmic feature ("tool")</i>					
Features in all profiles	Multiple reference pictures	•	•	•	•
	Flexible motion compensation	•	•	•	•
	I-slices and P-slices	•	•	•	•
	1/4-pel motion-comp. interpolation	•	•	•	•
	16-bit exact-match integer transform	•	•	•	•
	Unified variable-length coding (UVLC/Exp-Golomb)	•	•	•	•
	CAVLC	•	•	•	•
	Deblocking filter in-the-loop	•	•	•	•
	Set 1	Flexible macroblock ordering (FMO)	•	•	
	Arbitrary slice order (ASO)	•	•		
	Redundant slices (RS)	•	•		
Set 2	Data partitioning		•		
	SI & SP slices		•		
Set 3	B-slices		•	•	•
	Interlaced coding (PicAFF, MBAFF)		•	•	•
	Weighted and offset MC prediction		•	•	•
Set 4	CABAC entropy coding			•	•
FRExt	8×8 luma intra prediction				•
	Increased sample depth				•
	4:4:4 and 4:2:2 chroma subsampling				•
	Inter-picture lossless coding				•
	8×8/4×4 transform adaptivity				•
	Quantization scaling matrices				•
	Separate C _B and C _R QP control				•
Monochrome (4:0:0)				•	

Table 48.1 H.264 features are arranged in rows; the columns indicate presence of features in the commercially important profiles.

<i>Level</i>	<i>Typ. image format</i>	<i>Typ. frame rate [Hz]</i>	<i>Max. bit rate [b/s]</i>
L1	176×144	15	64 k
L1b	176×144	15	128 k
L1.1	352×288 or 176×144	7.5 or 30	192 k
L1.2	352×288	15	384 k
L1.3	352×288	30	768 k
L2	352×288	30	2 M
L2.1	352×480 or 352×576	30 or 25	4 M
L2.2	SD	15	4 M
L3.0	SD	30 or 50	10 M
L3.1	1280×720	30	14 M
L3.2	1280×720	60	20 M
L4.0	1920×1080	30	20 M
L4.1	1920×1080	30	50 M
L4.2	1920×1080	60	50 M
L5	2048×1024	72 or 30	135 M
L5.1	4096×2048	30	240 M

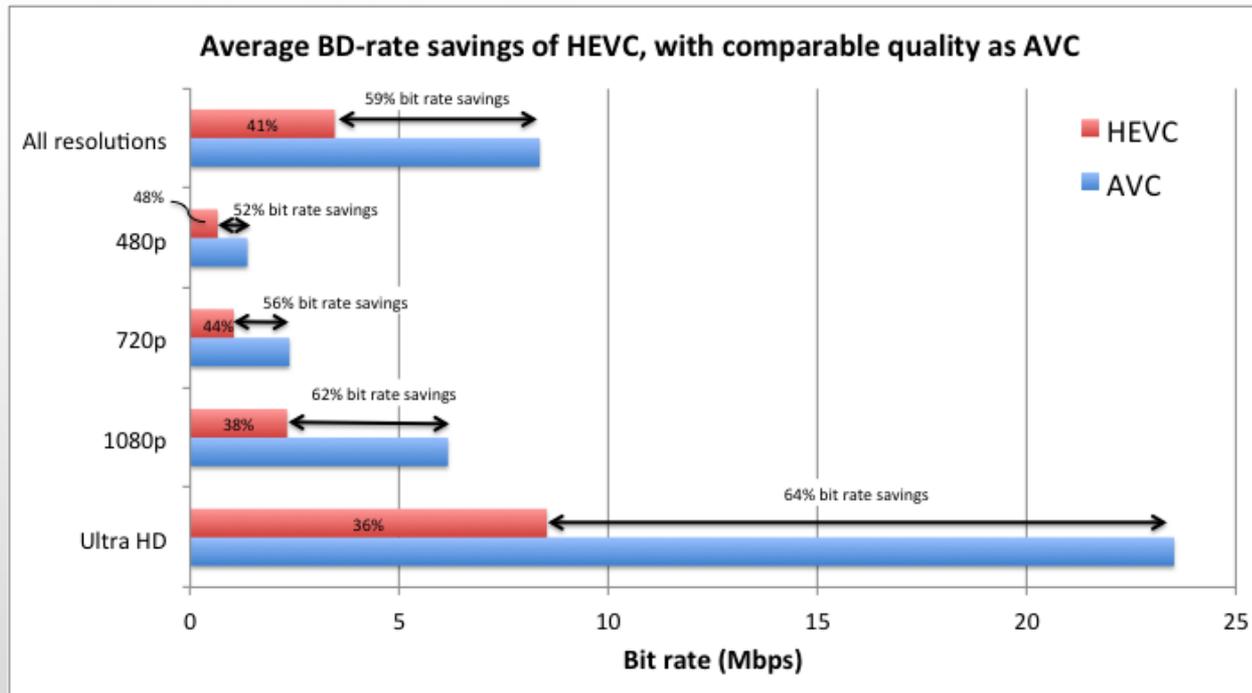
Table 48.2 H.264 levels are summarized.

<i>Profile @Level</i>	<i>High 10 Intra (Hi10Intra)</i>
L3.2	AVC-Intra 50: CABAC, 4:2:2, 1280×720 _p downsampled to 960×720
L4.0	AVC-Intra 50: CABAC, 4:2:2, 1920×1080 downsampled to 1440×1080
L4.1	AVC-Intra 100: CAVLC, 4:2:2, native 1280×720 _p and 1920×1080

Table 48.6 AVC-Intra profile/level combinations are summarized.

HEVC

- Highly Efficiency Video Coding
- H.265 -- MPEG-H Part 2
- Estandarizado en 2013



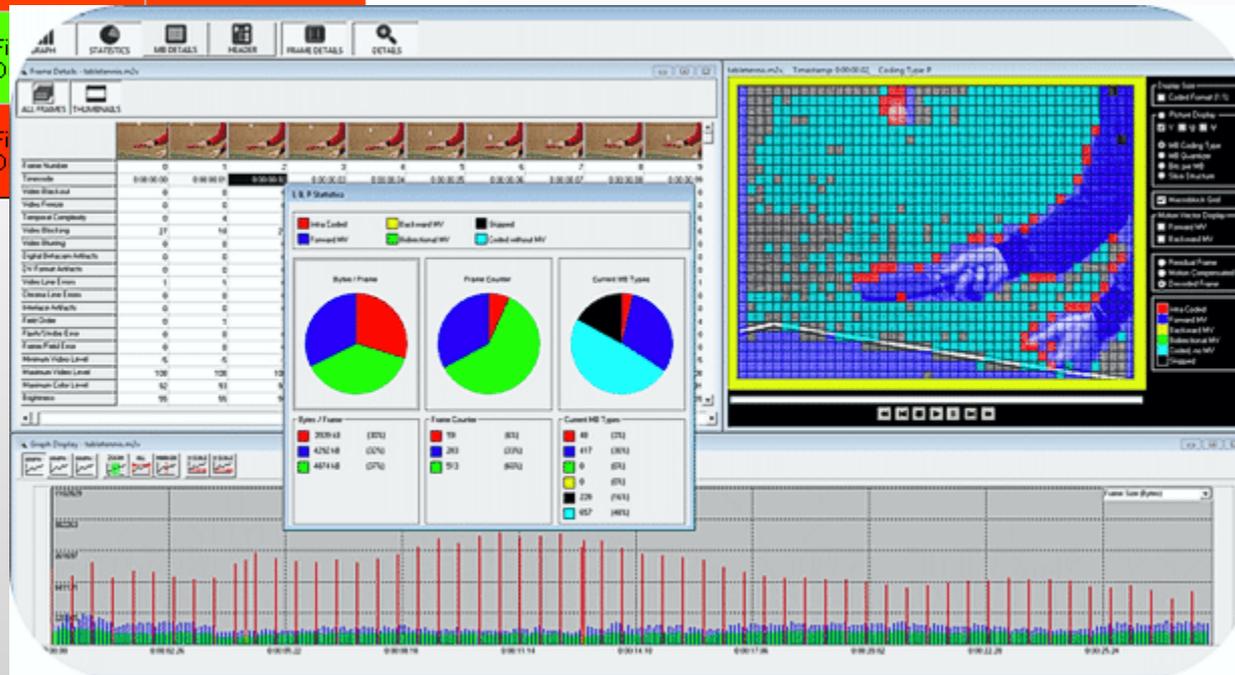
TK Tan; Marta Mrak; Vittorio Baroncini; Naeem Ramzan (2014-05-18). "Report on HEVC compression performance verification testing"

• Demostración software

Dektec Quality – AVC/MP2 video quality analyzer

Video Quality Analysis

Thumbnail	Filename	File Type VIDEO	File Summary	Size / Duration	Average Quality			Status
					BAD	40	60	
	Demo.mpeg	VIDEO	MPEG-2 video 720 x 576 9000000 B/s 25 F/s	Filesize : 32 MB Duration: 30 sec	84			analysed
	cities.h264	VIDEO	H.264 / AVC 704 x 576 25 F/s	Filesize : 12 MB	32			analysed
	KMBC_TV.mpeg	VIDEO	MPEG-2 video 720 x 480 3250000 B/s 29.97 F/s	Filesize : 55 MB Duration: 1 min	12			analysed
	ARD.ts	VIDEO	MPEG-2 video 544 x 576 7000000 B/s 25 F/s	Filesize : 12 MB Duration: 30 sec	84			analysed
	KTVI_TV.mpeg	VIDEO	MPEG-2 video 720 x 480 3250000 B/s 29.97 F/s	Filesize : 55 MB Duration: 1 min	12			analysed



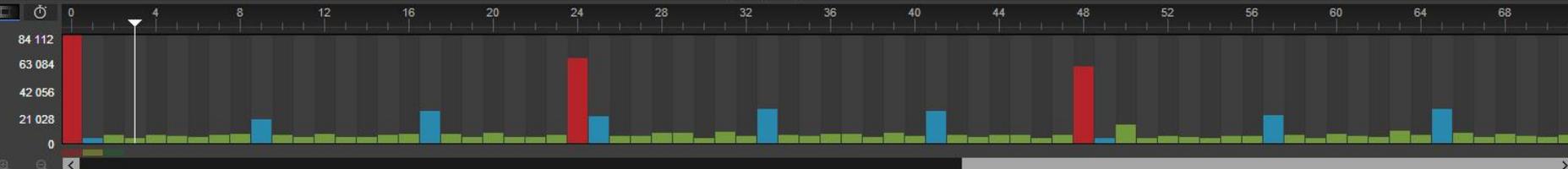
Demostación Software

C:\RAW-Videostractor_1920x1080p_30fps.265 ⚠ Compatible with reference software HM 10.0



```
0x00000000 VPS (28)
0x00000001e SPS (59)
0x00000005a PPS (10)
0x000000064 SEI (9)
0x00000006d SEI (9)
0x000000076 SEI (10)
0x000000080 Slice I 0 (84112)
0x0001494a SEI (10)
0x00014954 Slice P 1 (4494)
0x00015b1c SEI (10)
0x00015b26 Slice B 2 (6601)
0x00017529 SEI (10)
0x00017533 Slice B 3 (4772)
0x00018811 SEI (10)
0x0001881b Slice B 4 (7019)
0x0001a3c0 SEI (10)
0x0001a3ca Slice B 5 (5677)
0x0001ba31 SEI (10)
0x0001ba3b Slice B 6 (5220)
0x0001ced9 SEI (10)
0x0001cee3 Slice B 7 (6838)
0x0001e9d3 SEI (10)
0x0001e9dd Slice B 8 (7364)
0x000206db SEI (10)
0x000206e5 Slice P 9 (18657)
0x00025000 SEI (10)
0x0002500a Slice B 10 (6902)
0x00026b3a SEI (10)
0x00026b44 Slice B 11 (5033)
0x00027f27 SEI (10)
0x00027f31 Slice B 12 (7497)
0x00029cb4 SEI (10)
0x00029cbe Slice B 13 (5577)
0x0002b2c1 SEI (10)
0x0002b2cb Slice B 14 (5288)
0x0002ec7ad SEI (10)
```

Bitstream Frame stats Frame info CU TU Stream stats



Software utilitario

- ffmpeg
- Avisynth
- VLC
- Librerías de Matlab
- SDK de tarjetas de video SDI
- ...!