

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA
FACULTAD DE SISTEMAS

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

TRANSMISIÓN DE VIDEO A TRAVÉS DE MODULACIÓN
GMSK

ALUMNOS:

ALFREDO VALDÉS CÁRDENAS
ABRAHAM ANTONIO IRACHETA RODRIGUEZ

PROFESOR:

ING. ROBERTO FLORES ORTIZ
MATERIA: TEORÍA DE TELEVISIÓN

1/JUNIO/2016

Marco Teórico

Modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)

GMSK es el acrónimo de Gaussian Minimum Shift Keying. Es un tipo de modulación derivada de la MSK (Minimum Shift Keying). GMSK es un esquema de modulación continua en fase. Se trata de una técnica que consigue suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal, consiguiendo por lo tanto reducir los requerimientos de ancho de banda. Con GMSK, los bits de entrada representados de forma rectangular (+1;-1) son transformados en pulsos Gaussianos (señales de forma acampanada) mediante un filtro Gaussiano, para posteriormente ser suavizados por un modulador de frecuencia. En la figura 1 es posible apreciar como la fase se suaviza debido a la introducción del filtro Gaussiano, al hacer pasar la secuencia de datos 0100 por el modulador.

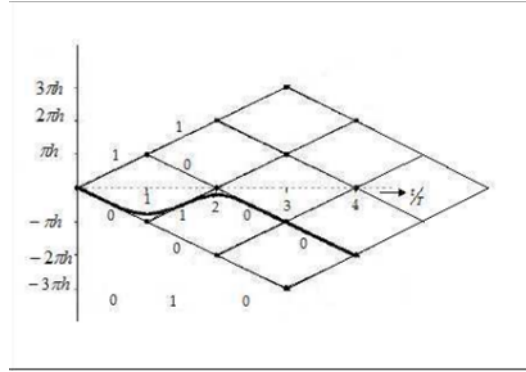


Figura 1: Diagrama de fase para GMSK.

En la mayoría de los casos, la duración del pulso Gaussiano supera la de un bit, dando lugar a lo que se conoce como interferencia intersimbólica (ISI). El grado de esta superposición es determinado por el producto del ancho de banda del filtro Gaussiano y la duración de un bit. Este producto se conoce normalmente como BT. Cuanto menor sea el valor de BT mayor será el solapamiento entre pulsos Gaussianos. La portadora resultante es una señal continua en fase, lo cual es importante porque las señales con transiciones suaves entre fases requieren menor ancho de banda para ser transmitidas.

Básicamente, en GMSK, los lóbulos laterales del espectro se reducen al pasar la señal codificada en NRZ (codificación digital polar sin retorno a cero [3]) a través de un filtro conformador de pulso Gaussiano. Por otra parte, este suavizado de la señal hace que el receptor tenga que realizar un trabajo mayor en la demodulación de la señal, ya que las transiciones entre bits no están bien definidas. Además de usarse en la transmisión de datos por la red eléctrica, este tipo de modulación es muy utilizado también en redes celulares GSM, y en comunicaciones aeroespaciales, debido fundamentalmente al poco ancho de banda necesario y a la robustez de la señal en medios hostiles.

El filtro de pre modulación está dado por:

$$h_G(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\left(\frac{\pi}{\alpha}\right)^2 t^2} \quad (1)$$

A continuación se presentará el modelo de un sistema de transmisión GMSK. En la Figura 2 se puede apreciar un sistema de transmisión que usa la modulación GMSK. A partir de este modelo es posible afirmar que:

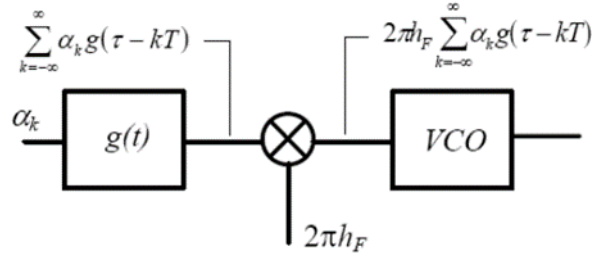


Figura 2: Esquema de un sistema de transmisión GMSK.

$$S(t) = A \cos[w_c t + \phi(t)] \quad (2)$$

$$\phi(t) = 2\pi h_f \int_{-\infty}^t \alpha_k g(t - KT) dt \quad (3)$$

Existen dos métodos para generar GMSK, uno consiste en la modulación por desplazamiento de frecuencia y el otro se realiza a través de la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura [4]. En la Figura 3 se muestra la arquitectura de modulador GMSK basado en FSK. En este tipo de montaje se destaca el uso de un oscilador controlado por voltaje (VCO, Voltage controlled oscillator), utilizado con el objetivo de generar los desplazamientos de frecuencia.

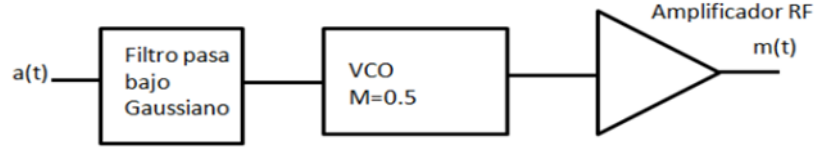


Figura 3: GMSK con FSK (Frequency Shift Keying Modulation)

La aplicación mostrada en la Figura 4 emplea un proceso de banda base en cuadratura seguido de un modulador de cuadratura. Con esta implementación, el índice de modulación se puede mantener exactamente en 0,5. Este método posee además un menor costo de implementación.

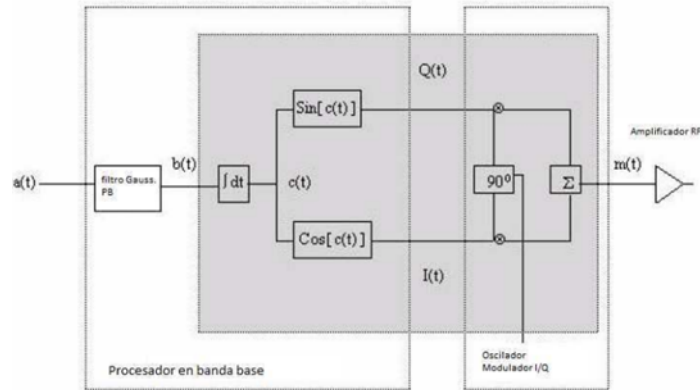


Figura 4: GMSK con QPSK (Quadrature Phase Shift Keying Modulation)

Las zonas entre el filtro pasa bajo y el amplificador, las cuales es posible observar en ambas figuras, cumplen con la misma función. Debido a problemas de tolerancia, la demodulación presenta algunas dificultades. El primer método requiere que el factor de desviación de frecuencia del VCO (Voltage Controlled Oscillator) sea exactamente igual a 0,5, pero el índice de modulación en los VCO convencionales oscila con la temperatura. En términos generales, ambos métodos conducen a la misma señal modulada GMSK. El filtro Gaussiano pasa bajo tiene una respuesta al impulso relacionado a la siguiente ecuación [5]:

$$g(t) = \frac{1}{2T} \left[Q \left(2\pi B, \frac{t - t/2}{\sqrt{\ln(2)}} \right) - Q \left(2\pi B, \frac{t + t/2}{\sqrt{\ln(2)}} \right) \right] \quad (4)$$

Para:

$$0 \leq B_b T \leq \infty$$

Donde:

$$Q(t) = \int_t \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) dx \quad (5)$$

B_b : es el ancho de banda del filtro gaussiano

T : es el periodo de los bits (bit time)

$B_N = B_b$: es el ancho de banda normalizado

Transport Stream

Transport Stream (término que puede ser traducido como corriente de transporte) es un protocolo de comunicación para audio, vídeo y datos especificado en los estándares de MPEG-2. Los flujos binarios de vídeo y audio de cada programa de televisión se comprimen independientemente formando cada uno de ellos una “corriente elemental” (ES – Elementary Stream). Cada una de estas corrientes elementales se estructura en forma de paquetes llamados PES (Packetized Elementary Stream).

Estos paquetes de video y audio, así como de otros datos de un mismo programa, pasan posteriormente a un multiplexor donde se conforma un solo tren binario. Para esta multiplexación, el grupo de estándares de MPEG-2 distingue entre dos posibilidades: la conformación de una “corriente de programa” (PS – Program Stream) y la conformación de una “corriente de transporte” (TS - Transport Stream).

Generación de Transport Stream.

La corriente de transporte es apropiada para entornos ruidosos, opción que encaja en las necesidades de la difusión de Televisión Digital Terrestre, por cable y vía satélite. Esta opción exige pasar los paquetes PES a otros paquetes más cortos, de 188 bytes de longitud, y aplicar técnicas de corrección de errores “hacia adelante” (FEC-Forward Error Correction). Con esto se puede organizar una corriente de transporte de un sólo programa denominada SPTS (Siglas en inglés de Single Program Transport Stream). Esta longitud de paquetes incluye 4 bytes de cabecera o encabezado y es apropiada para utilizarse en redes ATM, así como en una amplia variedad de sistemas de transmisión y almacenamiento. La corriente de transporte puede formarse con varios programas de televisión y cada uno de ellos con varias corrientes elementales. Como es lógico, las corrientes elementales que forman un mismo programa de televisión deben ser sincrónicas. Sin embargo, los diferentes programas pueden tener cada

uno una sincronización independiente. En este caso, se organiza un canal de múltiplex con todos los programas.

El flujo binario de la corriente de transporte completa es constante, aun cuando varíen los flujos de cada corriente elemental. Para mantener este flujo total constante, se pueden incluir paquetes nulos. Entre otros datos, la corriente de transporte también lleva información de cifrado para el acceso condicional a determinados programas de pago.

MPEG-2

Moving Picture Experts Group 2 (MPEG-2) es la designación para un grupo de estándares de codificación de audio y vídeo acordado por MPEG (grupo de expertos en imágenes en movimiento), y publicados como estándar ISO 13818. MPEG-2 es por lo general usado para codificar audio y vídeo para señales de transmisión, que incluyen Televisión digital terrestre, por satélite o cable. MPEG-2. Con algunas modificaciones, es también el formato de codificación usado por los discos SVCD y DVD comerciales de películas.

MPEG-2 es similar a MPEG-1, pero también proporciona soporte para vídeo entrelazado (el formato utilizado por las televisiones.) MPEG-2 vídeo no está optimizado para bajas tasas de bits (menores que 1 Mbit/s), pero supera en desempeño a MPEG-1 a 3 Mbit/s y superiores.

MPEG-2 introduce y define Flujos de Transporte, los cuales son diseñados para transportar vídeo y audio digital a través de medios impredecibles e inestables, y son utilizados en transmisiones televisivas. Con algunas mejoras, MPEG-2 es también el estándar actual de las transmisiones en HDTV. Un descodificador que cumple con el estándar MPEG-2 deberá ser capaz de reproducir MPEG-1.

MPEG-2 audio, definido en la Parte 3 del estándar, mejora a MPEG-1 audio al alojar la codificación de programas de audio con más de dos canales. La parte 3 del estándar admite que sea hecho retro-compatible, permitiendo que descodificadores MPEG-1 audio puedan descodificar la componente estéreo de los dos canales maestros, o en una manera no retro-compatible, la cual permite a los codificadores hacer un mejor uso del ancho de banda disponible. MPEG-2 soporta varios formatos de audio, incluyendo MPEG-2 AAC.

Codificación de vídeo MPEG-2 (simplificado)

MPEG-2 es para la codificación genérica de imágenes en movimiento y el audio asociado que crea un flujo de vídeo mediante tres tipos de datos de marco (cuadros intra, cuadros posteriores predecibles y cuadros predecibles bi-direccionales) arreglados en un orden específico llamado “La estructura GOP” (GOP = Group Of Pictures o grupo de imágenes). Generalmente el material originado es una secuencia de vídeo a una resolución de píxeles pre-fijada a 25 o 29,97 cuadros por segundo con sonido.

MPEG-2 admite flujos de vídeo escaneado de manera tanto progresiva como entrelazada. En flujos de escaneo progresivo, la unidad básica de codificación es un campo. En la discusión de abajo, los términos genéricos “cuadro” e “imagen” se refieren tanto a los campos o cuadros, dependiendo del tipo de flujo.

El flujo MPEG-2 está hecho de una serie de cuadros de imágenes codificadas. Las tres maneras de codificar una imagen son: intra-codificado (I cuadro), predecible posterior (P cuadro) y predecible bi-direccional (B cuadro).

La imagen del vídeo es separada en dos partes: luminancia (Y) y croma (también llamada señales de diferencia de color U y V) a su vez, son divididos en “Macro-bloques” los cuales son la unidad básica dentro de una imagen. Cada macro-bloque es dividido en cuatro 8X8 bloques de luminancia. El número

de bloques de croma 8X8's depende del formato de color de la fuente. Por ejemplo en el formato común 4:2:0 hay un bloque de croma por macro-bloque por cada canal haciendo un total de seis bloques por macro-bloque.

En el caso de los cuadros I, la verdadera información de imagen pasada a través del proceso codificador descrito abajo, los cuadros P y B primero son sujetos a un proceso de "compensación de movimiento", en el cual son co-relacionados con la imagen previa (y en el caso del cuadro B, la siguiente). Cada macro-bloque en la imagen P o B es entonces asociada con un área en la imagen previa o siguiente que este bien correlacionada con alguna de éstas. El "vector de movimiento" que mapea el macro-bloque con su área correlacionada es codificado, y entonces la diferencia entre las dos áreas es pasada a través del proceso de codificación descrito abajo. Cada bloque es procesado con una transformada coseno discreta (DCT) 8X8 . El coeficiente DCT resultante es entonces cuantificado de acuerdo a un esquema predefinido, reordenado a una máxima probabilidad de una larga hilera de ceros, y codificado. Finalmente, se aplica un algoritmo de codificación Huffman de tabla fija.

Los cuadros I codifican redundancia espacial, mientras que los cuadros B y P codifican redundancia temporal. Debido a que los marcos adyacentes son a menudo bien co-relacionados, los cuadros P pueden ser del 10 % del tamaño de un cuadro I, y el cuadro B al 2 % de su tamaño.

La secuencia de diferentes tipos de marcos es llamada "la estructura de grupos de imágenes"(GOP). Hay muchas estructuras posibles pero una común es la de 15 marcos de largo, y tiene la secuencia I_BB_P_BB_P_BB_P_BB_P_BB_. Una secuencia similar de 12 marcos es también común. La relación de cuadros I, P y B en "la estructura GOP es determinado por la naturaleza del flujo de vídeo y el ancho de banda que constriñe el flujo, además el tiempo de codificación puede ser un asunto importante. Esto es particularmente cierto en las transmisiones en vivo y en ambientes de tiempo real con Fuentes de cómputo limitados, un flujo que contenga varios cuadros B puede tomar tres veces más tiempo para codificar que un archivo que sólo contenga cuadros I.

La tasa de bit de salida de un codificador MPEG-2 puede ser constante (CBR) o variable (VBR), con un máximo determinado por el reproductor – por ejemplo el máximo posible en un DVD de película es de 10.4 Mbit/s. Para lograr una tasa de bits constante el grado de cuantificación es alterado para lograr la tasa de bits requerida. Incrementar la cuantificación hace visible un defecto cuando el vídeo es descodificado, Generalmente en la forma de "amosaicamiento", donde las discontinuidades en los filos de los macro-bloques se hace más visible como reducción de la tasa de bits.

Codificación de audio MPEG-2

MPEG-2 además introduce nuevos métodos de codificación de audio. Éstos son: Baja tasa de bits de codificación con tasas de muestreo divididas (MPEG-1 capa 1/2/3 LSF) Codificación multi-canal hasta 6 canales (5.1)

MPEG-2/MC: Surround tipo teatro

- 5 canales de audio, izquierdo, derecho, centro, atras-izquierdo y atras-derecho.
- Cuenta con 5 modos diferentes, mono, estereo, 3 canales, 4 canales y 5 canales.
- Surround estereo de 5 los 5 canales (640 Kbps).

MPEG-2/LSF (Baja frecuencia de muestreo: 16K, 22K, 24K)

MPEG-2/AAC

- 7.1 Canales.
- Más complejidad.

H.264/MPEG-4 AVC

H.264 o MPEG-4 parte 10 es una norma que define un códec de vídeo de alta compresión, desarrollada conjuntamente por el ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) y el ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG). La intención del proyecto H.264/AVC fue la de crear un estándar capaz de proporcionar una buena calidad de imagen con tasas binarias notablemente inferiores a los estándares previos (MPEG-2, H.263 o MPEG-4 parte 2), además de no incrementar la complejidad de su diseño. Para garantizar un ágil desarrollo de la misma, la ITU-T y la ISO/IEC acordaron unirse para desarrollar conjuntamente la siguiente generación de códec de vídeo. El Joint Video Team (JVT) estaba formado por expertos del VCEG y MPEG y nació en diciembre de 2001 con el objetivo de completar el desarrollo técnico del estándar hacia 2003. La ITU-T planeó adoptar el estándar bajo el nombre de ITU-T H.264 e ISO/IEC bajo el nombre de MPEG-4 Parte 10 Códec de Vídeo Avanzado (AVC) y de aquí surgió el nombre híbrido de H.264/MPEG-4 AVC. Para empezar a programar el código del nuevo estándar adoptaron las siguientes premisas:

- La estructura DCT + Compensación de Movimiento de las versiones anteriores era superior a otros estándares y por esto no había ninguna necesidad de hacer cambios fundamentales en la estructura.
- Algunas formas de codificación de vídeo que habían sido excluidas en el pasado debido a su complejidad y su alto coste de implementación se volverían a examinar para su inclusión puesto que la tecnología VLSI había sufrido un adelanto considerable y una bajada de costes de implementación.
- Para permitir una libertad máxima en la codificación y evitar restricciones que comprometan la eficiencia, no se contempla mantener la compatibilidad con normas anteriores.

Características

El uso inicial del MPEG-4 AVC estuvo enfocado hacia el vídeo de baja calidad para videoconferencia y aplicaciones por Internet, basado en 8 bits/muestra y con un muestreo ortogonal de 4:2:0. Esto no daba salida al uso de este códec en ambientes profesionales que exigen resoluciones más elevadas, necesitan más de 8 bits/muestra y un muestreo de 4:4:4 o 4:2:2, funciones para la mezcla de escenas, tasas binarias más elevadas, poder representar algunas partes de video sin pérdidas y utilizar el sistema de color por componentes RGB. Por este motivo surgió la necesidad de programar unas extensiones que soportasen esta demanda. Tras un año de trabajo intenso surgieron las “extensiones de gama de fidelidad” (FRExt) que incluían:

- Sustento de un tamaño de transformada adaptativo.
- Sustento de una cuantificación con matrices escaladas.
- Sustento de una representación eficiente sin pérdidas de regiones específicas.

Este conjunto de extensiones denominadas de "perfil alto" son:

- La extensión High que admite 4:2:0 hasta 8 bits/muestra.
- La extensión High-10 que admite 4:2:0 hasta 10 bits/muestra.
- La extensión High 4:2:2 que admite hasta 4:2:2 y 10 bits/muestra.
- La extensión High 4:4:4 que admite hasta 4:4:4 y 12 bits/muestra y la codificación de regiones sin pérdidas.

A continuación podemos ver una tabla con más especificaciones sobre estos perfiles en contraste con el perfil original:

	Original	High	High 10	High 4:2:2	High 4:4:4
Slices L y P	Si	Si	Si	Si	Si
Slices B	No	Si	Si	Si	Si
Slices SI y SP	No	No	No	No	No
Imágenes de referencia múltiples	Si	Si	Si	Si	Si
Filtro «deblocking»	Si	Si	Si	Si	Si
Codificación CAVLC	Si	Si	Si	Si	Si
Codificación CABAC	No	Si	Si	Si	Si
Ordenación flexible de macro bloques «FMO»	Si	No	No	No	No
Ordenación arbitraria de slices «ASO»	Si	No	No	No	No
Slices redundantes «RS»	Si	No	No	No	No
Partición de datos «DP»	No	No	No	No	No
Codificación entrelazado	No	Si	Si	Si	Si
Formato 4:2:0	Si	Si	Si	Si	Si
Formato monocromo (4:0:0)	No	Si	Si	Si	Si
Formato 4:2:2	No	No	No	Si	Si
Formato 4:2:2	No	No	No	No	Si
8 bits por pixel	Si	Si	Si	Si	Si
9 y 10 bits por pixel	No	No	Si	Si	Si
11 y 12 bits por pixel	No	No	No	No	Si
transformada 8x8	No	Si	Si	Si	Si
matrices de cuantificación	No	Si	Si	Si	Si
cuantificación Cb y Cr separadas	No	Si	Si	Si	Si
codificación sin pérdidas	No	No	No	No	Si
	Original	High	High 10	High 4:2:2	High 4:4:4

Cuadro 1: Perfiles de codificación y cuantificación

Nuevas especificaciones

H.264/MPEG-4 AVC no supone una gran tecnología con respecto a las normas de codificación de vídeo anteriores. Las diferencias se pueden encontrar a pequeña escala sobre el principio general de codificación (predicción, transformada, cuantificación, etc.). La clave de todo ello es la menor cuantía de información que se necesita almacenar en los vídeos codificados mediante este códec.

Tipos de imágenes

Podemos encontrar las mismas imágenes que en las normas precedentes (Imágenes I, P y B) y dos nuevas, la SP (Switching P) y la SI (Switching I) que sirven para codificar la transición entre dos flujos de vídeo. Permiten, sin enviar imágenes intra muy costosas en tiempos de procesamiento, pasar de un

vídeo a otro utilizando predicción temporal o espacial como antes, pero con la ventaja que permiten la reconstrucción de valores específicos exactos de la muestra aunque se utilicen imágenes de referencia diferentes o un número diferente de imágenes de referencia en el proceso de predicción.

Compensación de movimiento

El proceso de compensación de movimiento es diferente de las normas precedentes puesto que propone una gran variedad de formas y de particiones de bloques. De cara a la compensación de movimiento, cada macrobloque, aparte del tamaño original (16x16 píxeles), puede ser descompuesto en subbloques de 16 x 8, 8 x 16 u 8 x 8 píxeles. En este último caso, es posible descomponer a su vez cada subbloque de 8 x 8 píxeles en particiones de 8 x 4, 4 x 8 o 4 x 4 píxeles. Antes, el estándar más novedoso introducía particiones de 8x8. Esta variedad de particiones proporciona una mayor exactitud en la estimación, a lo que se suma una precisión que puede llegar hasta un cuarto de píxel.

Transformada

Es una aproximación a la DCT (transformada discreta del coseno) que viene utilizándose en vídeo pero con las siguientes particularidades: Tamaño: 4x4 píxeles (8x8 en los perfiles FExt). Coeficientes enteros: lo que permite evitar los errores de redondeo habituales en la DCT clásica (coeficientes irracionales) y garantizar un ajuste perfecto entre la transformación directa y la inversa. Precisión finita: Otra consecuencia favorable de la característica anterior es que se puede calcular sin exceder los 16 bits de precisión. Eficiencia: Se puede implementar exclusivamente por medio de sumas y desplazamientos binarios.

$$T_{4x4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix}, T_{8x8} = \begin{bmatrix} 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \\ 12 & 10 & 6 & 3 & -3 & -6 & -10 & -12 \\ 8 & 4 & -4 & -8 & -8 & -4 & 4 & 8 \\ 10 & -3 & -12 & -6 & 6 & 12 & 3 & -10 \\ 8 & -8 & -8 & 8 & 8 & -8 & -8 & 8 \\ 6 & -12 & 3 & 10 & 10 & -3 & 12 & -6 \\ 4 & -8 & 8 & -4 & -4 & 8 & -8 & 4 \\ 3 & -6 & 10 & -12 & 12 & -10 & 6 & -3 \end{bmatrix}$$

Cuantificación

Cada paso del parámetro de cuantificación (QP) incrementa un 12,5% el intervalo de cuantificación, lo que equivale a duplicarlo por cada 6 pasos. El rango dinámico del QP ha aumentado respecto a normas precedentes, puesto que los valores van de 0 a 51. Los macrobloques se cuantifican utilizando un parámetro de control que puede cambiar adaptándose al bloque ehor cada bit adicional (partiendo de 8 bits, 52 pasos). Además, para poder conseguir los mejores resultados visuales la cuantificación de la crominancia es más esmerada que la de luminancia.

Filtro de "deblocking"

H.264 también integra un filtro antibloques que mejora la eficacia de compresión y la calidad visual de las secuencias de vídeo eliminando efectos indeseables de la codificación como por ejemplo el efecto de bloques.

Exploración de los coeficientes

Existen dos modos de exploración de los coeficientes transformados: "zig-zag" y "zig-zag inverso". El segundo modo de exploración permite en particular la lectura del macrobloque en sentido contrario para poder funcionar con la codificación entrópica adaptativa.

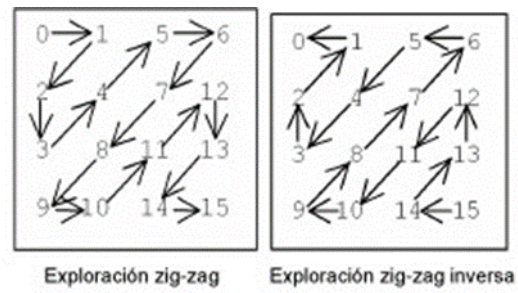


Figura 5: Exploración de los coeficientes

Desarrollo

Objetivo

Lograr la transmisión de un Transport Stream codificado con H.264 a través del Radio definido por software USRP N210 utilizando un esquema de modulación GMSK.

Diagrama de flujo

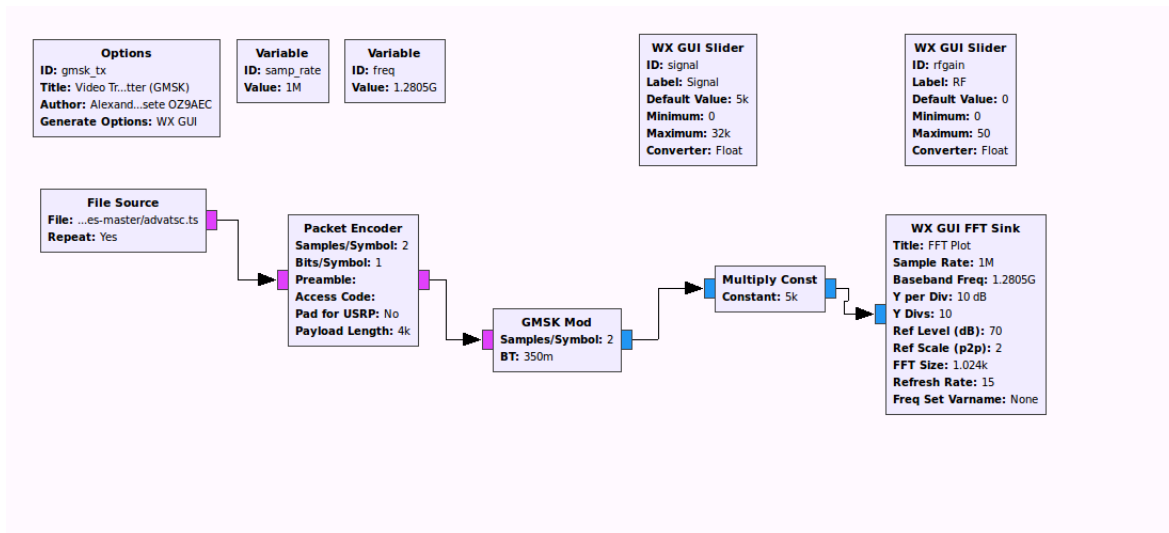


Figura 6: Diagrama de flujo del transmisor

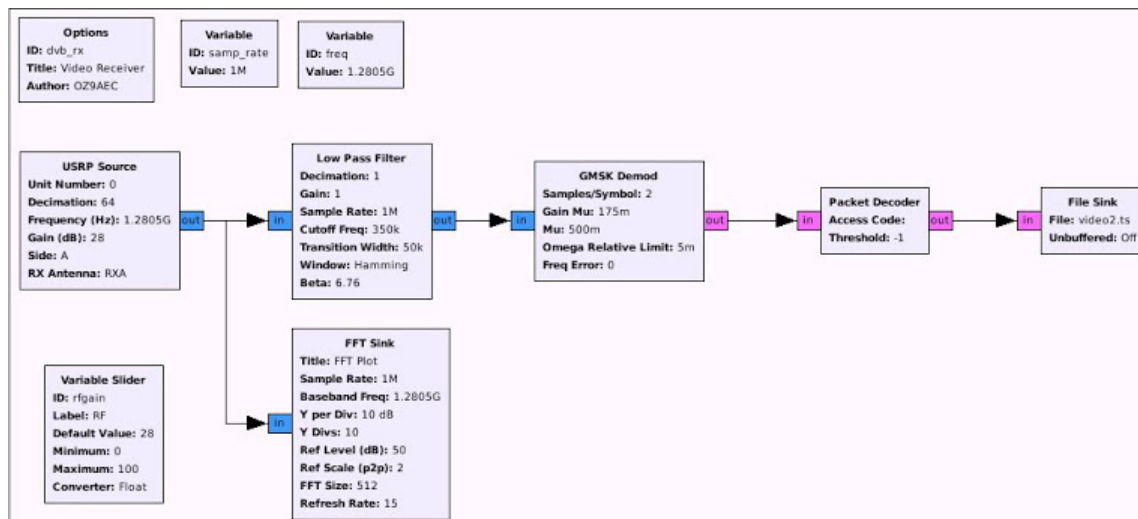


Figura 7: Diagrama de flujo del receptor

Señales resultantes

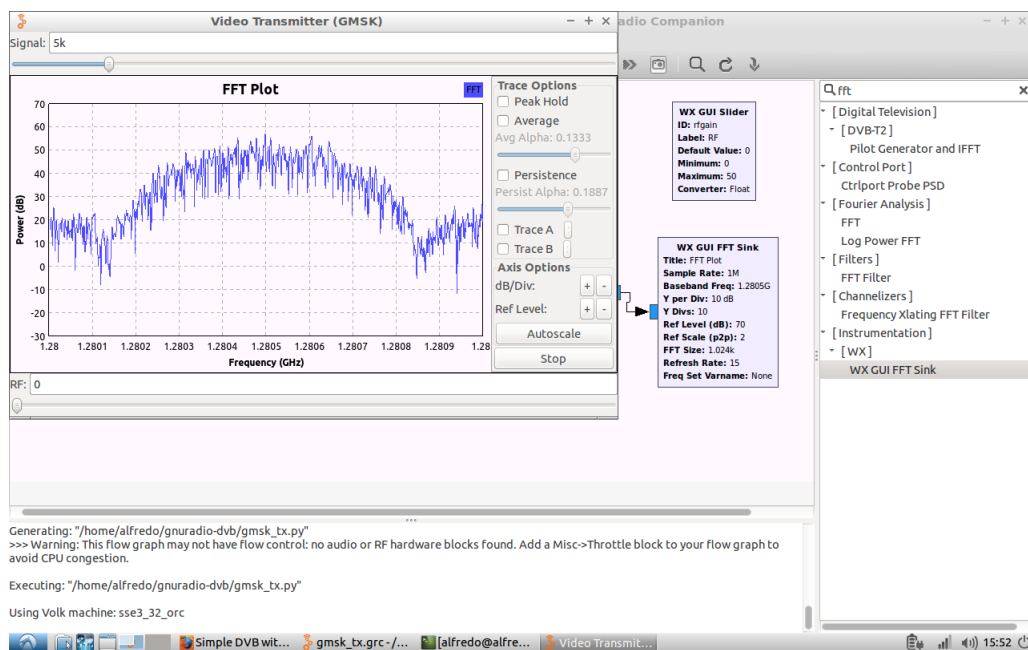


Figura 8: Transmisor corriendo

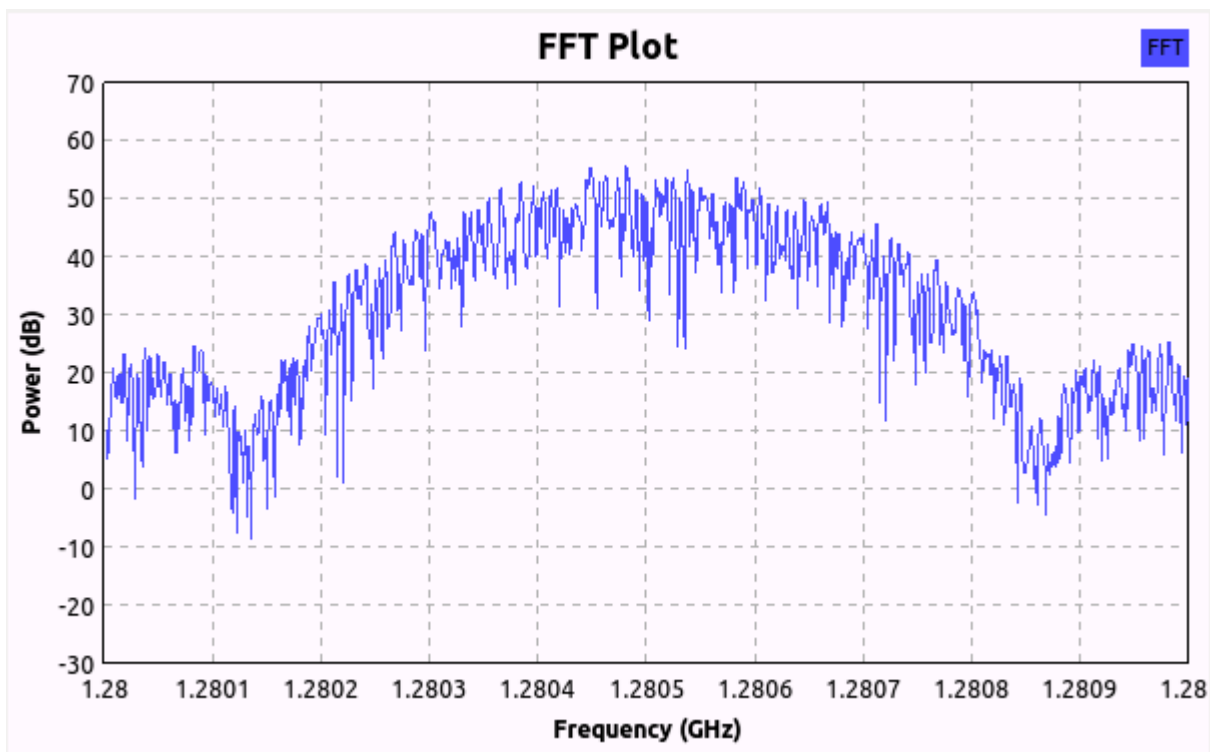


Figura 9: Señal Recibida

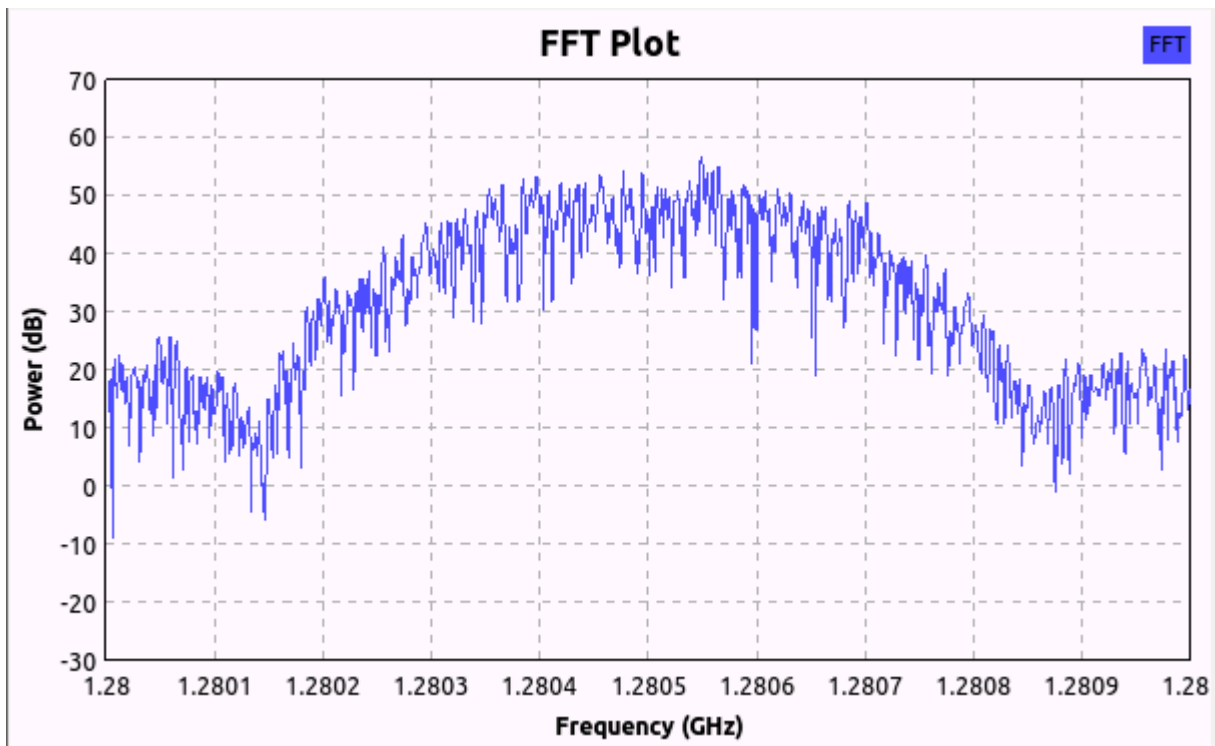


Figura 10: Señal Recibida

Conclusiones

GNU Radio y en particular el USRP, requieren que los datos del stream tengan un bitrate constante. Esto es algo bastante normal y de hecho, es un requisito de los estándares DVB y ATSC. Para este propósito, la especificación de MPEG-TS permite rellenar el TS con paquetes NULL. Desafortunadamente, ninguno de los multiplexores MPEG-TS que probé permiten esta función, y el encoder de H.264 es el intenta mantener el bitrate constante, aunque representa una carga excesiva en el CPU. Probablemente un códec diferente como lo es el OGG Vorbis pueda realizar esta función sin consumir tantos recursos. Es también importante notar que el delay en la transmisión entre dos radios puede llegar a ser de hasta 15 segundos, y que se pueden dar muchas fallas al momento de la recepción, en parte por la pérdida de paquetes en el encoder (Funciona como un stream de UDP) y en parte por el acoplamiento de las antenas que se utilizó durante las pruebas. El esquema de transmisión es bastante simple y no pretende suplantarse a una transmisión de ATSC o DVB-T, los cuales son más rígidos en su preparación y requieren equipo más especializado para llevarse a cabo sin problemas.