

## **Introducción al vídeo digital**

El vídeo es una combinación de imágenes en movimiento y sonido sincronizado, con parámetros específicos para cada uno de ellos. Las imágenes están definidas por su resolución (tamaño en píxeles), profundidad de color, y tasa de cuadros por segundo (fps), mientras que el audio se caracteriza por su frecuencia de muestreo, profundidad de bits y tasa de bits.

La tasa de cuadros puede ser constante (CFR) o variable (VFR), y el vídeo puede estar comprimido en el dominio espacial (dentro de cada fotograma) o en el dominio temporal (entre fotogramas). El bitrate también puede ser constante (CBR) o variable (VBR).

## **Escaneo progresivo e interlazado**

Existen dos formas de escanear vídeo:

- Progresivo (p): cada línea del fotograma se presenta de forma secuencial. Es común en gráficos por computadora y facilita el procesamiento digital. Un ejemplo sería 720p.
- Interlazado (i): cada fotograma se divide en dos campos (líneas pares e impares) que se muestran alternadamente. Se usa en televisión tradicional y permite reducir la tasa de fotogramas, por ejemplo, 1080i.

## **Tasa de fotogramas y efecto de parpadeo**

Para evitar el efecto de parpadeo, una imagen debe actualizarse al menos 50 veces por segundo. Para lograrlo:

- En vídeo progresivo, se repite el mismo fotograma.
- En vídeo entrelazado, se alternan campos de imagen.

Tasas comunes incluyen 50i (PAL), 60i (NTSC, 29,97 fps), 24p para cine y 48p para alta calidad. La letra "p" o "i" indica si es progresivo o entrelazado, acompañando al número de líneas verticales (ej. 1080p).

## **Vídeo sin comprimir (Raw)**

El vídeo raw (también llamado sin comprimir o HDMI limpio) se usa para edición de alta calidad. Tiene un bitrate muy alto, por ejemplo:  $24 \text{ bits} \times 1920 \times 1080 \times 60 / 2 \approx 1,49 \text{ Gbps}$ . Para grabar este tipo de vídeo se requiere un sistema operativo en tiempo real (RTOS) y discos duros rápidos, como SSDs.

## **Compresión de vídeo**

La compresión puede ser:

- Intra-frame: se aplica dentro de cada fotograma.
- Inter-frame: aprovecha la correlación entre fotogramas cercanos, prediciendo el contenido del fotograma actual a partir de anteriores.

Las técnicas empleadas incluyen:

- Correlación espacial

- Estimación de movimiento
- Compensación de movimiento

Estas técnicas permiten reducir drásticamente la cantidad de datos, manteniendo la calidad percibida.

### **Estimación y compensación de movimiento**

La compensación de movimiento busca describir un fotograma como una transformación de otro. La suposición es que los cambios entre fotogramas se deben solo al movimiento de la cámara o de los objetos. Se calculan vectores de movimiento que indican cómo una región de la imagen ha cambiado de una toma a otra.

### **Contenedores y códecs**

Un archivo de vídeo suele estar formado por múltiples flujos (streams):

- Vídeo
- Audio
- Subtítulos
- Y otros elementos: capítulos, menús, metadatos...

Los códecs comprimen/descomprimen los flujos de audio y vídeo. Los contenedores agrupan estos flujos en un solo archivo. Se clasifican según la resolución máxima que soportan, el bitrate permitido, el soporte de streaming, etc.

### **Organizaciones de estandarización**

- ISO/IEC MPEG: desarrollan los estándares MPEG (Moving Picture Experts Group).
- ITU VCEG: crean los estándares H.\* (como H.264).
- SMPTE: Sociedad de Ingenieros de Cine y Televisión.
- También existen actores de facto: Google, Apple, Microsoft, Adobe...

### **Equivalencias entre MPEG y H.\***

- H.261 ↔ MPEG-1 Parte 2
- H.262 ↔ MPEG-2 Parte 2
- H.263 ↔ MPEG-4 Parte 2 (DivX, Xvid)
- H.264 ↔ MPEG-4 Parte 10 = AVC
- H.265 ↔ MPEG-H Parte 2

### **Ejemplos de códecs**

- Modernos: Theora, H.264, H.265, VP9, AV1

- Antiguos: H.261, H.263 (videoconferencia), Motion JPEG (cada fotograma como imagen independiente, útil para edición, pero con mayor bitrate que MPEG-2 o MPEG-4)

### **Ejemplos de contenedores**

- Modernos: MP4, Ogg, Matroska, WebM
- Antiguos:
  - MPEG PS: usado en VCD (MPEG-1) y SVCD (MPEG-2)
  - VOB: contenedor de DVD
  - MPEG TS: para televisión digital (MPEG-2)

### **Formato DV (Digital Video)**

Formato usado para almacenar vídeo digital, especialmente sobre FireWire (IEEE 1394). Características:

- Vídeo entrelazado: 720x576@50 o 720x480@60, con muestreo 4:1:1 o 4:2:0
- Compresión con pérdida intra-frame basada en DCT
- Audio sin comprimir

### **Estándares MPEG**

Evolución

- MPEG-1 (1990): usado en VCD.
- MPEG-2 (1996): para DVD, TV digital, primeros HDTV y Blu-ray.
- MPEG-4 (2000): más eficiente, mejor para redes IP.
- H.264 / MPEG-4 Parte 10 (2003): gran avance en compresión.

Las licencias de MPEG suelen estar gestionadas por MPEG LA.

### **Estructura MPEG**

El vídeo MPEG se divide jerárquicamente en:

- Macroblocks (16×16 píxeles), subdivididos en bloques para luminancia y crominancia, según el muestreo (4:2:0, 4:2:2...).
- Slices: grupos horizontales de macrobloques.
- Tipos de bloques:
  - De transformada: se aplica DCT.
  - De predicción: se aplica compensación de movimiento.

### **Tipos de fotogramas**

- I-frames: codificados sin referencia a otros. Menor compresión. Equivalentes a JPEG.
- P-frames: referencian a un fotograma anterior. Compresión media.
- B-frames: referencian a fotogramas anteriores y posteriores. Alta compresión.
- D-frames: usados en MPEG-1 para previsualización rápida, no referenciables.

### **Grupos de imágenes (GOP)**

Un GOP (Group of Pictures) empieza con un I-frame y contiene varios P y B frames. Puede ser:

- Abierto: si usa el I-frame del GOP siguiente.
- Cerrado: si es independiente.

Se describe por:

- N: distancia entre dos I-frames.
- M: distancia entre I o P-frames.

Ejemplo: N=12, M=3 → IBBPBBPBBPBB I

### **Comparación de longitudes de GOP**

- GOP largo: mejor compresión.
- GOP corto: mejor calidad en cambios rápidos, menor latencia, más fácil edición.

### **MPEG-2**

También conocido como H.262, es muy común en grabación profesional y transmisión. Amplio soporte en DVD, TV digital, etc.

- Soporta entrelazado (PAL, NTSC) y HD (720p, 1080i).
- 12 combinaciones de perfiles (técnicas de compresión) y niveles (resoluciones).
- DVD: perfil principal y nivel principal (720x576 en PAL o 720x480 en NTSC).
- Audio: 5.1 MPEG-1 o AAC.

### **MPEG-4**

Mejora la compresión (hasta un 50% respecto a MPEG-2). Incorpora:

- Objetos de vídeo sintéticos, como gráficos vectoriales o texto.
- Macroblocks de tamaño variable para optimizar en zonas con más o menos detalle.
- Compresión fractal
- B-frames basados en otros B-frames

### **Compresión de audio en MPEG**

- Compresión con pérdida: ratios de 4:1 hasta 32:1 (AAC+)
- Tasa de muestreo: 32, 44.1, 48 kHz
- Tipos:
  - MPEG-1 audio: capas I, II, III (MP3)
  - AAC (MPEG-2): hasta 48 canales, modo sin pérdida, objetos de audio sintético (como MIDI)

### **Hardware de vídeo: cables y conectores**

Cada especificación define protocolos, señales, interfaces eléctricas y mecánicas. Pueden ser analógicos o digitales.

Ejemplos:

- Analógicos:
  - VGA (D-SUB): señal RGB y sincronización H/V
  - Vídeo compuesto: una sola señal
  - S-Video: separa luminancia y crominancia
  - Vídeo por componentes: tres cables (RGB o YPbPr)
  - SCART: incluye audio estéreo y vídeo (compuesto o S-Video)
- Digitales:
  - HDMI: vídeo digital sin comprimir (RGB o YCbCr), con cifrado y protección de contenido. Admite resoluciones hasta 4K, múltiples flujos de audio (hasta 32 canales) y vídeo (hasta 2).
  - IEEE 1394 (FireWire): parecido a USB pero más rápido.