
TELEVISIÓN DIGITAL

1) Introducción:

En este capítulo se tratará de dar los conceptos básicos sobre la televisión digital, la posibilidad de comprimir la información y los distintos sistemas de transmisión de DTV.

2) Digitalización de la señal:

La televisión no ha quedado afuera de la digitalización. En los comienzos se pensó para no perder calidad en el procesamiento de la señal, pero después se vio una posibilidad de comprimir la señal lo que dio como resultado mejorar la calidad de imagen utilizando el mismo ancho de banda de un canal analógico.

Un comité estudió los distintos sistemas de televisión y emitió una recomendación para digitalizar la señal de video. Esto se vio en la recomendación ITU-601 (anteriormente CCIR 601).

Esta recomendación no es un estándar de interface de video sino es un estándar de muestreo de la señal de video.

Después del estudio de los parámetros de las señales de video de 525/59.94 y 625/50, se culminó en la recomendación 601.

Esta recomendación especifica un muestreo ortogonal a 13.5 MHz para la señal de luminancia y 6.75 MHz para las señales diferencia de color. La estructura de muestreo definida es 4:2:2. Para llegar a esta conclusión se han examinado frecuencias de muestreo desde 12 a 14.3 MHz.

En un principio se había determinado que el muestreo de la señal de luminancia iba a ser de 8 bits pero luego se optó por aceptar también 10 bits debido a que algunas empresas sugirieron ampliar el rango dinámico de la señal.

También se definió un intervalo de seguridad para evitar recortes si se sobrepasan los niveles de blanco y de negro (ver gráfico).

Hasta el momento se obtiene una señal digital paralelo.

En algunos lugares se está popularizando el formato 16:9 más parecido al cine, en este caso se reserva un número de muestras de 960 muestras por línea activa mientras que en el formato estándar hay 720 muestras por línea activa.

En el formato 16:9 resulta una frecuencia de muestreo de 18 MHz.

La señal digital paralelo es usada directamente en muy pocas aplicaciones. Para utilizar un cable coaxial como medio de transmisión se utiliza la señal digital serie. La cual se obtiene de serializar la señal paralelo.

La señal serie tiene una tasa de información dependiendo de la señal digitalizada a saber:

⇒ 143 Mb/s NTSC.

⇒ 177 Mb/s PAL.

⇒ 270 Mb/s CCIR 601.

⇒ 360 Mb/s 16:9 .

La señal serie se pensó para utilizar una cuantificación de 10 bits, en el caso que se utilice una cuantificación de 8 bits el serializador colocará dos ceros en los bits menos significativos para completar los diez bits.

Hasta el momento hemos digitalizado la señal de video en distintos sistemas con una tasa de información que dependerá de los mismos.

Esta señal serie se la utiliza actualmente prácticamente en todos los canales de transmisión en el procesamiento interno, grabación, etc. Al final del proceso se la vuelve a convertir en analógica. Con esta digitalización se logra una muy buena calidad de imagen sin sufrir deterioros en la grabación como en la reproducción.

3) Compresión de video

Sin duda la señal de video digital serie no aporta ninguna ventaja en si misma sino la ya mencionada como la de permitir procesarla y grabarla sin perder calidad.

Sin embargo la mayor ventaja de la digitalización de la señal de video es la posterior compresión.

La compresión permite reducir la tasa de información de tal manera de aprovechar el ancho de banda del canal dando más capacidad al mismo. Por ejemplo en un ancho de banda de 6 MHz, lo que ocuparía un canal analógico, se pueden mandar hasta 6 canales digitales de la misma calidad NTSC. Además se pueden hacer distintas combinaciones de modo tal que se puede mandar 4 canales calidad DVD o bien un solo canal de alta definición de 1920 por 1080 pixels.

Esto sin duda es el motor del paso a la transmisión de televisión digital. Además permite enviar otro tipo de información adicional como ser datos, internet, etc.

La compresión de la señal es algo así como hacer leche en polvo. A la leche se la procesa, se le saca el agua (redundancia), reduciendo así el tamaño del contenido. Se la transporta, y por último el usuario le agrega el agua en la proporción indicada (descompresión) y se obtiene la leche original, o bien con las propiedades de la original.

Si bien todas las moléculas de la leche son iguales, en la señal de video lamentablemente todos los pixels no son iguales.

La esencia de la compresión es tirar datos. La efectividad de la compresión está indicada por la relación de compresión, la cual determina el número por el cual se divide la tasa original.

Asumiendo que la señal digital serie de una cámara de alta definición genera una tasa de información de alrededor de 1000 Mbit/s y en el sistema ATSC se reduce a 18 Mbit/s, la relación de compresión en este caso es de 55:1.

La relación de compresión depende fundamentalmente de la señal de entrada. Para el caso de una señal de 485 x 740 pixels 4:2:2 muestreada a 10 bits y 30 cuadros por segundo la relación de compresión es de 8.5:1. Para una señal de 480 x 640 pixels, 4:1:1 y 8 bit de cuantificación la relación de compresión es de 4.5:1.

Algoritmos:

Hay dos tipos de algoritmos de compresión que son lo que no se puede perder y lo perdible. Como el nombre lo indica lo que no se puede perder debe ser enviado.

Una técnica común de compresión de lo que no se puede perder es la de "codificación por longitud de palabra". Esto se logra enviando un código

predefinido que utiliza un string de unos o ceros seguido por un número que representa la cantidad del string.

En otro campo un algoritmo de compresión de lo que no se puede perder es el código Morse. Morse hizo una estadística de textos en Inglés y determino la repetitividad de todas las letras del abecedario. A la de mayor repetitividad le asignó el simbolo más pequeño “.” que es la letra E y a la que le sigue el siguiente caracter que es la “-“ la I y así sucesivamente fue asignando las combinaciones de estas para representar todos las letras del abecedario. De esta manera la cantidad de información de un texto promedio siempre será la mínima posible.

En la aplicación de TV lo que se utiliza es el código de Huffman o código de entropía, que computa la probabilidad de que ciertos valores de datos ocurran asignando códigos cortos a los de alta probabilidad de ocurrencia y largos a los de baja probabilidad.

Esta compresión es segura pero aporta una reducción en la tasa de información baja de alrededor de 2:1.

El ahorro real de la compresión se hace mediante la compresión perdible. Este proceso se basa en separar la información importante de la no importante, desechando solamente la no importante.

La compresión perdible toma el sistema de el comportamiento d nuestros ojos decidiendo que información es importante y cual puede ser eliminada.

La percepción del color es baja y por lo tanto la resolución de croma puede ser reducida en un factor de hasta 8 o mas dependiendo de la aplicación.

Esta compresión explota la poca habilidad de la vista para ver detalles inmediatamente después de un cambio de imagen o bien de una imagen en movimiento.

Predicción:

La compresión de video se basa también en la correlación de los elementos de imagen adyacentes. Si la imagen de televisión fuese una sucesión aleatoria de pixels (ruido) la compresión no sería posible.

Afortunadamente los elementos de imagen se parecen al tiempo, mañana es probable que el tiempo se parezca al de hoy.

El código de predicción confía en hacer una estimación entre el pixel presente, los anteriores y los vecinos para determinar el siguiente. Las reglas de la estimación están almacenadas en el decodificador y, por cada nuevo pixel, debe mandar la diferencia entre el valor estimado y el real. Cuanto mas exacta sea la predicción menos información se deberá enviar.

Compensación de movimiento:

Los objetos en movimiento de un campo al otro complican el proceso de predicción pero también abre una nueva posibilidad de compresión. Afortunadamente, los objetos en movimiento en el mundo real son de alguna manera predecibles. Ellos tienden a moverse con una inercia y en una continua manera. En MPEG, donde los elementos son procesados en bloque, se pueden ahorrar unos cuantos bits si se predice como un bloque dado se mueve entre un campo y el otro. Enviando comando (vectores de movimiento), simplemente le informan al decodificador como deben moverse los pixels que están en memoria, evitando tener que enviarlos nuevamente.

Compresión Inter vs intra campo:

Tanto como la información comprimida va a ser solamente transmitida y vista, los codificadores de compresión pueden asignar muchos bits en una pila sin importancia explotando la redundancia en sucesivos campos. A esto se lo llama codificación inter campo.

Si, de lo contrario, el video es destinado a otros procesos como agrandamientos, rotaciones o cromakey, algunos de esos datos pueden ser necesarios y puede ser importante gastar unos bits indicando que tipo de post producción va a ser realizada.

Para facilitar la edición y otros post procesamientos, los esquemas de compresión usualmente ponen sus esfuerzos dentro de un mismo campo, llamado codificación intra campo. Esto utiliza mas bits per la información es valiosa.

Esta codificación es usada generalmente en las grabadoras de video tipo Digital Betacam, Digital S que normalmente la señal va a ser usada en post producción.

Compresión Simétrica vs Asimétrica

Los sistemas de compresión se describen de acuerdo con la complejidad de los mismos (por supuesto el costo) o de sus codificadores y decodificadores.

Normalmente cuando se usa un sistema punto a punto se utilizan sistemas simétricos en cambio cuando se hacen sistemas punto a multipunto se utilizan sistemas asimétricos. Esto se debe a que conviene hacer más complejo al codificador, que por supuesto habrá uno solo, y menos complejo a los decodificadores. Este es el caso típico de la transmisiones de televisión digital en las cuales se trata de abaratar al máximo el costo de los decodificadores que seguramente será millones en un futuro cercano.

Transformación

La transformación es lo que se encarga de separar lo importante de lo no importante en la señal de video.

En video e utilizan tres tipos de transformación : Wavelets , fractals y la transformada de coseno discreta DCT.

La que se adoptó para los sistemas de televisión digital es la DCT. La transformada de coseno discreta es la más usada actualmente en los procesos de compresión de video. Emplea tanto sistemas inter campo como intra campo y forma las bases para el standard de imagen JPEG, el MPEG para imagenes en movimiento y otros sistemas de compresión de video disponibles incluido los formatos de la familia DV.

La DCT se basa en la teoría de que el ojo es más sensitivo a ciertos movimientos en frecuencias de dos dimensiones en una imagen y mucho menos sensitiva en otros.

Con la DCT, la imagen se la divide en pequeños bloques, generalmente de 8 x 8 pixels. El algoritmo de la DCT convierte los 64 valores representativos de la amplitud de cada pixel en un bloque de 64 nuevos valores (coeficientes) que representan cuantas de cada una de las 64 frecuencias está presente.

En este punto tiene lugar la compresión. Hemos cambiado un bloque de 64 números por otro y podemos revertir el proceso y volver atrás a los valores de amplitud originales.

La mayoría de la información en una escena está concentrada en pocas de los coeficientes de baja frecuencia, habrá un gran número de coeficientes que serán cero o bien tendrán un valor muy cercano a cero. Estos valores serán redondeados a cero y tendrán un efecto visual muy poco visible cuando sean reconstituidos por la transformada inversa en el decodificador.

Esto es válido si se trata de imágenes normales, cuando aparece el ruido que generalmente es aleatorio el sistema deja de trabajar en forma aceptable.

Z_{00}							Z_{07}
Z_{56}							Z_{63}

BLOQUE DE PIXELS DE 8 x 8

X_0							X_0 -
X_5 ~							X_6 ~

BLOQUE DE COEFICIENTES DE 8 x 8

La ecuación de la transformada de coseno discreta es :

$$Z_{(u,v)} = \frac{1}{4} C_j C_k \sum_{j=0}^{j=7} \sum_{k=0}^{k=7} f(j,k) \cos \frac{(2j+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2k+1)v\pi}{16}$$

dónde:

$C(u), C(v) = 1 / \text{raíz de } 2$ Si $u,v = 0$

$C(u), C(v) = 1$ Si $u,v = 1,2,3,\dots, 7$

Compresión MPG2

La compresión MPEG 2 prevé exploración entrelazada y progresiva, muestreo 4:2:0 y 4:2:2 (Rec ITU 601), resolución de hasta 16.000 pixels x 16.000 líneas incluye todas las aplicaciones utilizadas en radiodifusión.

Escalonabilidad, significa que un decodificador de SDTV puede extraer información de un tren de pulsos de HDTV.

La norma MPEG 2 define perfiles y niveles para estandarizar las señales. Para cada perfil y nivel especifica lo que se debe hacer.

El sistema MPEG 2 define un paquete mínimo que tiene una longitud de 188 bytes de los cuales los 4 primeros son de cabecera. En la cabecera se almacenan los datos de identificación de la señal, para poder ser luego rearmado en el decodificador.

4) Sistema ATSC (EE UU)

El sistema ATSC fue diseñado por un grupo de empresas que presentaron los trabajos a la FCC la cual lo aprobó como estandar para los EE UU.

Para la televisión terrestre el sistema ATSC utiliza la modulación 8VSB y prevé 18 posibles calidades de imagen desde HDTV 1920 x 1080 60 campos barrido progresivo en formato 16:9 hasta SDTV 640 x 480 24 cuadros progresivo en relación 4:3. El licenciatario del canal puede transmitir el formato que desee.

El sistema ATSC puede incorporar un sistema de audio dolby AC3 de 5.1 canales de sonido.

El sistema 8VSB tiene una carga neta de 19.28 Mbps.

En el siguiente diagrama en bloques se grafica el sistema de modulación ATSC, en el cual los datos se transmiten en 8 niveles, de ahí el nombre de 8VSB. El sistema homologado para cable es 16 VSB pero no se está utilizando en este momento en los EE UU.

5) Sistema DVB (Europa)

El sistema DBV utiliza al igual que ATSC el sistema de compresión MPEG 2. Admite también un audio de calidad capa 2 (MUSICAM).

El sistema de modulación que se adoptó es el COFDM (codificación ortogonal de multiplexación por división de frecuencias), el sistema se basa en portadoras múltiples que pueden ser 2 K u 8 K (2048 y 8192). Cada portadora puede ser modulada en QPSK, 16 QAM o 64 QAM. El ancho de banda típico de este sistema es de 8 MHz ancho del canal Pal B.

El sistema tolera señales con retardo, redes de frecuencia única, interferencias de banda angosta, portadoras de televisión analógica y espureas en la señal.

Las portadoras del sistema COFDM, OFDM se sacan de la transformada rápida de Fourier . FFT (tamaño) = $2^{\exp. N}$ donde $N=11$ y $N=13$. Lo que da como resultado 2048 (2K) y 8192 (8K).

El sistema admite varios tipos de formatos de video desde HDTV 1920 x 1080 en 16:9 con varios tipos de barrido progresivo y entrelazado hasta SDTV de 240 x 352 en 4:3 o 16:9 en 25 o 30 campos entrelazados. El sonido es stereo para los formatos de menor calidad y 5 canales con calidad CD para el formato HDTV.

La diferencia fundamental entre los sistemas ATSC y DBV es la forma de modular los datos.

El sistema COFDM, permite modular las portadoras en QPSK, 16 QAM y 64 QAM.

La modulación QPSK es la más robusta pero como contrapartida permite modular menor información.

La modulación QPSK consiste en que cada portadora puede tomar 4 estados de acuerdo con la información entrante, esos cuatro estados dan 4 vectores en diagrama de fase que son -135° , -45° , $+135^\circ$ y $+45^\circ$, esto da una constelación de 4 puntos en el diagrama (ver gráficos).

El sistema 16 QAM en cambio toma 4 bits de datos y genera una diagrama de constelación de 16 puntos, básicamente son 4 modulaciones QPSK una en cada cuadrante (ver gráficos).

La modulación 64 QAM es básicamente el mismo principio que la 16 QAM con la variante que el total de puntos es 64, 8 en cada cuadrante. El numero de bits que procesa a la vez son seis en lugar de 4 como el 16 QAM. Lógicamente que este sistema admite mayor capacidad de modulación con la contrapartida que es menos robusto que el 16 QAM y QPSK. Para evitar problemas el sistema DBV admite intervalos de guarda los cuales protegen a las portadoras de los posibles retardos de fase y demás interferencias que se puedan producir en la transmisión.