

Televisión digital: un nuevo campo de acción, nuevas oportunidades

Digital television: a new action field, new opportunities

Gerardo Alberto Castang Montiel*

Héctor Julio Fúquene Ardila**

Fecha de recepción: 25 de febrero de 2009

Fecha de aceptación: 3 de abril de 2009

Resumen

En el presente artículo podemos encontrar un estudio de lo que es la televisión digital, los diferentes estándares que son utilizados en el orden mundial, las implicaciones de su implementación, algunos aspectos técnicos de cada uno de los estándares; relacionando todo esto con el proceso que se realiza en la actualidad en el país con miras a su implementación. Es de resaltar la importancia que este tema reviste para los estudiosos de la informática, la electrónica, la telemática y todas las áreas afines a las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones, comúnmente conocidas como TIC.

Palabras clave: televisión análogo y digital, modulación digital, estándar europeo, teoría de la información.

* Ingeniero electrónico, magíster en teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, miembro del grupo de investigación en Telemática ORION, docente de planta adscrito a la Facultad Tecnológica. Correo electrónico: gacastangm@udistrital.edu.co

** Ingeniero de sistemas, magíster en teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, miembro del grupo de investigación en Telemática ORION, docente de planta adscrito a la Facultad Tecnológica. Correo electrónico: hfuquene@udistrital.edu.co

Abstract

Presently article can find a study of what is the digital television, the different ones standard that are used in the world order, the implications of its implementation, some technical aspects of each one of the standards; relating all this with the process that is carried out at the present time in the country with aims their implementation. It is of standing out the importance that this topic had for the computer science specialists, the electronics, the telematic and all the similar areas the technologies of the information and the commonly well-known telecommunications as TIC.

Key words: Analogic and digital television, digital modulation, european standard, information theory.

Introducción

La televisión en Colombia se encuentra en el proceso de transición del estándar de televisión analógico hacia el estándar de televisión digital. Actualmente, la televisión en Colombia es análoga, basada en el estándar NTSC (National Television System Committee), que es el estándar americano. La tendencia en el orden mundial es buscar el “apagón analógico”, el cual consiste en la migración total hacia tecnologías digitales, de los servicios de comunicación como son los de voz, video y datos.

¿Pero por qué esta tendencia? Es bien sabido que las tecnologías digitales presentan un mejor desempeño que las tecnologías análogas, en aspectos tales como el manejo del ruido, compresión de la señal, calidad de la señal, requerimientos del ancho de banda del canal y mayores velocidades de transferencia de la información. ¿Entonces qué es la televisión digital?, ¿qué ventajas presenta?, ¿qué características tiene?, son algunas de las preguntas que queremos abordar en este artículo.

Iniciamos definiendo que existen diferentes clases de televisión digital, entre las que se encuentra la televisión digital terrestre, la televisión digital por cable, la televisión digital satelital y la televisión digital móvil. Todos estos sistemas se encuentran caracterizados por los siguientes ítem: la codificación de fuente, la codificación de canal, la multiplexación, la modulación, los servicios proporcionados y los estándares definidos a nivel mundial. Dentro de la codificación de fuente se encuentra la codificación de video y la codificación de audio. Uno de los esquemas de codificación más utilizados por los estándares internacionales es el estándar MPEG (Moving Pictures Expert Group). Para la codificación de video, se utiliza el estándar MPEG-2, y para la codificación de audio el estándar MPEG-1 el cual se utiliza en algunos casos.

Dentro del estándar MPEG-2, algunas de sus características más importantes son el formato de trama y el método de compresión utilizado, que en este caso se fundamenta en algoritmos que utilizan la Transformada Coseno Discreta (DCT), la cual presenta venta-

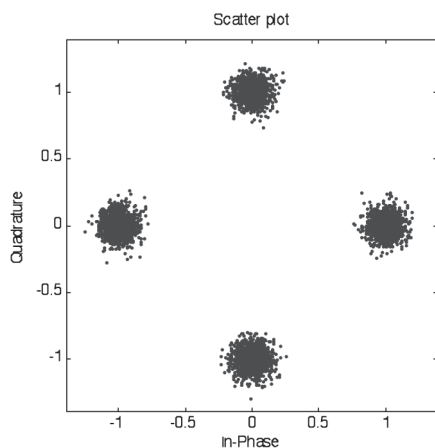
jas en el proceso de compresión de imágenes y video. También se realiza un proceso de multiplexación, el cual permite el flujo de diferentes tipos de información como son audio, video y datos, lo que genera unas tasas de información multiplexada.

Otro de los aspectos para tener en cuenta es la codificación de canal. En la codificación de canal, se realizan los procesos de detección y corrección de errores; dentro de los algoritmos de corrección de error ampliamente utilizados se encuentra la codificación Reed-Solomon que es una codificación de bloque, más específicamente una codificación cíclica; también se utiliza una Codificación Convolutiva o de Viterbi, al igual que un proceso de entrelazado o interleaving para manejo del error.

La modulación es un aspecto importante dentro de este proceso, los diferentes esquemas de televisión digital utilizan una modulación, dependiendo del medio en el cual se envíe la información. Los esquemas utilizados los podemos clasificar en dos grandes

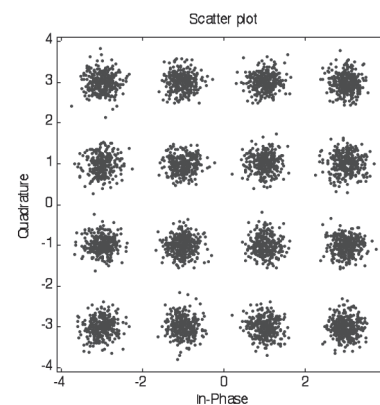
vertientes, radio digital y OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal). En los sistemas de radio digital se encuentran la modulación PSK (modulación por desplazamiento de fase, Phase Shift Keying) y la modulación QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura). En la modulación PSK, la información (digital) viaja en las variaciones de fase de la portadora, siendo de amplitud constante; y en QAM la información viaja en las variaciones de fase y amplitud de la señal portadora. Estos esquemas de modulación son sistemas M-arios, es decir, se permiten diferentes niveles de la señal. Uno de estos esquemas, es el sistema QPSK (modulación por desplazamiento de fase en cuadratura) lo que quiere decir que cada dos bits de información a la entrada genera una fase a la salida. Este sistema QPSK es ampliamente utilizado en la televisión digital satelital, dadas las características de ancho de banda tasa de datos, distancias y manejo del ruido. En la figura 1 se presenta el diagrama de dispersión de la modulación QPSK, con una relación señal a ruido de 20dB, con 5000 muestras aleatorias.

Figura 1. Diagrama de dispersión modulación QPSK



Fuente: los autores.

Figura 2. Diagrama de dispersión modulación 16 QAM



Fuente: los autores.

El otro esquema ampliamente utilizado es QAM, que también es un sistema M-ario dentro del cual se encuentran los sistemas 16-QAM y 64-QAM; esto quiere decir que cada cuatro bits y cada seis bits respectivamente se genera un símbolo a la salida. Estos sistemas son utilizados en la televisión digital por cable teniendo en cuenta parámetros como ancho de banda, tasa de transmisión de datos y distancias. En la figura 2 se presenta el diagrama de dispersión de la modulación 16QAM, con una relación señal a ruido de 20 dB, con 5.000 muestras aleatorias.

Como se anotó, en los dos esquemas de modulación son M-arios, basados en las figuras 1 y 2, se puede observar cómo la amplitud en el esquema QPSK (a 4 niveles) permanece constante o es única, mientras que en el esquema QAM este parámetro varía, además de la fase.

En la transmisión digital terrestre vía radio se presenta un fenómeno llamado desvanecimiento de la señal o desvanecimiento de Rayleigh, ocasionado por la multitrayectoria. Este fenómeno ocurre debido a las múltiples reflexiones que sufre la señal durante su propagación; estas múltiples señales pueden llegar al receptor con diferentes potencias y diferentes fases, lo cual puede anular o generar pérdidas en la señal transmitida en el extremo receptor.

Para solucionar este problema se utiliza la modulación OFDM, la cual consiste en la asignación de bandas de frecuencias que deben ser ortogonales entre sí, es decir, las frecuencias a las cuales se transmite por cada subbanda están desfasadas 90 grados la una de la otra y dentro de estas sub-bandas se pueden utilizar esquemas de modulación como QPSK o QAM, lo que conduce al COFDM (OFDM Codificado). Dentro del OFDM existen variaciones, se encuentran los sistemas de 2K y 8K, es decir, se utilizan aproximadamente 2.000 y 8.000 subportadoras en un ancho de banda de 7 y 8 MHz, que es el

ancho de banda típico de un canal de televisión análogo en norma europea (7 Mhz para VHF y 8 Mhz par UHF). Éste es el esquema que presenta mejor desempeño para la televisión digital terrestre para evitar los efectos de la propagación multitrayectoria.

Algunas de los aspectos en los cuales se mejora con la televisión digital en cuanto a los servicios son mayor número de canales en el mismo ancho de banda, audio y video de mayor calidad, transferencia de datos, acceso a Internet e interactividad. El ancho de banda se puede dividir en varios canales para la difusión de televisión de definición estándar (SDTV) o se utiliza el ancho de banda para la difusión de una señal de televisión de alta definición (HDTV). También se puede contar con un canal de datos en el cual se puede tener acceso a Internet y también se puede utilizar para la interactividad. Esto es una ventaja muy importante, ya que ha generado nuevas formas de comunicarse con el usuario, no siendo éste un actor pasivo y permite una mayor interacción entre el usuario y el proveedor del servicio. En algunos países donde la televisión digital ya ha sido implementada, como en el caso europeo, se han desarrollado aplicaciones en el área gubernativa, comercial y educativa, conduciendo a los modelos de T-commerce, T-government y T-learning.

Es de anotar que se requiere un decodificador llamado Set-top-box(STB) para decodificar la señal en los receptores que no se han adecuado para la televisión digital o utilizar un receptor que incorpore el decodificador.

Estándares de televisión digital a nivel mundial

Dentro de los estándares de televisión digital más conocidos a nivel mundial se encuentran el estándar europeo, el estándar americano y el estándar japonés. También se encuentran el estándar brasileño y el es-

tándar chino. El estándar europeo se conoce como DVB (Digital Video Broadcasting). El estándar americano se conoce como ATSC (Advanced Television System Committee), el estándar japonés se conoce como ISDB (Integrate Services Digital Broacasting). El estándar brasilero se conoce como SBTB (Sistema Brasileiro de Televisión Digital) y el chino se conoce como DMB-T/H(Digital Multimedia Broadcast - Terrestrial / Handled).

En el estándar europeo, se encuentran las especificaciones para la televisión digital terrestre (DVB-T), satelital (DVB-S), cable (DVB-C) y móvil (DVB-H). En el estándar americano se está desarrollando la parte móvil, el estándar europeo define la movilidad, el estándar japonés ha desarrollado ampliamente la difusión de la televisión digital gratuita a dispositivos móviles por medio de la técnica llamada Oneseg (un segmento), en el cual el ancho de banda del canal se subdivide en trece segmentos y uno de esos segmentos se utiliza para la difusión de la televisión digital a dispositivos móviles y portables.

En Colombia se han venido desarrollando pruebas con los distintos estándares y quien ha estado al frente de este proceso ha sido la Comisión Nacional de Televisión (CNTV). Es de anotar que la definición del estándar ha estado bastante retrasada –más de un año– y su proceso de transición de la televisión analoga a la digital demora aproximadamente 10 años, esto basado en las experiencias de países donde ya se ha implementado. Sin embargo, en el caso de Brasil, por su condición geográfica y socioeconómica este proceso demorará más tiempo, lo cual podemos hacerlo extensivo a todos los países de la región.

Aspectos generales de los sistemas de televisión digital actuales

Existen diferentes formas de difusión para la televisión digital, dependiendo la forma como se emita; éstos son terrestre, por cable, por satélite y móvil. La principal caracte-

terística de la televisión digital terrestre es que debe ser gratuita, y dirigida a cubrir la mayor parte de la población, como la televisión analoga radiodifundida. Entonces, es necesario definir claramente el estándar a establecer en el país, para poder cumplir con las fechas del anunciado apagón analógico, que para Colombia es aproximadamente en el año 2019. Este proceso ya se inició con la elección del estándar europeo para televisión digital terrestre.

En este proceso de la migración de la televisión analoga a digital, para garantizar mayor cobertura que la televisión analoga que ha sido gratuita, se deberían establecer subsidios a la población, como ha sido el caso de Brasil, con el propósito de que las personas puedan adquirir nuevos televisores que permitan decodificar la señal en el estándar definido o utilizar un decodificador(Set-top-box), para recibir la señal digital, dado que la mayoría de la población debe adquirirlo y la condición socioeconómica no es muy alta. Estos subsidios deben ofrecerlos los fabricantes y el Estado para la adquisición de éstos. Actualmente, el precio de un decodificador oscila entre 50 y 80 dólares en países como Estados Unidos y España. En el caso de la televisión digital por cable, en muchos casos, los proveedores del servicio regalan los decodificadores con el objetivo de tener un mayor número de clientes (como ha sido el caso en el Reino Unido).

Características de los estándares para televisión digital terrestre

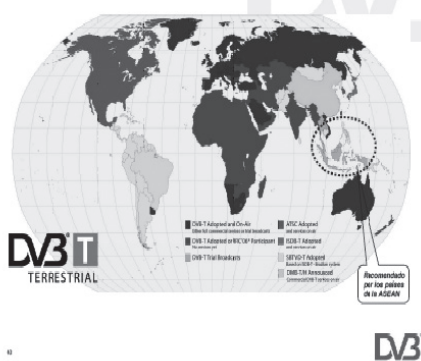
Estándar europeo (DVB-T)

El estándar europeo para televisión digital terrestre se conoce como DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial). Éste es el estándar más usado mundialmente, en los países de la Unión Europea, Australia y África (figura 3). En Latinoamérica, Uruguay y Chile anunciaron implementar este estándar

para televisión digital terrestre, Argentina había definido el estándar americano ATSC, pero cambió esta decisión y tienen que definir un nuevo estándar en el presente año, posiblemente definan el DVB-T.

Figura 3. Utilización de DVB-T en el mundo

DVB en el mundo: TV Digital Terrestre



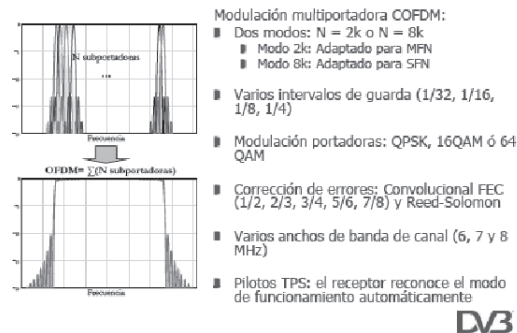
Fuente: Conferencia Estándar Europeo. CNTV.

Este estándar se adapta fácilmente a la topografía montañosa como la colombiana debido a los parámetros utilizados, como es el esquema de modulación por utilizar que, en este caso, es el OFDM (figura 3b). Además, DVB ha definido el estándar móvil conocido como DVB-H, el cual permite recibir la señal de televisión digital en equipos móviles, al igual que el estándar de interactividad conocido como MHP (plataforma multimedia al hogar), el cual especifica la forma para el desarrollo de aplicaciones interactivas, basados principalmente en el lenguaje Java.

Con respecto a la figura 3b, podemos comentar lo siguiente. En relación con los dos modos existentes en la modulación multiporadora, podemos decir que el modo 8k es utilizado para la televisión de alta definición; en este modo se utiliza la modulación

Figura 3. Conferencia estándar europeo. CNTV.

Características técnicas DVB-T (I)



Fuente: conferencia sobre DVB. CNTV.

64 QAM, para recepción fija, lo que permite obtener una mayor tasa de datos, pero, esta modulación es menos robusta frente al ruido, debido a que los ángulos de separación para los vectores son más pequeños. Para el modo 2k, se utiliza la modulación QPSK, la cual es más robusta frente al ruido, pero, se tiene una menor tasa de datos que si se utilizara una modulación 64 QAM. El modo 2k se utiliza para la difusión de televisión digital para dispositivos móviles. En la modulación COFDM, a un conjunto de 2k u 8k portadoras se la conoce como un símbolo, el intervalo de guarda es un tiempo que se introduce antes de cada símbolo para evitar los efectos de la interferencia intersímbolo (ISI), los valores del intervalo de guarda son 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, con respecto al tiempo de duración de un símbolo. Cuando se utiliza un intervalo de guarda 1/4 se tiene una mayor robustez que si se utiliza un intervalo de guarda 1/32. Otro parámetro importante es el FEC (forward Error Correction); un FEC de 1/2 significa que por un bit de información a la entrada del codificador, se obtienen dos bits a la salida de éste, de forma equivalente para un FEC 7/8, es decir, que de siete bits de información se obtiene ocho a la salida del codifi-

cador. En consecuencia, un FEC 1/2 permite obtener mayor robustez frente al error en la comunicación que un FEC 7/8. También se puede difundir la señal en diferentes anchos de banda, específicamente, 6 Mhz, 7 Mhz y 8 Mhz, en un canal de 8Mhz, se puede obtener una mayor tasa de información que en un canal de 6 Mhz y, por ende, mayor calidad en la señal o mayor número de canales.

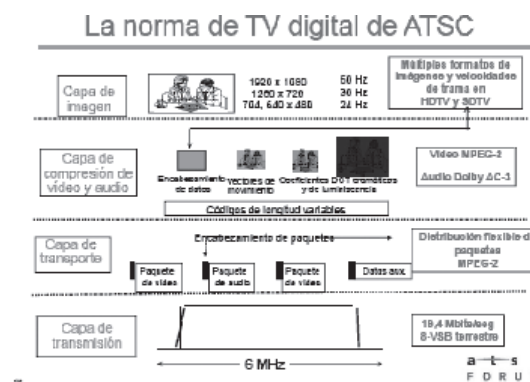
Con las señales TPS se envía información de control y de señalización, con la cual el receptor reconoce el modo de operación o si se utiliza un esquema transmisión en modo jerárquico o no jerárquico. En un modo no jerárquico se puede enviar un canal de alta definición o cuatro canales de definición estándar; en el modo jerárquico se envía un solo flujo en el cual viaja un canal de alta definición y un canal de definición estándar el cual es utilizado para la recepción móvil. La combinación de los parámetros anteriores es lo que permite obtener una tasa de datos flexible en el estándar europeo. También se encuentran las redes de multifrecuencia (MFN, Multi Frecuncy Networks) y las redes de frecuencia única (SFN: Single Frecuncy Networks). Las redes SFN permiten una utilización más eficiente del espectro, ya que el difusor puede emitir su señal y ésta puede ser recibida en una única frecuencia en gran parte del territorio por cubrir.

Estándar americano (ATSC)

Estados Unidos, Canadá, México y Corea del Sur definieron el estándar americano ATSC como su norma para televisión digital terrestre. Honduras anunció la implementación de este estándar. El ATSC no ha desarrollado ampliamente la parte móvil, además, se desarrolló con base en la topografía norteamericana que consiste de grandes extensiones planas, para este tipo de topografía definieron el esquema de modulación que es

8-VSB (banda lateral residual de 8 niveles) que en síntesis es una modulación de amplitud la cual tiene 8 niveles de amplitud como el 8-QAM.

Figura 4. Modelo de capas del estándar ATSC



Fuente: conferencia estándar americano. CNTV

En la figura 4 observamos los niveles para el estándar americano, en la capa de imagen se encuentran las distintas resoluciones para el video no comprimido, para televisión de alta definición y definición estándar. El formato 1.920 x 1.080 a 60 Hz indica que se utilizan 1.920 pixeles en la resolución vertical y 1080 pixeles en la resolución horizontal, los 60 hertz indican que se transmiten sesenta cuadros por segundo o sesenta imágenes por segundo. Este formato se utiliza para televisión digital de alta definición con una resolución de aspecto 16:9. El formato 1.280 x 720 a 30 Hz también se utiliza para alta definición. Los formatos 704 x 480, y 640 x 480 a 24 Hz se utilizan para televisión digital de definición estándar. Las tasa de datos resultantes del video sin comprimir son bastante altas, alrededor de los 920 Mbps para alta definición y 230 Mbps para definición estándar; éstas son unas tasas de datos muy altas, teniendo en cuenta que se utiliza un canal de 6Mhz de ancho de banda, lo que implicaría la ne-

cesidad de utilizar relaciones señal a ruido muy altas al difundir la señal de video digital en el canal de radio, en un entorno ruidoso teniendo en cuenta el teorema de la capacidad del canal de Shannon.

En consecuencia, es necesario comprimir la señal de video y audio. En el estándar ATSC, la compresión de video se realiza a través del MPEG-2 y para la codificación de audio se utiliza la norma Dolby AC-3, esto en la capa de compresión de video y audio. Para este proceso se utiliza la Transformada del Coseno Discreta (DCT) para hallar los coeficientes de la señal de luminancia y los coeficientes de las señales de crominancia. En televisión digital se utiliza una señal de luminancia y dos señales de crominancia, conocidas como la diferencia al azul y la diferencia al rojo, es de anotar que el ojo humano es más sensible a los cambios de luminancia que a los cambios de crominancia, por lo cual se utiliza una mayor resolución para la señal de luminancia. También, se tiene en cuenta que el oído humano es más susceptible a los cambios que el ojo humano, por lo cual se utilizan mayor número de bits por muestra para la codificación de audio que para la de video (8 o 10 bits para video, 18 o 20 bits para audio).

En la codificación de video MPEG-2, no es necesario transmitir toda la imagen, sólo se transmiten los cambios de una imagen a otra y esto es lo que se encuentra asociado con los vectores de movimiento. Para el proceso de codificación de video, se utilizan códigos de longitud variable, como es el caso de la codificación de huffman y también se utiliza un encabezamiento para los datos.

En la capa de transporte se realiza la multiplexación de los datos, generando un flujo de transporte MPEG-2, conocido como el Transport Stream (TS), en el que se envían los pa-

quetes de audio, video y los datos auxiliares para el transporte. El paquete MPEG-2 tiene una longitud de 188 bytes, de los cuales el primer byte es de sincronismo, los siguientes tres bytes son de encabezado, y los siguientes 184 bytes son para el transporte de datos.

En la capa de transmisión es donde se envían los datos, a través de un canal de 6 Mhertz de ancho de banda, utilizando una modulación de amplitud de ocho niveles, conocida como banda lateral vestigial de ocho niveles u 8-VSB para difusión terrestre, con una tasa de datos de 19.39 Mbps, es de anotar que al insertar bites de sincronismo y de corrección de errores la tasa total aumenta a aproximadamente 32.28Mbps, implicando un aumento en la relación señal a ruido necesaria de 9dB a 16 dB, aproximadamente.

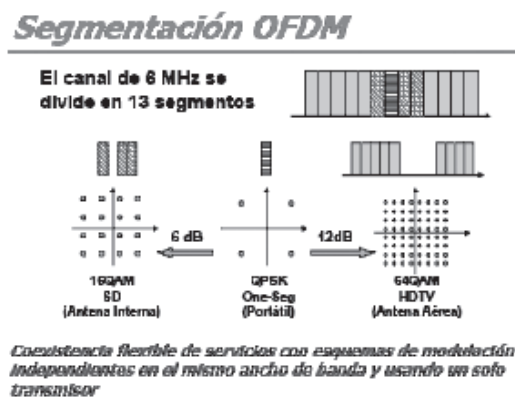
Estándar japonés (ISDB-T)

El estándar japonés ISDB-T es una variación del estándar europeo DVB-T, por lo cual existen similitudes entre ellos, en la codificación de fuente (audio y video) y con diferencias en la modulación (BST-OFDM). En Colombia, se realizaron pruebas con este estándar, una de sus mayores ventajas es que presenta una mejor calidad en recepción de señal en la parte móvil en comparación con los otros estándares, además de presentar una mayor inmunidad al ruido de impulso, es decir, que la señal de televisión digital no se distorsiona ante la presencia de fuentes de ruido cercanas al receptor.

En Brasil se realizó una variación del estándar terrestre japonés: se utilizó codificación MPEG-4, para la migración de la televisión analógica a la digital, lo cual se espera se complete en aproximadamente 20 años en todo el país. En el estándar japonés el servicio de televisión móvil y portable es gratuito, para el cual se utiliza un segmento para la difusión

de televisión digital móvil. Para la recepción de la señal de televisión digital para dispositivos móviles se utiliza la técnica llamada OneSeg (un segmento), es decir, el ancho de banda se divide en trece segmentos, de los cuales uno es para la difusión de la señal móvil, con menor tasa de datos, con una modulación QPSK, que presenta una mayor robustez para la difusión de la señal en entornos móviles. Se utilizan mayor número de segmentos para la difusión de la señal de alta definición y menor número de segmentos para la difusión de la señal de definición estándar, utilizando una modulación 64 QAM o 16 QAM, para alta definición o definición estándar, como se observa en la figura 5.

Figura 5. Segmentación del ancho de banda del canal en ISDBT



Fuente: conferencia del estándar japonés. CNTV

Periodo de transición

Durante el proceso de migración deben coexistir la tecnología analógica y la digital, a esto se le conoce como el periodo de transición, que en Colombia se espera que sea inferior a 10 años. Durante este periodo, los difusores de televisión seguirán emitiendo televisión analógica (en la banda de VHF) y se debe asignar una porción del espectro radioeléctrico para la difusión de televisión digi-

tal; al finalizar la transición se libera el espectro utilizado por la emisión analógica y sólo se debe difundir la señal de televisión digital.

La televisión por cable y satelital es por suscripción con los costos que para el usuario esto acarrea; para el caso de la televisión móvil se tiene la gran expectativa acerca de si será gratuita o, por el contrario, tendrá algún valor para los usuarios; este servicio puede alcanzar la masificación gracias al uso de los servicios de telefonía móvil, esto ya es posible con la llegada de la tercera generación móvil (3G), como es el caso de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) a través de la tecnología UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).

Aplicación de la teoría de la información a la televisión digital

La televisión digital utiliza la codificación de fuente, la cual se encuentra dirigida a la codificación de video, la codificación de audio y la codificación de datos. La codificación de fuente se puede dividir en dos grandes vertientes, una de ellas es la compresión con pérdida, en la cual no se recupera el mensaje original completamente, lo que permite mayores tasas de compresión. La otra es la compresión sin pérdida en la cual se puede recuperar el mensaje original completamente.

En la codificación de video el estándar utilizado es el MPEG-2, el cual integra al estándar MPEG-3 y es común a los estándares de televisión digital en lo que respecta a la codificación de video. Para MPEG-2, el formato de trama está constituido por 188 bytes, de los cuales 187 bytes son de datos (incluyendo los tres bytes de cabecera) y 1 byte es de sincronización. Este estándar aprovecha las características de la visión humana en el cual se identifican los cambios en la luminancia mejor que los cambios en la crominancia, lo

que permite definir formatos de codificación de video (para la conversión análoga a digital), tales como el 4:2:2, 4:2:0¹[1], generando tasas de datos de video codificado.

En el formato 4:4:4 se utiliza la mayor frecuencia de muestreo para la señal de crominancia (señal Y), para la señal de crominancia de diferencia al azul (Ca, o Cb) y para la señal de crominancia de diferencia al rojo (Cr) en cada caso. La frecuencia de muestreo típica es de 13.5 Megahertz, aplicando el teorema del muestreo de Nyquist en el cual la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual a dos veces la frecuencia máxima, o también se aplica con respecto al ancho de banda de la señal en banda base, que para la señal de video es de 6 Megahertz. Para la codificación de video se utiliza la codificación a 8 ó 10 bits por muestra y para la codificación de audio se utilizan 10 ó 18 bits por muestra, ya que el oído es mas sensible a los cambios que la vista. El formato 4:4:4 define que por cada cuatro muestras de luminancia hay cuatro muestras para cada señal de crominancia. Utilizando este formato a ocho bits se generaría una tasa de datos codificada de 324 Megabits por segundo (Mbps) ($13.5\text{Mhz} \cdot 8\text{bits}$ [señal de luminancia]) + $13.5\text{Mhz} \cdot 8\text{bits}$ (señal de crominancia de diferencia al azul) + $13.5\text{Mhz} \cdot 8\text{bits}$ (señal de crominancia de diferencia al rojo = 324 Mbps). Si se utilizara codificación a 10 bits la tasa de datos de video codificado resultante sería de 405 Megabits por segundo, lo que implicaría una relación señal a ruido muy alta para enviar la señal por un canal de 6 Megahertz, por lo cual hay que disminuir estas tasas de datos codificadas, por lo que se definen otros formatos para la codificación de video, pero aún es necesario disminuir las tasas de datos resultantes, por lo que se necesita comprimir el video, pero sin que

se degrade la calidad de éste. En el formato 4:2:2 se utiliza la frecuencia de muestreo mayor para muestrear la señal de luminancia; para muestrear las señales de crominancia se utiliza la mitad de la frecuencia de muestreo máxima, es decir, 6.75 Megahertz para muestrear cada señal de crominancia, por tanto, si se utilizaran 8 bits para codificación, la tasa de datos resultante será de 216 Megabits por segundo, o de 270 Megabits por segundo si se codifica con 10 bits.

El formato 4:2:2 es uno de los más utilizados y también implica que por cada cuatro muestras de la señal de luminancia se toman dos muestras de la señal de crominancia de diferencia al azul (Ca) y dos muestras de la señal de crominancia de diferencia al rojo (Cr), es decir, que en una línea horizontal se toman 720 muestras para la señal de luminancia, 360 muestras para Ca y 360 muestras para Cr durante el tiempo de la línea para el video activo. Este formato se encuentra normatizado por la norma CCIR 601, para la interoperabilidad de los equipos se utiliza la norma CCIR 656, definiendo una multiplexación por división de tiempo para multiplexar las muestras de la señal de video, se maneja un bus paralelo de 8 bits y un reloj síncrono de 27 Megahertz [3]. En el formato 4:2:0 se toman las muestras de la señal luminancia y las muestras de la señal de crominancia son alternadas; si se utilizan 8 bits para la codificación, la tasa de datos resultante es de 162 Megabits por segundo ($13.5\text{Mhz} \cdot 8\text{bits} + 6.75\text{Mhz} \cdot 8\text{bits} = 162 \text{ Mbps}$), si se utilizaran 10 bits para la codificación se obtendría un tasa de datos de 202.5 Megabits por segundo. Para el formato 4:1:1, se utiliza la frecuencia de 13.5 Mhz para muestrear la señal de luminancia y la frecuencia de 3.375 Mhz para muestrear las señales de crominancia, aunque la tasa de datos resultante para 8 y 10 bits de codificación son equivalentes con las del formato 4:2:0.

En el estándar MPEG-2 –utilizado en la compresión de la señal de video compuesto–, se transmite la diferencia (o lo que cambia) entre dos imágenes que son consecutivas utilizando la predicción, por lo cual no se transmite toda la imagen, sino solamente los cambios. Por tanto, permite la compresión en altas tasas para transmitir la información en anchos de banda que son similares con el ancho de banda utilizado en las transmisiones análogas de video, el cual oscila entre 6, 7 y 8 MHz, según la norma utilizada, lo cual permite que en este ancho de banda se envíen cuatro señales digitales aproximadamente –en definición estándar–, en los que viajan información de video, audio y datos, permitiendo servicios como video en demanda (VoD), señales de música, audio digital (DAB), interactividad con el usuario, guía electrónica de programas (EPG), el acceso a Internet, la T-educación, el T-comercio y hasta servicios de telemedicina, es decir, que a través del canal de datos podemos tener una convergencia de servicios. Es de resaltar que la compresión de video utiliza un esquema de compresión con pérdida.

Generalmente, la codificación de audio utiliza el estándar MPEG-1, el cual aprovecha las limitaciones psicoacústicas del oído humano, para producir audio de alta calidad con esquemas como Musicam en DVB y AC3 Dolby en ATSC. En la codificación de datos se utilizan códigos de longitud variable (VLC) como el código Huffman, en el cual se asignan códigos largos a los símbolos menos frecuentes y se asignan códigos cortos a los símbolos más frecuentes, lo cual ayuda en la generación de la compactación de datos.

En la codificación de canal se permite la detección y corrección de errores. Por lo general, en la detección de errores se utilizan los códigos de redundancia cíclica (CRC), requiriendo la retransmisión de la información, lo

que implica un menor desempeño del canal para la comunicación de datos. La corrección de errores es muy útil en comunicaciones satelitales o por radio difusión terrestre, como es el caso de los estándares DVB-S, DVB-T, respectivamente. Para el sistema DVB la corrección de errores se realiza utilizando Códigos Convolutivos y Códigos Red Solomon; este esquema permite la corrección de mayor número de errores, esto se conoce como técnicas FEC (Forward Error Correction), para la corrección de errores en el extremo receptor, lo cual evita la retransmisión, lo que permite una mejor utilización del ancho de banda el cual es un recurso limitado en comunicaciones vía radio.

Esta técnica permite un mejor desempeño del sistema de comunicación frente a ruidos e interferencia, los cuales están presentes de mayor forma en el canal de radio. Al utilizar la codificación Red-Solomon, se utiliza el algoritmo con los siguientes parámetros: RS (188,204,8) lo que significa que a la trama MPEG-2 de 188 bytes se le agregan 16 bytes de redundancia para obtener una trama de 204 bytes. Esos 16 bytes de redundancia permiten la corrección de 8 bytes errados. Además, se realiza la codificación convolutiva que permite tasas de codificación variables ($r=k/n$ que es la tasa de codificación). Por ejemplo, $r=1/2$, $r=2/3$, lo que significa que un bit o dos de datos generan dos o tres bits respectivamente a la salida del codificador, generando redundancia en el código, lo cual aumenta la tasa de datos y mejora la capacidad de corrección de errores.

La televisión digital realiza la multiplexación después del proceso de codificación de fuente y antes del proceso de codificación del canal. Este proceso combina distintos flujos de información como voz, video y datos, por medio de flujos paquetizados llamados PES (flujos paquetizados elementales), los cuales

se encuentran formados por paquetes de 188 bytes de los cuales 184 bytes son de datos. Los PES constituyen los TS (flujos de transporte), en los que se encuentra la información de los programas, el audio y los datos. Además, esta información puede encriptarse.

La televisión digital utiliza modulación, en la cual un flujo binario de datos modula a las portadoras análogas. Dependiendo el esquema de televisión digital que se utilice (terrestre, cable, satelital), se utilizan diferentes esquemas de modulación, debido a dos factores principalmente los cuales son la eficiencia espectral y el desempeño ante el ruido e interferencias. La eficiencia espectral consiste en utilizar adecuadamente el ancho de banda enviando una cantidad adecuada de datos. Para el segundo factor se tiene en cuenta un parámetro muy importante que es la relación señal a ruido requerida, la cual permite especificar los esquemas de modulación adecuados. Como ya se ha mencionado, los esquemas de modulación más utilizados son: QPSK, 16QAM, 64QAM y OFDM.

QPSK es la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura con las características de amplitud constante y variación en la fase, la cual presenta un mejor desempeño frente al ruido para relaciones S/N (relación señal a ruido) bajas típicas en comunicaciones satelitales, las cuales se encuentran alrededor de los 10 dB. La modulación QAM es la modulación de amplitud en cuadratura con las características que se varía la amplitud y la fase, y presenta un mejor desempeño frente al ruido para relaciones S/N altas típicas en comunicaciones de cable, las cuales se encuentran alrededor de los 30 dB. OFDM es la multiplexación por división de frecuencia ortogonal, con la característica que distribuye el flujo de bits en mayor número de portadoras que son ortogonales entre sí, para evitar los errores multitrayectoria los cuales gene-

ran interferencia intersímbolo (ISI). Este esquema se puede clasificar en los sistemas 2K y 8K en relación con el número de portadoras utilizadas.

Nuevas aplicaciones

Hasta el momento, el usuario de la televisión (el televidente) ha sido un actor pasivo, pues en las condiciones actuales su interacción era casi imposible. Con la llegada de la Televisión Digital (DTV), este aspecto cambia considerablemente, pues dicha tecnología le permite al usuario su interactividad, lo que implica que no se limite únicamente a la recepción de información, sino también a la búsqueda, almacenamiento y envío de información e interactuar mediante el T-commerce (comercio electrónico por televisión), T-goverment (el gobierno por televisión) y T-learning (el aprendizaje por televisión).

¿Pero qué es la interactividad? La interactividad es la posibilidad de responder al operador de televisión mediante un canal de retorno de los datos y que éste adapte su contenido según la respuesta del usuario.

¿Qué es el T-commerce? Es una aplicación de televisión digital interactiva que permite hacer una transacción comercial electrónica, entre dos personas, entre empresas o entre una persona y una empresa, que es el modelo al cual está orientado este tipo de servicio. ¿Qué es el T-learning? Es una aplicación de televisión digital interactiva con fines formativos, incidiendo en los aspectos pedagógicos y tecnológicos a través de plataformas diseñadas para tal fin.

¿Qué es el T-goverment? También denominada t-administración y la podemos concebir como una aplicación de televisión digital interactiva que permite la publicación de ser-

vicios y contenidos tomados de bases de datos de la administración pública.

Conclusiones

La pregunta principal por resolver es ¿para qué queremos la televisión digital? No se puede seguir con el mismo modelo de la televisión tradicional de sólo llevar entretenimiento; además de esto, debemos utilizar la tecnología de la televisión digital como un herramienta para disminuir la brecha digital existente en nuestro país, es decir, que las comunidades puedan tener acceso a nuevos y mejores servicios, que pueda existir el acceso a la Internet por medio de la televisión digital, especialmente, en las zonas que no tienen fácil acceso a la tecnología, que se puedan desarrollar aplicaciones interactivas que permitan mejorar el acceso a la educación o el desarrollo de aplicaciones en salud, o el acceso a la información de entidades gubernamentales, es decir, mejorar la calidad de los ciudadanos que utilicen dicha tecnología.

También es necesario reflexionar sobre por qué es necesario apoyar a la población con menor capacidad económica para que puedan adquirir los nuevos televisores o decodificadores que les permitan disfrutar de la televisión digital y que la introducción de esta tecnología no sea una forma de exclusión social.

Teniendo como referencia que la utilización del espectro electromagnético es cada día mayor, el surgimiento de tecnologías, como la televisión digital, contribuye a crear nuevos espacios para el desarrollo de aplicaciones telemáticas y propiciar un uso más adecuado del ancho de banda, lo cual es bastante atractivo desde el punto de vista tecnológico y económico.

Surge una reflexión, con la introducción de esta tecnología, ¿la televisión abierta y radio-difundida será una televisión gratuita y de calidad?

Referencias bibliográficas

- [1] Chawn- Hwa Wu. Y. David Irven. *Emerging Multimedia Computer Communication Technologies*. Editorial Prentice Hall. 1998. páginas 87-89
- [2] T. Perales Benito, *Radio y televisión digitales*. Editorial Limusa.
- [3] H. Benoit. *Televisión digital, Estándar europeo*. Editorial Paraninfo-Thomson.
- [4] R. Blake. *Sistemas electrónicos de comunicación*. Editorial Thomson.
- [5] *Televisión analógica y digital*. Editorial Paraninfo-Thomson.

Páginas web consultadas: www.cntv.org.co, www.dvb.org, www.atsc.org, www.dibeg.org, www.dtv.gov, www.fcc.gov/