

Flujo de transporte MPEG-2

Pablo Flores Guridi, pablof@fing.edu.uy

Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay

8 de agosto de 2024



Motivación

- Buscamos enviar múltiples datos distintos (audio y video comprimido, subtítulos y datos en general) en un único flujo de datos.
- Ese flujo será posteriormente enviado mediante televisión por cable, terrestre, satelital o IP.
- Nos interesa además enviar meta datos, como por ejemplo nombre y tipo de señal, y guía de programación.

Moving Pictures Expert Group

- Se trata de un grupo de expertos de la ISO y la IEC (es un comité conjunto de ambas organizaciones).
 - **ISO**: International Organization for Standardization.
 - **IEC**: International Electrotechnical Commission.
- Forma parte del *Joint Technical Committee for Information Technology* (JTC1), particularmente el sub-committee 29.
- El nombre completo del grupo MPEG es *ISO/IEC JTC1/SC29: Coding of audio, picture, multimedia and hypermedia information*.

Normas MPEG

- Las normas MPEG constan de varias partes, cada una de ellas cubre un aspecto específico de la norma.
- Algunas de las normas más famosas son:
 - MPEG-1 (ISO/IEC 11172) – 1993.
 - ⇒ Parte 3 - Audio: MP1, MP2 y MP3.
 - MPEG-2 (ISO/IEC 13818) – 1995: MPEG-2 Video, MPEG TS.
 - ⇒ Parte 1 - Systems: MPEG TS
 - ⇒ Parte 2 - Video: MPEG-2 Video / H.262
 - MPEG-4 (ISO/IEC 14496) – 1999.
 - ⇒ Parte 10 - Advanced Video Coding: MPEG-4 AVC / H.264
 - ⇒ Parte 14 - MP4 file format: formato contenedor MP4.
 - MPEG-DASH (ISO/IEC 23009) – 2012.
 - ⇒ MPEG-DASH.
 - MPEG-H (ISO/IEC 23008) – 2013.
 - ⇒ Parte 2 - High Efficiency Video Coding: HEVC / H.265.

Norma MPEG-2

- **Parte 1 - Systems**
- Parte 2 - Video
- Parte 3 - Audio
- Parte 4 - Conformance testing
- Parte 5 - Software simulation
- Parte 6 - System extensions - DSM-CC
- Parte 7 - Advanced Audio Coding
- Parte 8 - VOID
- Parte 9 - System extension RTI
- Parte 10 - Conformance extension - DSM-CC
- Parte 11 - IPMP on MPEG-2 Systems

Diagrama de bloques

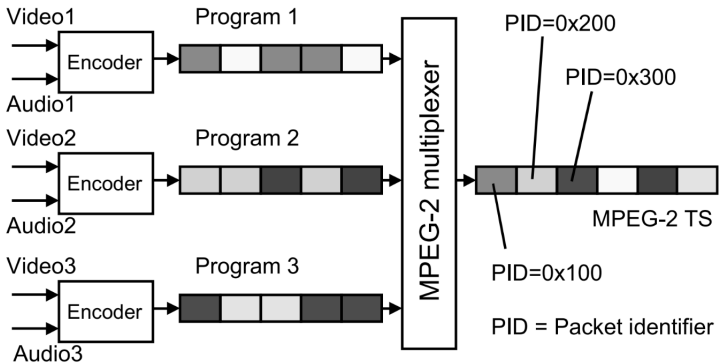


Figura: Paquetes TS multiplexados para lograr un TS [1].

Algunos conceptos importantes

- **Programa o Servicio:** lo que comúnmente conocemos como “canal de televisión”.
- **Elementary Stream:** flujo de video o audio comprimido, subtítulos y datos en general.
- **Paquete TS (TSP):** paquete de 188 bytes, 4 de encabezado y 184 de datos.
- **Tabla:** Datos necesarios para demultiplexar programas (servicios) y elementary streams.
- **Sección:** estructura sintáctica mediante la cuál se forman las tablas.
- **Transport Stream (TS):** paquetes TS formados por elementary streams y secciones de tablas; multiplexados en un único flujo de datos.

Packetized Elementary Stream (PES)

- Los elementary streams son primero paquetizados como Packetized Elementary Streams (PES).
- Esta paquetización sirve para identificar los distintos flujos de datos y lograr sincronismo entre ellos.
- Campos particularmente importantes del encabezado PES:
 - Packet Start Code Prefix (0x000001).
 - Stream ID.
 - PES Packet Length (hasta 64 *kB*).
 - Presentation Time Stamp (PTS) y Decodification Time Stamp (DTS).

Sintaxis de un paquete PES

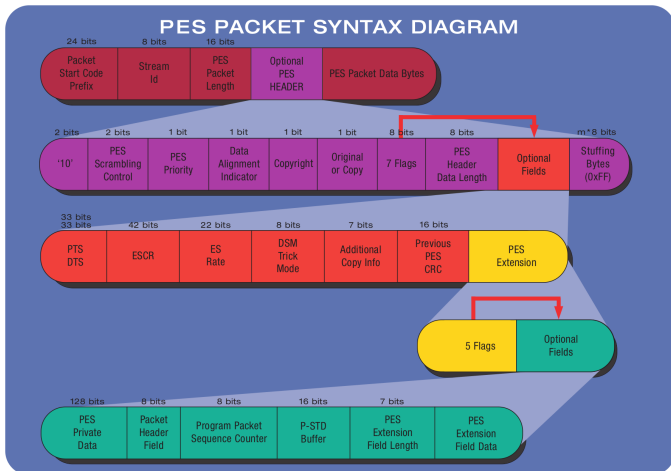


Figura: Sintaxis de los paquetes PES [2]. Sus campos se describen en la sección 2.4.3.7 de [3].

Paquete TS (TSP)

- Cada uno de los PES de vuelve a fraccionar en paquetes de largo fijo 188 bytes.
- 4 bytes de encabezado y 184 bytes de payload.

Syntax	No. of bits
transport_packet(){	
sync_byte	8
transport_error_indicator	1
payload_unit_start_indicator	1
transport_priority	1
PID	13
transport_scrambling_control	2
adaptation_field_control	2
continuity_counter	4
if(adaptation_field_control=='10' adaptation_field_control=='11'){	
adaptation_field()	
}	
if(adaptation_field_control=='01' adaptation_field_control=='11'){	
for (i=0;i<N;i++){	
data_byte	8
}	
}	
}	

Figura: Encabezado de un paquete TS [2]. Sus campos se describen en la sección 2.4.3.3 de [3].

Encabezado de un TSP

- **Sync byte:** 0x47.
- **Transport Error Indicator:** indica si el paquete tiene algún error.
- **Payload Unit Start Indicator:** indica si comienza un nuevo PES o una nueva sección.
- **Transport Priority:** indica si el paquete debe tener prioridad frente a otros.
- **PID:** identificador de paquete, se utiliza un número diferente para cada elementary stream.
- **Transport Scrambling Control:** indica si el payload está encriptado.
- **Adaptation field control:** indica si el paquete cuenta con adaptation field.
- **Continuity Counter:** un contador que aumenta en uno para cada paquete con el mismo PID.

Sintaxis del TS

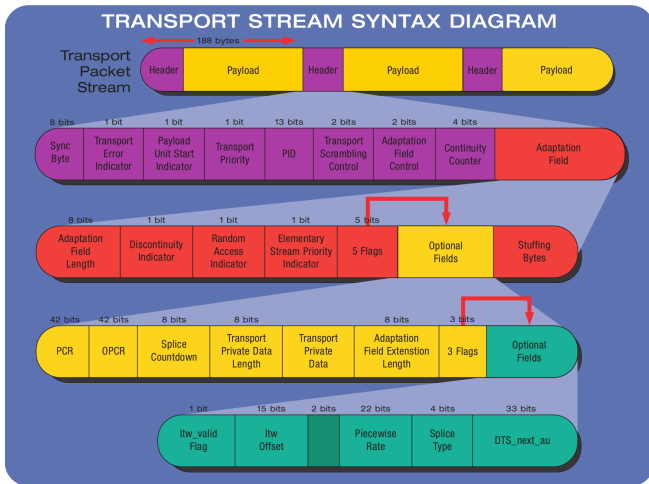


Figura: Sintaxis del TS [2].

Tablas MPEG-2 – Program Specific Information (PSI)

- Los distintos programas o servicios dentro del TS son señalizados mediante ciertas tablas denominadas PSI.
- Las tablas se organizan en *secciones*.
 - Las secciones pueden ser definidas bit a bit en la norma, o ser *privadas*.
 - Una sección privada debe respetar cierta estructura básica, pero su sintaxis y su uso son definidos libremente.
 - Las secciones definidas por la norma pueden tener un tamaño máximo de 1024 bytes.
 - Las secciones *privadas* pueden tener un tamaño máximo de 4096 bytes.

Tablas MPEG-2 – Program Specific Information (PSI) (2)

- La norma MPEG-2 especifica cinco tablas, aunque especifica solo cuatro.

Tabla	Sección	PID	Descripción
Program Association Table (PAT)	Definida	0x00	Asocia el número de cada programa con su PID de PMT
Program Map Table (PMT)	Definida	Indicado en PAT	Indica los componentes de cada programa y sus PIDs
Conditional Access Table (CAT)	Definida	0x01	Indica el PID de cada uno de los EMMs
Network Information Table (NIT)	Privada	Indicado en PAT ¹	Da parámetros físicos de la red
Transport Stream Description Table (TSDT)	Definida	0x02	Asocia uno a más descriptores a cada TS

¹Luego [4] le asigna el PID 0x10.

Program Association Table (PAT)

Program association section (PAT)	
Syntax	No. of bits
program_association_section(){	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
'0'	1
reserved	2
section_length	12
transport_stream_id	16
reserved	2
version_number	5
current_next_indicator	1
section_number	8
last_section_number	8
for (j=0;j<N;j++) {	
program_number	16
reserved	3
if (program_number=='0') {	
network_PID	13
}	
else {	
program_map_PID	13
}	
}	
CRC_32	32
}	

Figura: Sintaxis de la PAT [2]. Sus campos se describen en la sección 2.4.4.5 de [3].

Program Map Table (PMT)

Transport Stream program map section (PMT)	
Syntax	No. of bits
TS_program_map_section() {	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
'0'	1
reserved	2
section_length	12
program_number	16
reserved	2
version_number	5
current_next_indicator	1
section_number	8
last_section_number	8
reserved	3
PCR_PID	13
reserved	4
program_info_length	12
for (i=0;i<N;i++) {	
descriptor()	
}	
for (i=0;i<N1;i++) {	
stream_type	8
reserved	3
elementary_PID	13
reserved	4
ES_info_length	12
for (j=0;j<N2;j++) {	
descriptor()	
}	
}	
CRC_32	32
}	

Figura: Sintaxis de la PMT [2]. Sus campos se describen en la sección 2.4.4.9 de [3].

Conditional Access Table (CAT)

Conditional access section (CAT)	
Syntax	No. of bits
CA_section() {	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
'0'	1
reserved	2
section_length	12
reserved	18
version_number	5
current_next_indicator	1
section_number	8
last_section_number	8
for (i=0;i<N;i++) {	
descriptor()	
}	
CRC_32	32
}	

Figura: Sintaxis de la CAT [2]. Sus campos se describen en la sección 2.4.4.7 de [3].

Tablas Privadas

Private Section	
Syntax	No. of bits
private_section() {	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
private_indicator	1
reserved	2
private_section_length	12
if(section_syntax_indicator== '0'){	
for(i=0; i<N; i++) {	
private_data_byte	8
}	
}	
else {	
table_id_extension	16
reserved	2
version_number	5
current_next_indicator	1
section_number	8
last_section_number	8
for(i=0;i<private_section_length-9;i++) {	
private_data_byte	8
}	
CRC_32	32
}	
}	

Figura: Sintaxis de una *private section* [2]. Sus campos se describen en la sección 2.4.4.11 de [3].

El proyecto Digital Video Broadcasting (DVB)

- Fundado en 1993.
- Es un consorcio de empresas líderes en las comunicaciones.
- Tiene por fin diseñar especificaciones abiertas para la distribución de contenido multimedia.
- Estas especificaciones son por lo general estandarizadas por la European Telecommunications Standards Institute (ETSI).
- Su página oficial es <https://dvb.org/>, de donde se pueden descargar estándares y otros documentos.

Service Information (SI)

- Especificada en la norma ETSI EN 300 468: “Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems” [4].
- Extiende las especificaciones de la PSI del MPEG-2 TS.
- Se definen nueve nuevas tablas:
 - (1) Bouquet Association Table (BAT).
 - (2) **Service Description Table (SDT).**
 - (3) **Event Information Table (EIT).**
 - (4) Running Status Table (RST).
 - (5) **Time and Date Table (TDT).**
 - (6) **Time Offset Table (TOT).**
 - (7) Stuffing Table (ST).
 - (8) Selection Information Table (SIT).
 - (9) Discontinuity Information Table (DIT).
- También se especifica la NIT.

Tablas PSI/SI

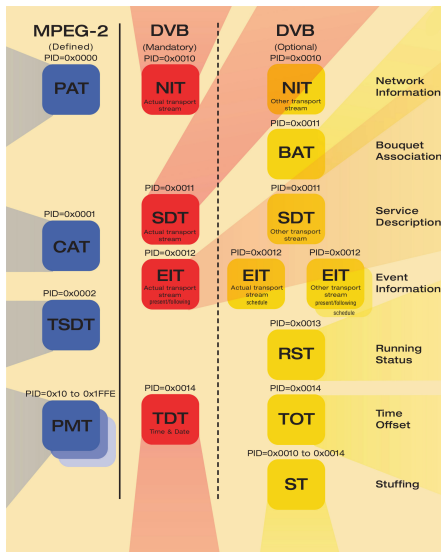


Figura: Tablas PSI/SI, mandatorias y opcionales [2].

Network Information Table (NIT)

Network Information section (NIT)	
Syntax	No. of bits
network_information_section(){	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
reserved_future_use	1
reserved	2
section_length	12
network_id	16
reserved	2
version_number	5
current_next_indicator	1
section_number	8
last_section_number	8
reserved_future_use	4
network_descriptors_length	12
for(i=0;i<N;i++){	
descriptor()	
}	
reserved_future_use	4
transport_stream_loop_length	12
for(i=0;i<N;i++){	
transport_stream_id	16
original_network_id	16
reserved_future_use	4
transport_descriptors_length	12
for(j=0;j<N;j++){	
descriptor()	
}	
}	
CRC_32	32
}	

Figura: Sintaxis de una NIT [2]. Sus campos se describen en la sección 5.2.1 de [4].

Service Description Table (SDT)

Service description section (SDT)	
Syntax	No. of bits
service_description_section(){	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
reserved_future_use	1
reserved	2
section_length	12
transport_stream_id	16
reserved	2
version_number	5
current_next_indicator	1
section_number	8
last_section_number	8
original_network_id	16
reserved_future_use	8
for(i=0;i<N;i++){	
service_id	16
reserved_future_use	6
EIT_schedule_flag	1
EIT_present_following_flag	1
running_status	3
free_CA_mode	1
descriptors_loop_length	12
for(j=0;j<N;j++){	
descriptor()	
}	
}	
CRC_32	32
}	

Figura: Sintaxis de una SDT [2]. Sus campos se describen en la sección 5.2.3 de [4].

Event Information Table (EIT)

Event Information Section (EIT)	
Syntax	No. of bits
event_information_section(){	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
reserved_future_use	1
reserved	2
section_length	12
service_id	16
reserved	2
version_number	5
current_next_indicator	1
section_number	8
last_section_number	8
transport_stream_id	16
original_network_id	16
segment_last_section_number	8
last_table_id	8
for(i=0;i<N;i++){	
event_id	16
start_time	40
duration	24
running_status	3
free_CA_mode	1
descriptors_loop_length	12
for(j=0;j<N;j++){	
descriptor()	
}	
}	
CRC_32	32
}	

Figura: Sintaxis de una SDT [2]. Sus campos se describen en la sección 5.2.4 de [4].

Time and Date Table / Time Offset Table (TDT/TOT)

Time and date section (TDT)	
Syntax	No. of bits
time_date_section(){	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
reserved_future_use	1
reserved	2
section_length	12
UTC_time	40
}	

Time offset section (TOT)	
Syntax	No. of bits
time_offset_section(){	
table_id	8
section_syntax_indicator	1
reserved_future_use	1
reserved	2
section_length	12
UTC_time	40
reserved	4
descriptors_loop_length	12
for(i=0;i<N;i++){	
descriptor()	
}	
CRC_32	32
}	

Figura: Sintaxis de una TDT (izq.) y una TOT (der.) [2]. Sus campos se describen en las secciones 5.2.5 y 5.2.6 de [4] respectivamente.

Descriptores

- Son estructuras bien definidas que pueden ser utilizadas para extender la información de un servicio o elemento de un servicio.
- Todos extienden la siguiente semántica básica (el resto de la información depende de cada descriptor):
 - **descriptor_tag**: campo de 8 bits que identifica al descriptor.
 - **descriptor_length**: campo de 8 bits que especifica la cantidad de bytes restantes en el descriptor, inmediatamente después de este.
- Hay algunos descriptores definidos en la norma MPEG, pero la norma DVB agrega otros.

Algunos descriptores muy utilizados

Descriptor	Tag	Descripción	Especificación
Conditional access descriptor	0x09	Indica PIDs de ECMs y EMMs en PMT y CAT respectivamente, necesarios para desencriptar los ES.	[3]
ISO 639 language descriptor	0x0A	Especifica el idioma del ES asociado.	[3]
Cable delivery system descriptor	0x44	Especifica los parámetros para sintonizar un TS en una modulación por cable.	[4]
Service descriptor	0x48	Especifica nombre, tipo y proveedor del servicio.	[4]
Country availability descriptor	0x49	Especifica países en los que el servicio es válido.	[4]
Short event descriptor	0x4D	Utilizado para describir eventos en EIT.	[4]
Extended event descriptor	0x4E	Utilizado para describir eventos en EIT.	[4]
Subtitling descriptor	0x59	Especifica que un ES con <i>stream type</i> 0x06 se trata de un subtítulo.	[4]

Problemas para discutir en clase

- (1) Proponga un diagrama de flujo para el proceso mediante el cual se decodifica un servicio perteneciente al TS.
- (2) Proponga un diagrama de flujo para el proceso mediante el cual se escanea una red DVB. ¿Hay otras opciones?
- (3) Proponga un diagrama de flujo para el proceso mediante el cual se detectan agregados o remociones de servicios en el TS.
- (4) Proponga un método para duplicar un servicio dentro de un TS, sin necesidad de multiplexarlo dos veces.

Program Clock Reference (PCR)

¿De qué se trata?

- Una referencia de tiempo única, de resolución 27 MHz , asociada a cada servicio.
- Se utiliza para decodificar y sincronizar a sus distintos ES.
- Los campos PTS y DTS se refieren a él y tienen una resolución de 90 kHz .
- Qué es, cómo se define, dónde se envía y cómo se envía, error permitido.

Program Clock Reference (PCR) (2)

¿Cómo se envía?

- Se utilizan dos campos del *adaptation field*:
 - *program_clock_reference_base*: 33 bits
 - *program_clock_reference_extension*: 9 bits
- El PID correspondiente es identificado en la PMT y es muy común utilizar el PID de video.

Syntax	No. of bits	Mnemonic
<pre>adaptation_field() { adaptation_field_length if (adaptation_field_length > 0) { discontinuity_indicator random_access_indicator elementary_stream_priority_indicator PCR_flag OPCR_flag splicing_point_flag transport_private_data_flag adaptation_field_extension_flag if (PCR_flag == '1') { program_clock_reference_base reserved program_clock_reference_extension } } }</pre>	 8 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 33 6 9	 uimsbf bslbf bslbf bslbf bslbf bslbf bslbf bslbf bslbf bslbf uimsbf bslbf uimsbf

Figura: Primeros bits del *adaptation field* [3].

Program Clock Reference (PCR) (3)

¿Cómo se codifica?

- Sea i el índice del byte conteniendo el último bit de PCR.
- El campo PCR indica el instante $t(i)$ en el que ese byte ingresa al decodificador.

$$PCR(i) = PCR_{base}(i) \times 300 + PCR_{ext}(i)$$

$$PCR_{base}(i) = ((system_clock_frequency \times t(i)) \text{ DIV } 300) \% 2^{33}$$

$$PCR_{ext}(i) = ((system_clock_frequency \times t(i)) \text{ DIV } 1) \% 300$$

con $system_clock_frequency = 27 \text{ MHz}$.

¡Importante!

- La definición del PCR supone trabajar con un TS de **bitrate constante**.

Program Clock Reference (PCR) (4)

Tasa de envío

El PCR debe ser enviado tal que $|t(i) - t(i')| \leq 100ms$.

Tolerancia

La norma MPEG-2 [3] supone una tolerancia máxima de $+/- 500 ns$. Para calcularlo vemos que:

$$\frac{PCR(i) - PCR(i')}{system_clock_frequency} = \frac{8 \times (i - i')}{bitrate},$$

y por lo tanto:

$$\frac{dPCR_{AC}(i)}{dt} = \frac{PCR(i) - PCR(i')}{system_clock_frequency} - \frac{8 \times (i - i')}{bitrate}.$$

Finalmente, si retrasamos el PCR N bytes, el error será:

$$\frac{dPCR_{AC}(i)}{dt} = -\frac{8N}{bitrate}.$$

Para pensar...

Sea un TS de bitrate 12 *Mbps* en el que uno de los paquetes que acarrean el PCR en su adaptation field es intercambiado con el que le sigue.

- (a) ¿Cuál será el error inducido? ¿Es considerable?
- (b) ¿Qué conclusiones puede sacar entonces respecto a los multiplexores MPEG-2?

Ejemplos con algunas herramientas





DVB Snoop

- `apt install dvbsnoop`
- `dvbsnoop [-s mode] [options] -if filename [pid]`

DVB Inspector

- Descargar el software desde la URL del desarrollador:
http://www.digitalekabeltelevisie.nl/dvb_inspector/.
- Correr y utilizar desde su interfaz gráfica.

Referencias

-  Walter Fischer, *Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A Practical Engineering Guide – Third Edition*, Springer, 2010.
-  Tektronix, *[online] MPEG Poster DVB*, <https://www.tek.com/poster/mpeg-poster-dvb>, visitado: 23-10-2020.
-  ISO/IEC 13818-1:2000, *Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems*, 2000.
-  ETSI EN 300 468 V1.14.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems*, 2014.