



CONTRIBUCIÓN EN LAS METODOLOGÍAS MATEMÁTICAS QUE MEJORA LA CALIDAD Y LA COMPRESIÓN DE VIDEO AVANZADO

Jorge ROBLES BOKUN

Universidad Ricardo Palma

jrobles@urp.edu.pe

RESUMEN

En los últimos años el avance tecnológico, en lo que se refiere a la transmisión de video en alta definición con gran resolución, viene en auge pero mostrando una baja calidad de video en una serie de cuadros por segundo utilizando más ancho de banda y a la vez menos frecuencia. Esto quiere decir mayor pérdida de información por dato enviado, y otorgando prioridad a los objetos en movimiento e imágenes en 3D pero olvidando la calidad y fidelidad de la misma. Esta necesidad me motivó al desarrollo de esta investigación para encontrar una solución equitativa y progresiva a la baja calidad de video, pero basado en el análisis de los estándares que dieron origen a la compresión. Pues este estudio me llevó a aportar o modificar los algoritmos matemáticos dentro de los estándares de compresión ya conocidos como: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.264 y H.265, con una investigación exhaustiva utilizando gráficas, diagramas y esquemas que justifiquen los resultados obtenidos, así como también simulaciones del rendimiento mediante el manejo de un software de computación científica.

PALABRAS CLAVE

Códigos de video, transmisión de datos, sistema de video vigilancia, compresión MPEG-2, MPEG-4, x.263, H.264.

CONTRIBUTION IN MATHEMATICAL METHODOLOGIES THAT IMPROVE THE QUALITY AND COMPRESSION OF ADVANCED VIDEO

ABSTRACT

The main objective is to transmit HD content enhanced with high image quality through streaming video.

In recent years the technological advance, in what refers to the transmission of high resolution video with high resolution, is booming but showing a low quality of video in a series of frames per second using more bandwidth and at the same time less often. This means greater loss of information per data sent, and giving priority to moving objects and 3D images but forgetting the quality and fidelity of it. This need motivated me to develop this research to find an equitable and progressive solution to the low quality of video, but based on the analysis of the standards that gave rise to the compression. As this study led me to contribute or modify the mathematical algorithms within the compression standards already known as: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.264 and H.265, with an exhaustive research using graphs, diagrams and schemes that justify the results obtained, as well as performance simulations through the use of scientific computer software.

KEY WORDS

Video codec's, Data transmission, Video surveillance system, MPEG-2 compression, MPEG-4, x.263, H.264.

Recibido: 10/9/2018

Aprobado: 15/10/2018

I. INTRODUCCIÓN

La compresión se realiza para mejorar la eficiencia en la transmisión y almacenamiento de información, que tiene aplicaciones como en: la TV digital, UHDTV, codecs H.264, MPEG-4, H.265, videoconferencia, video streaming, video vigilancia, imágenes médicas, secuencia de imágenes, planos, mapas, etc.

La DCT (Transformada Discreta del Coseno) se expresa en una secuencia de puntos finitos, que son el resultado de una sumatoria de señales cosenoidales con diferentes amplitudes y frecuencias, en el caso de la DFT (Transformada Discreta de Fourier) es la suma de señales exponenciales complejas).

Tener siempre como base los conceptos sobre matrices, tipos de matrices, análisis vectorial, gráfica de histogramas, procesamiento digital de señales, radiodifusión y tv, transformadas y los estándares MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.264 y H.265, como se muestra en la Fig. 1.

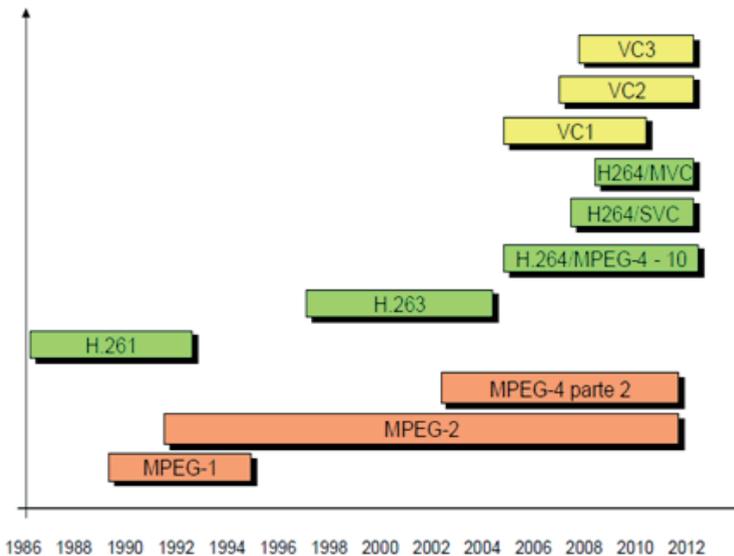


Fig. 1 Evolución Histórica de los Estándares de Compresión de Video¹

1 http://oa.upm.es/8712/1/FERNANDO_PESCADOR_DEL_OSO.pdf (2.2.1 pág.21)

II. ANTECEDENTES

En la tesis doctoral presentada por el Mg. de Telecomunicación Fernando Pescador del Oso de la Universidad Politécnica de Madrid, julio del 2011, "CONTRIBUCIÓN A LAS METODOLOGÍAS DE OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO DE EJECUCIÓN DE ALGORITMOS DE DESCODIFICACIÓN DE VIDEO SOBRE DSPs"², en donde su objetivo principal es encontrar una metodología para mejorar la velocidad en tiempo de respuesta en los decodificadores basados en DSPs.

Después de ejecutar un análisis y una búsqueda exhaustiva de tesis llegaron a encontrar muchas soluciones y técnicas para reducir el tiempo de ejecución de los algoritmos de decodificación de video sobre DSPs en tiempo real.

Los aportes que hicieron fueron los siguientes:

- Se empleó el acceso directo a memoria y doble buffer que permite procesar un paquete en memoria mientras otro es transferido es decir realiza 2 funciones simultáneamente.
- Se analizó las prestaciones y funciones que tiene un codificador MPEG-4 en lo que respecta al reparto de memoria interna, memoria caché y de propósito general.
- Simplificación del cálculo del filtro anti bloques utilizando los diferentes tipos de filtrado.

Optimización del cálculo de muestras intermedias para el filtro $\frac{1}{4}$ de píxel³

III. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN

A. Técnicas matemáticas de compresión de video para mejorar la imagen

He aquí algunas técnicas para mejorar la imagen, sólo utilizamos las marcadas con el signo asterisco (*) para la presente investigación:

- 1) Suavización – Mediante esta técnica matemática sobre las matrices, se reduce el ruido tanto en la parte central como en los bordes, es decir se mejora la claridad del contorno de imagen. (*)
- 2) Expansión del histograma- Los valores mayores y menores de grises de la matriz (imagen original) se aumentan a un máximo y reducen a un mínimo respectivamente para mejorar la calidad de imagen (contenido de imagen, que puede ser en alta definición). (*)

² http://oa.upm.es/8712/1/FERNANDO_PESCADOR_DEL_OSO.pdf

³ http://oa.upm.es/8712/1/FERNANDO_PESCADOR_DEL_OSO.pdf

- 3) Manipulación de histograma- Se mejora el contraste, brillo, es decir se suma un valor positivo ($D > 0$) a una matriz para incrementar los valores de los píxeles (aclamar) o uno negativo ($D < 0$) para oscurecer la imagen, píxel por píxel. (*)
- 4) Zoom Tipo1- (Amplia, agranda la imagen).- Mediante el uso de la repetición en la matriz original.
- 5) Zoom Tipo2- (Agranda o amplia la imagen pero con mayor calidad).- Mediante la técnica del promedio aritmético.
- 6) La DCT- Mejora la compresión, calidad de imagen y video (secuencia de imágenes) mediante este algoritmo matemático. (*)

1. Suavizado de imágenes y reducción del ruido mejorando el contorno (*)

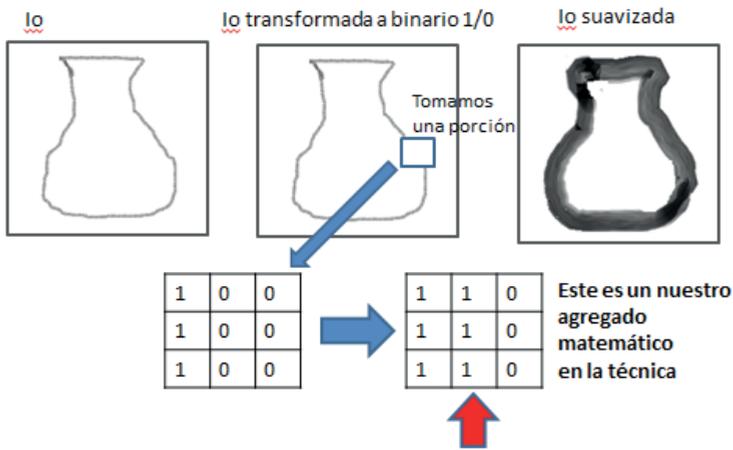


Fig. 2. De la matriz se tomó el mayor valor y se repite en toda la 2da columna para mejorar el contorno o el borde de la imagen, se ensanchó el borde del jarrón, mejorando en este caso entre (13-33) % la nitidez del contorno.

2. Técnica de expansión de histograma-Mejora la calidad de imagen (*)

Los valores mayores se van al máximo, los intermedios permanecen y los menores al mínimo, según la ecuación (1).

$$I_{T(i,j)} = \left(\frac{I_o(i,j) - I_o(i,j) \text{ mín}}{I_o(i,j) \text{ máx} - I_o(i,j) \text{ mín}} \right)^{2^{N^{\text{bpp}}}} - 1 - \frac{I_o(i,j) \text{ mín}}{I_o(i,j) \text{ máx}} \quad (1)$$



Factor que se agregó para mejorar mucho más la calidad de la imagen.

Ejemplo:

$$\begin{bmatrix} 15 & 15 & 120 \\ 15 & 10 & 120 \\ 4 & 250 & 4 \\ 4 & 4 & 4 \end{bmatrix}_{4 \times 3} \quad 2^{N^{\text{bpp}}} = 2^8 = 256 \text{ niveles de gris}$$

0= negro, 128= gris, 255=blanco

Sin el uso del factor adicional: tomando lo=15, sale It=10.44 y con lo=250, resulta It=255.

Con el uso del factor adicional: tomando lo=15, sale It=10.38 (es mejor, porque es de menor valor que el píxel anterior y se acerca más a 0 (negro), es decir mejor calidad que la imagen anterior) y con lo=250, resulta It=254.9 (se mantiene el valor aproximado a 255(blanco)).

$$\left(\frac{15-4}{250-4}\right) 256 - 1 - \frac{15}{250} = 10.38$$

$$\left(\frac{250-4}{250-4}\right) 256 - 1 - \frac{15}{250} = 254.94$$

Mejóro la calidad de 1% a 13%

3. Manipulación de Histograma (*) - Frecuencia (píxel)vsValor (píxel) de una matriz 8bpp = 256 niveles (graficado en PAWNT)

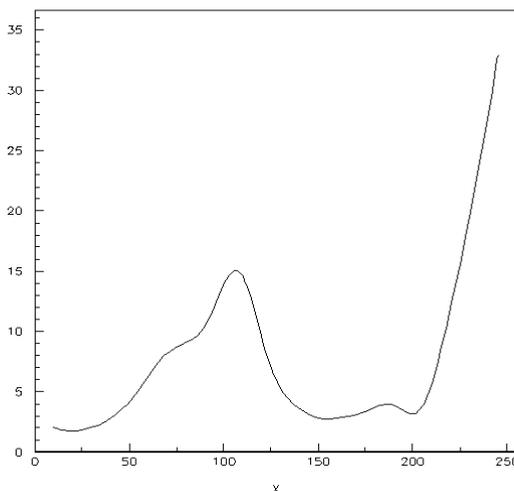


Fig. 3. Frecuencia(píxel) vs Valor(píxel) de una matriz 8bpp.

Fuente: Gráfica Elaboración propia PAWNT

En la gráfica se ve cómo se incrementó la frecuencia de los valores del píxel tanto en la parte intermedia (grises) como la extrema (blancos) de la matriz o imagen dándole a esta mayor calidad y nitidez, en donde:

0 = negro

128 = gris

255 = blanco

La matriz se desplazó más a la derecha teniendo mayor claridad.

6. *Compresión de video H.264, H.265 mejorado usando la técnica de la DCT (*)*

En este estudio y con el avance de la tecnología se buscó transmitir un contenido de alta definición mejorado con mayor calidad y menos pérdida, una de las herramientas matemáticas utilizadas es la DCT (Transformada Discreta del Coseno) que elimina, reduce los datos redundantes e irrelevantes en una imagen o matriz antes de ser transmitida y almacenada para luego recuperar la imagen o secuencia de imágenes original, con mayor calidad.

La compresión se realiza para mejorar la eficiencia en la transmisión y almacenamiento de información, que tiene aplicaciones como en: la TV digital, UHDTV, codecs H.264, MPEG-4, H.265, videoconferencia, video streaming, video vigilancia, imágenes médicas, secuencia de imágenes, planos, mapas, etc.

B. *Metodología*

a.- Tipo y Diseño de Investigación

a.1 Según el tipo, se tiene una investigación experimental aplicada, ya que se manipula en forma intencional variables independientes (como: la optimización de la transformada discreta del coseno, perfección de la fórmula matemática DCT, desarrollo del algoritmo VLC (codificación de longitud variable) e implementación de filtros pasa banda mejorados) para estudiar los efectos en otras dependientes (como: calidad de imagen, retardo-jitter, capacidad de data, fiabilidad de la información) en una imagen o secuencia de video bajo el estándar H.264.

Es una investigación aplicada, porque conociendo y estudiando la teoría sobre: procesamiento digital de señales, radiodifusión y tv, sistemas de codificación digital, codecs de video, transformadas, sumatorias matemáticas, y temas afines se busca nuevas formas de aplicación y aportes a la ingeniería

electrónica como la perfección de la compresión de video teniendo como instrumentos de validez un simulador y las pruebas de laboratorio.

a.2 El presente estudio posee un diseño de investigación cuasi-experimental porque existe una manipulación de variables que modifica los resultados obtenidos, avanzando en gran parte el estudio y diseño, sin utilizar un grupo de control predeterminado debido a que en las comparaciones siempre se necesitó trabajar con variables independientes como la Transformada Discreta del Coseno, algoritmo VLC, etc. que cambió los valores de la variable dependiente (calidad de imagen, retardo, etc.) como es el caso del grupo experimental.

b.- Unidad de Análisis

La unidad de análisis son las imágenes o matrices de una secuencia de video, este array está formado por filas y columnas, el cruce de éstos 2 son denominados celdas, que a su vez son llamados píxeles, en el caso de la investigación el píxel sería la mínima unidad de medida de una imagen.

c.- Población de Estudio

En la investigación se utiliza una secuencia de imágenes, es decir un pequeño video de 20 fotos en un lapso de 5 segundos.

d.- Tamaño de Muestra

De este video se tomó 1 o 2 grupos de 3 – 4 imágenes por muestra en 1seg. , como se muestra en la Fig. 4:

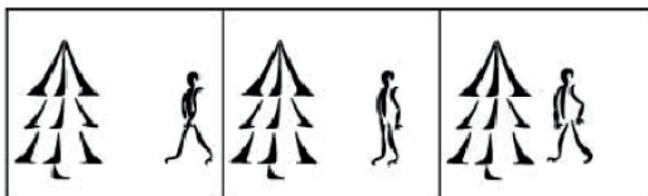


Fig. 4. Muestra de una secuencia de 3 imágenes bajo el estándar MPEG-4 Parte10

C. Selección de Muestra y Técnicas de Recolección de Datos

D.1 El procedimiento para la selección de muestra, está basado en las pruebas de campo y laboratorio, aplicadas a la tecnología de la TDT (Televisión Digital Terrestre) en una muestra de 3 a 4 imágenes.

D.2 Como técnicas de recolección de datos para esta investigación se tuvo la "Observación" después de hacer un pre-test y luego un post-test manipulando alguna de las variables independientes conocidas (como: la optimización de la DCT o desarrollo del algoritmo VLC, etc.), utilizando para ello como instrumento un simulador de redes llamado Matlab R2010 en donde se modificó los códigos de las fórmulas matemáticas.

Esta teoría de códigos matemáticos modificados se aplica a una tarjeta electrónica DSP (Procesamiento Digital de Señales) Prototipo EVM DM series que trabaja entre 550-750MHz con un VCO (Oscilador Controlador de Voltaje) y convertidores análogo-digital a la salida de una señal de televisión mostrando una mejora en cuanto a calidad de imagen y compresión de video.

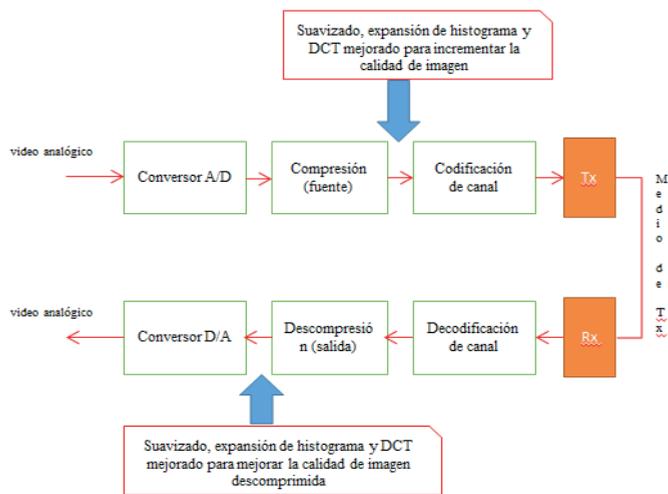


Fig. 5. Diagrama de bloques de compresión de video en un sistema digital de TV, con las metodologías matemáticas para mejorar la compresión y calidad de imagen.

Fuente: Elaboración Propia Power Point 2013.

D. Comparación de los estándares de video MPEG-2, MPEG-4(parte-2) y MPEG-4(parte-10) o H.264 AVC usando para ello como instrumento el simulador matemático Matlab R2010. Para hacer la comparación de los diferentes resultados de las variables dependientes como la capacidad o ancho de banda entre los estándares de video en estudio se midió en las etapas o elementos de un sistema general de compresión de video como en la Fig. 5.

1. Filtro Pasa Bandas:

Donde a, b, c y d son vectores:

```

>> a = 1/2;
>> b = [1/4 1/4 1/4 1/4];
>> load count.dat

>> x = count(:,1);
>> y = filter(b,a,x);
>> figure
>> t = 1:length(x);
>> plot(t,x,'--',t,y,'-'),grid on
>> legend('Estándar MPEG4 parte10','Estándar MPEG2',2)
>> c = 3/2;
>> d = [3/2 3/2 3/2 3/2];
>> load count.dat
>> x = count(:,1);
>> y = filter(d,c,x);
>> figure
>> plot(t,x,'--',t,y,'-'),grid on
>> legend('Estándar MPEG-4 parte10','Estándar MPEG-2',2)
>> title('Comparación MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 mediante un filtro pasa
bandas (Mbps)')

```

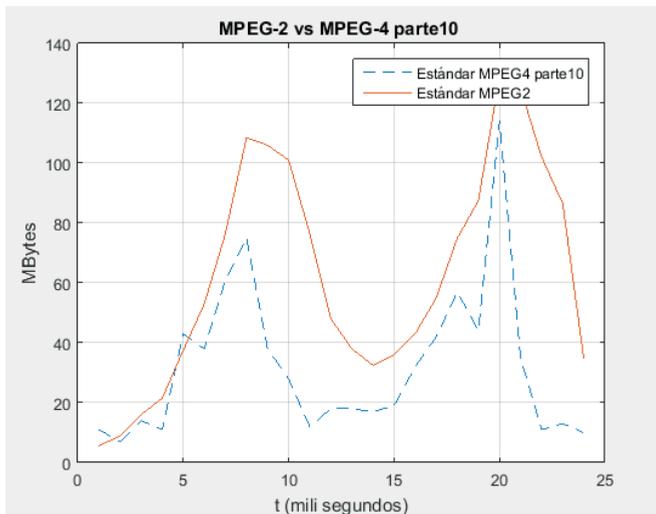


Fig. 6. MPEG2 vs MPEG4

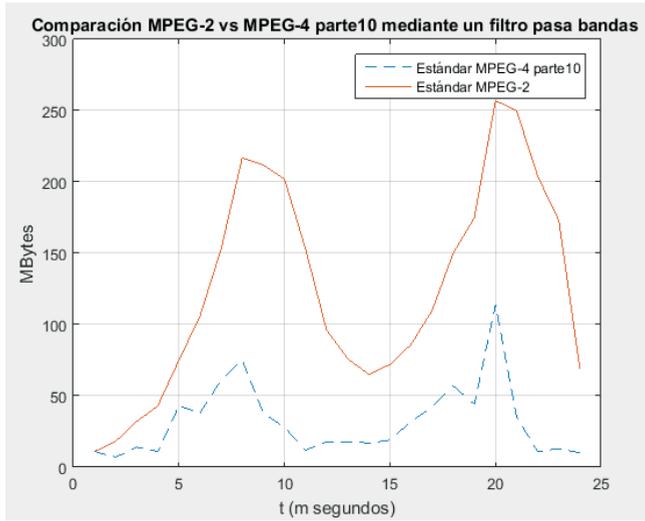


Fig. 7. Comparación MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 mediante filtro pasa bandas

Fuente: Elaboración Propia Matlab R2010a.

De la Fig. 7. elaborada en Matlab concluimos comparando MPEG-2 con el MPEG-4 parte10 (estándar de video H.264 AVC) que después de pasar la señal portadora por el filtro pasa banda, la información en MBytes del MPEG-4 (H.264 AVC) disminuye, es decir se comprime más que utilizando el estándar MPEG-2.

2. Retardo de tiempo (Jitter)

```

fs = 100;    % Frecuencia de muestreo (Hz)
t = 0:1/fs:10-1/fs;    % 10 sec muestra
x = (1.3)*sin(2*pi*15*t) ...    % 15 Hz componente
+ (1.7)*sin(2*pi*40*(t-2)) ...    % 40 Hz componente
+ 2.5*gallery('normaldata',size(t),4);    % Ruido Gaussiano
m = length(x);    % longitud de la ventana
n = pow2(nextpow2(m));    % longitud de la transformada
y = fft(x,n);    % DFT
f = (0:n-1)*(fs/n);    % Rango de la frecuencia
power = y.*conj(y)/n;    % Nivel de potencia de la DFT
    
```

```

plot(f,power)
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Power')
title('{\bf Periodogram}')

```

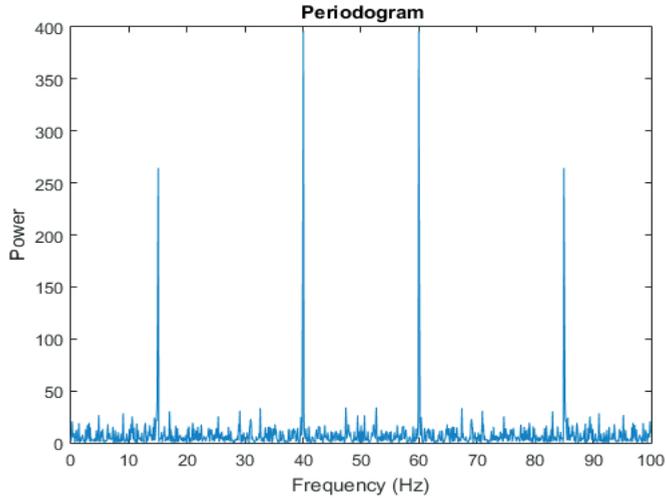


Fig. 8. Nivel de Potencia y jitter H.264

Fuente: Elaboración Propia Matlab R2010a

Luego agregamos las sentencias:

```

y0 = fftshift(y);      % Valores y rangos rearrglables
f0 = (-n/2:n/2-1)*(fs/n); % 0-frecuencia central
power0 = y0.*conj(y0)/n; % 0-Nivel de Potencia central
>> plot(f0,power0,'-';f,power,'--'),grid on % Comparación jitter-retardo de
tiempo MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 (H.264 AVC)

```

Ploteamos y nos resulta la gráfica siguiente (Fig. 9):

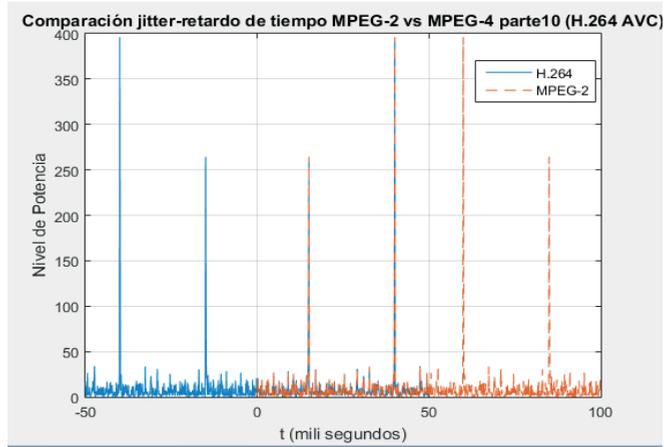


Fig. 9. Comparación jitter-retardo de tiempo MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 (H.264 AVC)

Fuente: Elaboración Propia Matlab R2010a

De los resultados obtenidos de la Fig. 9 se concluye que después de muestrear, cuantificar, modular (modulación QAM), filtrar y comprimir la señal de entrada (portadora) con la DFT, los diferentes niveles de potencia del estándar MPEG-2 se retrasan más que los de MPEG-4 parte 10, es decir, su jitter es mayor.

IV. ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de utilizar matlab elaboramos la siguiente tabla:

TABLA I

TABLA COMPARATIVA ENTRE LOS ESTÁNDARES DE VIDEO SEGÚN LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN MATLAB R2010A DENTRO DEL APORTE EN LAS METODOLOGÍAS MATEMÁTICAS PARA MEJORAR LA COMPRESIÓN DE VIDEO

Variable dependiente de salida	MPEG-2	MPEG-4 parte 10 (aporte con las metodologías en la tesis) H.264 AVC	H.265 HEVC
(Calidad de imagen) Compresión de la portadora después del filtro pasa banda	(120 - 100)MBytes	(80 - 60)MBytes	\leq 40MBytes (sigue en estudio, debe mejorar)
(Retardo – Jitter) después de muestrear, cuantizar, modular (modulación QAM), filtrar y comprimir con la DFT la señal de entrada (portadora) en los diferentes niveles de potencia	(0 - 35KHz)	(0 - 20KHz)	\leq 20KHz (sigue en estudio, debe mejorar)
(Capacidad - Velocidad de transmisión en Mbps) después de filtrar la señal (portadora) por un filtro digital FIR 3D para las diferentes frecuencias de niveles	(5 - 10) Mbps	(10 - 100) Mbps	\geq 100Mbps (sigue en estudio, debe mejorar)
(Fiabilidad de información) después de filtrar la señal (portadora) por un filtro digital FIR 3D para los diferentes niveles de píxeles en (R, G, B)	(15 - 10) % Pérdida de Información	(10 - 5) % Pérdida de Información	\leq 5% Pérdida de Información (sigue en estudio, debe mejorar)

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla I con los resultados obtenidos del simulador Matlab “concluimos” que comparando MPEG-2 con el MPEG-4 parte10 (estándar de video H.264 AVC) que después de pasar la señal portadora por el filtro pasa banda, la información del MPEG-4 (H.264 AVC) disminuye en un rango de (80-60)MBytes, se comprime más que utilizando el estándar MPEG-2.

Para la compresión de la señal portadora (luminancia y crominancia) de los estándares MPEG-2, MPEG-4(parte-2), MPEG-4(parte-10) o H.264 AVC y H.265 se utilizó como algoritmo o función matemática la DFT (Transformada Discreta de Fourier) con un filtro digital tipo FIR.

De la Tabla I se “concluye” que después de muestrear, cuantizar, modular , filtrar y comprimir (con la DFT) la señal portadora que los niveles de potencia del estándar MPEG-2 se retrasan más que los del MPEG-4 parte 10 (H.264 AVC) y del H.265 HEVC, es decir su jitter es mayor.

V. CONCLUSIONES

En conclusión: Utilizando la DCT y la DFT como metodologías matemáticas para comprimir video H.264 AVC convendríamos en que son las más ventajosas porque con ellas podemos recuperar o restaurar la imagen con la mínima cantidad de pérdida de información posible, siendo una de las técnicas matemáticas más importantes para mejorar la calidad de imagen como nos muestra los resultados y valores obtenidos del simulador MatlabR2010a según la Tabla I, "Tabla comparativa entre los estándares de video según los resultados obtenidos en MatlabR2010a dentro del aporte en las metodologías matemáticas para mejorar la compresión de video".

VI. APORTES Y LOGROS OBTENIDOS

- Se comparó los estándares de video más importantes como el MPEG-2, MPEG-4, H.264 AVC mediante el simulador Matlab obteniendo resultados que nos indican la superioridad en cuanto a grado de compresión de video de la señal (portadora) al códec H.264 AVC y al H.265 (que sigue en estudio como se muestra en la Tabla I).
- Se encontró que como filtro digital el filtro FIR es el más robusto para comprimir la información de luminancia y crominancia.
- Como transformadas matemáticas se obtuvieron que la DCT y la DFT son las que comprimen más video con la mínima cantidad de pérdida de información hasta regenerar la señal.

VII. RECOMENDACIONES

- Continuar con el estudio y análisis del estándar de video H.265 ya que esto contribuiría a mejorar la calidad de señal y video con imágenes en movimiento 3D.
- Seguir utilizando el simulador Matlab como herramienta de recolección de datos porque esta obtiene los datos más precisos cuando comparamos diferentes niveles jerárquicos de códec. de audio y video.
- Utilizar siempre filtros digitales mejorados para comprimir la señal portadora ya que éstos son más robustos y nos dan fiabilidad en la información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Juárez, E., F. Pescador, P. Lobo, C. Sanz G. (September 2010). "Distortion-Energy Analysis on a OMAP-Based H.264/SVC Decoder," 6th International Mobile Multimedia Communications Conference MobiMedia. Lisboa, Portugal, pp. 6-8.
- Mastriani, M. (2009). "Union is Strength in Lossy Image Compression," International Journal of Signal Processing, Volume 5, Number 2, pp.112-119.
- Dony, R.D. and S. Haykin (feb.1995). "Neuronal network approaches to image compression," Proceedings of the IEEE, vol.83, no.2, pp.288-303.
- Aledo, D. (2013). "Compresión de imágenes optimizada al consumo energético para redes inalámbricas," Introducción y Estado del Arte - Capítulo III, Universidad Politécnica de Madrid.
- Lucky, R. W. (Apr. 1965). "Automatic equalization for digital communication," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 44, no. 4, pp. 547-588.

TESIS Y PAPERS

- http://oa.upm.es/8712/1/FERNANDO_PESCADOR_DEL_OSO.pdf
- http://www.ungs.edu.ar/ms_ungs/wp-content/uploads/2011/11/mastriani4.pdf
- http://www.cei.upm.es/media/TFM/Aledo_David_TFM_2013.pdf(tesis_maes_comp_imagenes_poli_madrid_Aledo_David_TFM_2013)
- <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficio.48e/doc/bmficio.48e.pdf>
3.2.3.1 pág.27-29
- http://iphome.hhi.de/wiegand/assets/pdfs/2012_12_IEEE-HEVC-Overview.pdf
- <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/5745/1/ALGORITMODECOMPR.pdf>
- <http://btellez.files.wordpress.com/2009/03/trabajoatm.pdf>
- <http://www.disca.upv.es/enheror/pdf/PresTesis.PDF> (tesis doc. reserva de recursos en tx en tiempo real univ. de valencia 2001)-canales de video digital.

