

Televisión por Cable (CATV)

Pablo Flores Guridi, pablof@fing.edu.uy

Curso Distribución y Aplicaciones Multimedia
Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay

28 de agosto de 2024



Norma ITU-T J.83

- Cubre la definición de la estructura de cuadro, la codificación de canal y la modulación para transmisión de televisión digital por cable.
- Cuenta con cuatro anexos: A, B, C y D; correspondientes a cuatro sistemas de televisión digital por cable presentados a la ITU-T, y desarrollados con anterioridad.
- Esta recomendación sugiere, a cualquiera que esté implementando un sistema de televisión digital por cable, el uso de uno de estos cuatro sistemas.
- Todos estos sistemas asumen a su entrada un MPEG-2 Transport Stream.
- La actual versión de esta recomendación fue aprobada el 14 de diciembre de 2007.

Norma ITU-T J.83 - anexo B

- Norma utilizada ampliamente en las américas, particularmente en Uruguay.
- Permite una canalización de 6 MHz en la banda que va desde los 54 MHz a los 860 MHz.
- Permite dos esquemas de modulación:
 - 64 QAM:
 - Channel symbol rate: 5,057 Msym/s.
 - Channel bitrate: 30,342 Mbps.
 - Information bitrate: 26,970 Mbps.
 - 256 QAM:
 - Channel symbol rate: 5,361 Msym/s.
 - Channel bitrate: 42,884 Mbps.
 - Information bitrate: 38,811 Mbps.

Diagrama de bloques

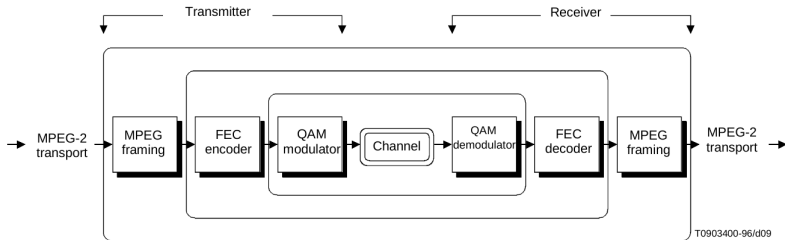


Figura: Diagrama funcional del sistema completo. Tomado de ITU-T J.83(B).

⇒ Se asume un MPEG-2 MPTS a la entrada del modulador.

MPEG-2 transport framing

- Se agrega cierto procesamiento para que el byte de sincronismo, además sirva para detectar errores.
- Se calcula una suma de paridad basada en los 187 bytes previos al byte de sincronismo.
- Se reemplaza el byte de sincronismo por el byte de paridad.
- El receptor puede calcular esta paridad en una ventana móvil y detectar no solo el inicio de un paquete TS, sino saber que no tuvo errores.
- Una vez sincronizado el TS en recepción, la si se detecta que un paquete está errado, es posible marcarlo utilizando el bit del encabezado TS para tales fines.

Forward error correction

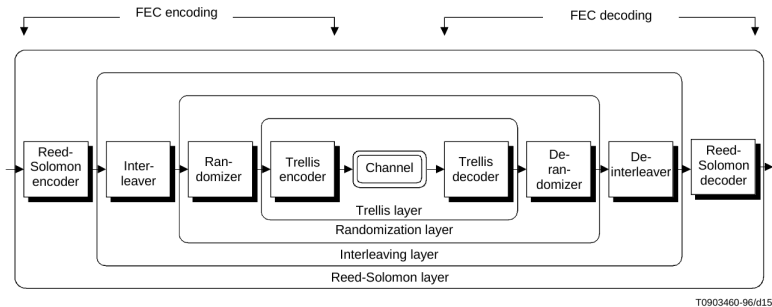


Figura: Capas de procesamiento del FEC. Tomado de ITU-T J.83(B).

⇒ ¡No hay dependencia con el MPEG-2 TS en ninguna capa del FEC!

Forward error correction – Reed Solomon encoding

- Es un código $RS(128, 122)$ sobre $GF(2^7)$, capaz de corregir hasta 3 símbolos RS por bloque o palabra de código.
- Se utiliza el mismo código RS tanto para 64QAM como para 256QAM.
- El polinomio generador para formar $GF(2^7)$ es

$$p(x) = x^7 + x^3 + 1.$$

- Se trata de un código sistemático.

Estructura del *FEC frame*

- El *FEC frame* permite sincronizar la codificación y decodificación del código RS, y los procesos de *interleaving* y *randomization*.
- La estructura del *FEC frame* es distinta para 64QAM que para 256QAM.

Estructura del *FEC frame* – 64QAM

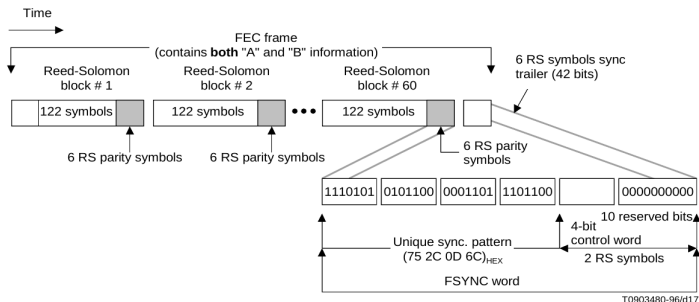


Figura: Estructura del *FEC frame* para 64QAM. Tomado de ITU-T J.83(B).

- Consta de 60 bloques RS (128×7 bits) y 42 bits de trailer.
- El patrón de sincronismo utilizado es

$$(1110101 \ 0101100 \ 0001101 \ 1101100) = (75 \ 2C \ 0D \ 6C)_{HEX}.$$

Estructura del *FEC frame* – 256QAM

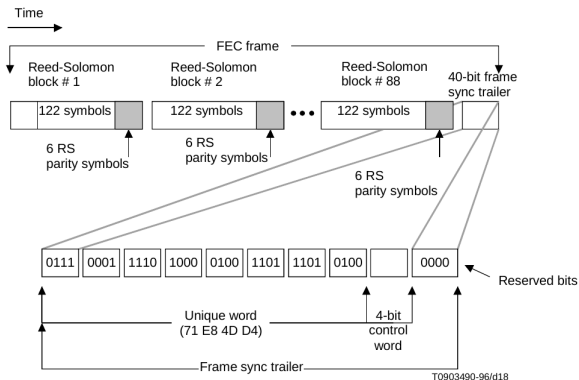


Figura: Estructura del *FEC frame* para 256QAM. Tomado de ITU-T J.83(B).

- Consta de 88 bloques RS (128×7 bits) y 40 bits de trailer.
- El patrón de sincronismo utilizado es

$$(01110001\ 11101000\ 01001101\ 11010100) = (71\ E8\ 4D\ D4)_{HEX}.$$

Forward error correction – Interleaving (2)

Control word (4 bits)	I (# of taps)	J (increment)	Burst protection 64-QAM/256-QAM	Latency 64-QAM/256-QAM
0001	128	1	95 μ s /66 μ s	4.0 ms/2.8 ms
0011	64	2	47 μ s /33 μ s	2.0 ms/1.4 ms
0101	32	4	24 μ s /16 μ s	0.98 ms/0.68 ms
0111	16	8	12 μ s /8.2 μ s	0.48 ms/0.33 ms
1001	8	16	5.9 μ s /4.1 μ s	0.22 ms/0.15 ms
1011	Reserved			
1101	Reserved			
1111	Reserved			
0000	128	1	95 μ s /66 μ s	4.0 ms/2.8 ms
0010	128	2	190 μ s /132 μ s	8.0 ms/5.6 ms
0100	128	3	285 μ s /198 μ s	12 ms/8.4 ms
0110	128	4	379 μ s /264 μ s	16 ms/11 ms
1000	128	5	474 μ s /330 μ s	20 ms/14 ms
1010	128	6	569 μ s /396 μ s	24 ms/17 ms
1100	128	7	664 μ s /462 μ s	28 ms/19 ms
1110	128	8	759 μ s /528 μ s	32 ms/22 ms

Figura: Configuraciones del *interleaver* y correspondientes *control words*. Tomado de ITU-T J.83(B).

Forward error correction – Randomization

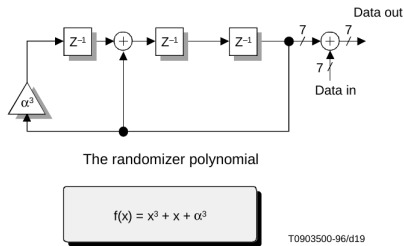
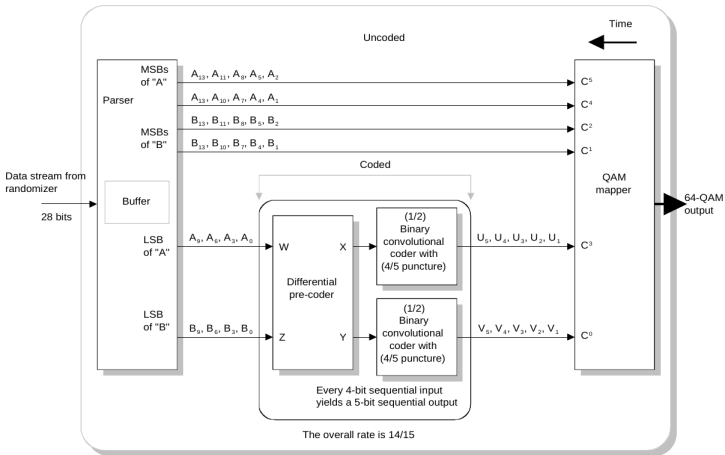


Figura: Circuito y polinomio del *randomizer*. Tomado de ITU-T J.83(B).

- Se aleatorizan símbolos de 7 bits.
- Tanto para 64QAM como para 256QAM el *randomizer* se inicializa durante el *FEC frame trailer*.
- Es habilitado para el primer símbolo luego del *trailer*, por lo que el *trailer* no se aleatoriza.
- Durante la inicialización se precargan todos-unos en los registros del circuito.

Modulation – Modo 64QAM (1)



T0903510-96/d20

Figura: Mapeo de los distintos bits del *Trellis Group* en el modulador. Tomado de ITU-T J.83(B).

Modulation – Modo 64QAM (2)

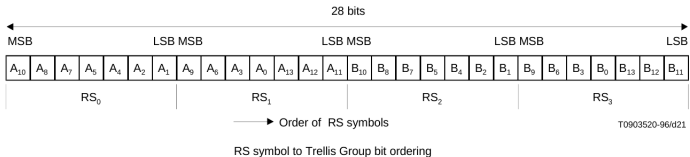


Figura: Estructura del *Trellis Group* a la entrada del modulador. Tomado de ITU-T J.83(B).

- A partir de 28 bits se generan 5 símbolos 64QAM.
- El *Trellis Encoder* logra una tasa final de $\frac{14}{15}$.

Modulation – Modo 256QAM (1)

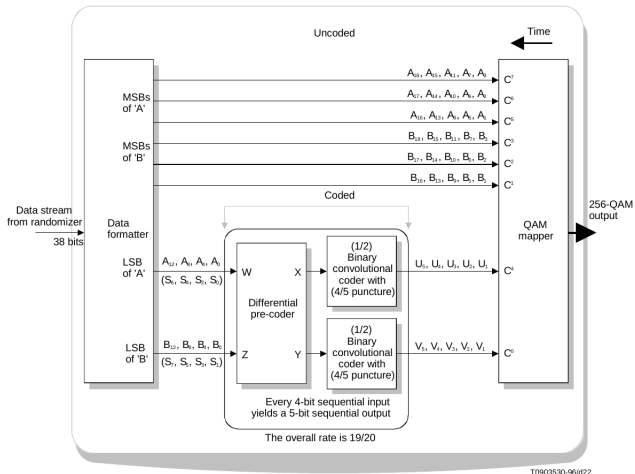


Figura: Mapeo de los distintos bits del *Trellis Group* en el modulador. Tomado de ITU-T J.83(B).

Modulation – Modo 256QAM (2)

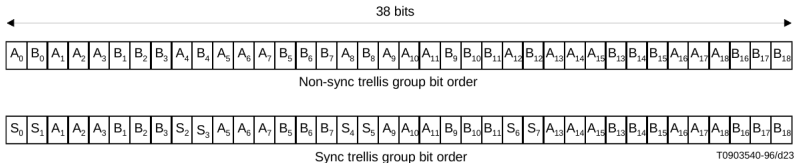


Figura: Estructura del *Trellis Group* a la entrada del modulador. Tomado de ITU-T J.83(B).

- A partir de 38 bits se generan 5 símbolos 256QAM.
- El *Trellis Encoder* logra una tasa final de $\frac{19}{20}$.

Modulation – Convolutional encoder

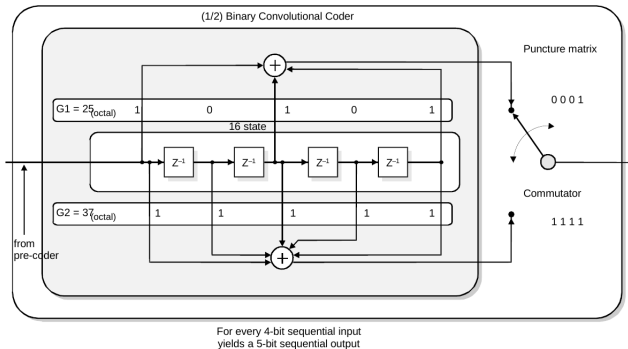


Figura: Código convolucional utilizado tanto para 64QAM como para 256QAM. Tomado de ITU-T J.83(B).

- Se utiliza el código madre de la imagen, con $k = 5$ y tasa $\frac{1}{2}$.
- Luego mediante un proceso de *puncturing* se logra una tasa de $\frac{4}{5}$.

ITU-T J.83(B) *in a nutshell*

Parameter	64-QAM format	256-QAM format
Modulation	64-QAM, rotationally invariant coding	256-QAM, rotationally invariant coding
Symbol size	3 bits for "I" and 3 bits for "Q" dimensions	4 bits for "I" and 4 bits for "Q" dimensions
Transmission band	54 to 860 MHz (Note)	54 to 860 MHz (Note)
Channel spacing	6 MHz (Note)	6 MHz (Note)
Symbol rate	5.056941 Msps \pm 5 ppm (Note)	5.360537 Msps \pm 5 ppm (Note)
Information bit rate	26.97035 Mbps \pm 5 ppm (Note)	38.81070 Mbps \pm 5 ppm (Note)
Frequency response	Square root raised cosine filter (Roll-off \approx 0.18)	Square root raised cosine filter (Roll-off \approx 0.12)
FEC framing	42-bit sync trailer following 60 RS blocks (see B.5.3)	40-bit sync trailer following 88 RS blocks (see B.5.3)
QAM constellation mapping	6 bits per symbol (see B.5.5)	8 bits per symbol (see B.5.5)
NOTE – These values are specific to 6 MHz channel spacing. Additional sets of values for differing channel spacing are under study.		

Figura: Parámetros de la norma para ambos modos de transmisión. Tomado de ITU-T J.83(B).

Ejercicios

- (1) Halle una expresión genérica para el bitrate útil en una transmisión CATV, tanto para 64 *QAM* como para 256 *QAM*.
- (2) Calcule la eficiencia espectral en bits por uso del canal (bpcu) para cada caso.

Soluciones

(1) Una ecuación genérica sería la siguiente:

$$r_b = r_s \times m \times R_{CC} \times \frac{\text{bits útiles en FEC frame}}{\text{total bits en FEC frame}}$$

para el caso de 64QAM:

- $r_s = 5,057 \text{ Msym/s}$.
- $m = 6 \text{ bits/sym}$.
- $R_{CC} = \frac{14}{15}$.
- $\frac{\text{bits útiles en FEC frame}}{\text{total bits en FEC frame}} = \frac{122 \times 7 \times 60}{128 \times 7 \times 60 + 42}$.

y para el caso de 256QAM:

- $r_s = 5,361 \text{ Msym/s}$.
- $m = 8 \text{ bits/sym}$.
- $R_{CC} = \frac{19}{20}$.
- $\frac{\text{bits útiles en FEC frame}}{\text{total bits en FEC frame}} = \frac{122 \times 7 \times 88}{128 \times 7 \times 88 + 40}$.

Soluciones

(2) Para el caso de 64QAM:

$$\eta \approx 5,33 \text{ bpcu},$$

y para el caso de 256QAM:

$$\eta \approx 7,24 \text{ bpcu}.$$