

Compresión y Transmisión de Imágenes Ecográficas (Jul 2009)

Eliana Marcela García Herrera, Juan David Prieto Rodríguez.

Resumen – Este proyecto tiene como objetivo aportar una solución al manejo de imágenes diagnósticas en medicina basado en el análisis wavelet. El cálculo de la transformada wavelet da como resultado coeficientes que son organizados por codificación entrópica que optimiza la compresión de las placas ecográficas, logrando así el ahorro de espacio en los servidores de las clínicas y disminuir el ancho de banda requerido para el transporte de estas.

Palabras claves: Kernel, compresión, correlación, Transformada wavelet.

I. INTRODUCCIÓN

ACTUALMENTE los países están buscando soluciones médicas para atender a la población que se encuentra en zonas alejadas donde es difícil y costoso el acceso de personal calificado. La Telemedicina, es una rama de las Telecomunicaciones que pretende contribuir al mejoramiento del servicio de salud, su propósito es intercambiar información para aplicaciones médicas como cirugía, radiología, dermatología, entre otras, utilizando diferentes tecnologías, como redes de área local o enlaces satelitales. Al transmitirse y almacenarse imágenes médicas surgen diversos problemas, entre los que se encuentra el alto consumo de ancho de banda requerido para ser enviadas hacia otros equipos, esto hace que los costos y el tiempo para prestar este servicio sean altos. Este problema se puede solucionar implementando una técnica de análisis de señales que realice un proceso de compresión garantizando no tener pérdidas altas de información, puesto que para su estudio médico es importante la nitidez de la imagen. Existe una herramienta matemática que permite estudiar una señal en tres dimensiones, comprimir con pocas pérdidas y así aprovechar de mejor forma el ancho de banda, esta es la transformada wavelet, que al implementarse en este proyecto en el tratamiento de imágenes ecográficas digitales aporta una solución al mejoramiento del servicio en las entidades prestadoras de salud, con el ahorro en espacio de los servidores que almacenan estudios médico e historias clínicas y con el ahorro de papel de impresión de ecografías. En el caso de los servidores estos se saturan muy seguidos ya que cada ecografía tiene un peso aproximado de 1,37 Mbits y por cada estudio son alrededor de 10 a 12 imágenes y en promedio se sacan 70 estudios diarios dando como resultado al año todos estos estudios ocuparan 414,288 Gbits de memoria.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

A. Marco Teórico.

El Ecógrafo, se compone básicamente de un monitor y un emisor receptor (transductor) que a través de un cristal induce un pulso eléctrico y recoge los ecos ultrasónicos, habitualmente con frecuencias de 1 a 10 MHz, cuando se recibe la energía reflejada por cada órgano se procesa la información, los datos son convertidos de análogos a digitales, transferidos a un buffer, se cuantifican, se convierten en una imagen digital y se presenta en una pantalla en forma de imagen en escala de grises siendo a mayor eco, superior nivel de luminosidad. [1]

Existen diversos formatos de presentación de imágenes ecográficas entre las que se encuentran: [2]

- Sectorial: la imagen es en forma de abanico, se usa especialmente en exploraciones cardíacas y abdominales, su frecuencia de trabajo suele ser de 3.5 a 5MHz.
- Convex: proporciona una imagen en forma de trapecio, utilizada especialmente para exámenes obstétricos y de abdomen general, su frecuencia de trabajo es igual a la sectorial.
- Lineal: suministra una imagen en forma rectangular, explora estructuras superficiales como músculos, tendones, mamas, escroto, tiroides, entre otros tejidos blandos. Da una información más detallada que las dos anteriores ya que maneja frecuencias de trabajo de 7.5 a 10 MHz

B. Transformada Wavelet.

Desde hace más de 20 años, se han venido desarrollando nuevas herramientas, que permitan analizar señales desde otra perspectiva, debido a que la necesidad de obtener información de señales que no se comportan en forma estacionaria, o que presentan cambios bruscos en intervalos muy pequeños. Estas señales provienen de diferentes áreas de investigación, tales como la medicina, sismología, geología, electrónica y desarrollo militar. [3]

Tiene su fundamento en la transformada de Fourier que descompone una señal en ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, permite pasar del dominio del tiempo al de la frecuencia, ocasionando pérdida de información del tiempo, es decir, resultaría difícil determinar el momento en el que ocurre un determinado suceso cuando se está a una determinada frecuencia. Ocurre también otro problema con

Fourier a corto plazo (Transformada Gabor) y este es con las señales que tienen algún cambio abrupto en su forma, pues estas técnicas matemáticas no han demostrado buen funcionamiento en estos puntos, son incapaces de determinar el tiempo y la frecuencia del suceso, por tal razón es necesario implementar otra técnica. La transformada wavelet da solución al problema.

C. Transformada Wavelet En Tiempo Continúo.

La transformada wavelet continua está dada por la ecuación 1 matemática:

$$W_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi_{s,t}(x)dx \quad (1)$$

Donde, $f(x)$ es la señal a transformar y $\psi_{s,t}(x)$ esta dada por:

$$\psi_{s,t} = \frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{x-\tau}{s}\right) \quad (2)$$

La ecuación 2, es el Kernel de la transformada wavelet, una ondícula con duración efectiva limitada y valor promedio cero. Según su definición se encuentra normalizada al ser la base conformadora del espacio de señal de las transformaciones que se pueden generar a partir de este, es decir $f(x)$, es descompuesta en coeficientes wavelet que convergen matemáticamente como combinación lineal al espacio de señal de la wavelet implementada en la transformación. El desplazamiento de la ondícula sobre la señal está dado por τ y s es el factor de escalamiento.

La transformada wavelet tiene la propiedad de invertibilidad, puesto que es una operación lineal, las correlaciones obtenidas en el cálculo de la transformada son ortogonales, como consecuencia la suma de todas las descomposiciones da como resultado la señal original. Por tanto se puede obtener $f(x)$ utilizando la transformada inversa wavelet:

$$f(x) = \frac{1}{C_\psi} \int_0^\infty \int_{-\infty}^{\infty} \frac{W_\psi(s,\tau)(\psi_{s,\tau}(x))}{s^2} d\tau ds \quad (3)$$

Donde el criterio de admisibilidad o la energía de la wavelet C_ψ es:

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(u)|^2}{|u|} du \quad (4)$$

D. Cálculo De La Transformada Wavelet Discreta En Imágenes

Una imagen es una matriz de píxeles codificados con unos y ceros, su valor depende del nivel de la escala de color a representar. Cuando se aplica transformada wavelet a una imagen, los coeficientes generados codifican los píxeles con base al Kernel, produciendo así una de correlación sobre estos. Si el Kernel elegido ofrece pérdidas visuales poco perceptibles, ya se puede cuantizar e implementar algún tipo de compresión. El cálculo de los coeficientes de la transformada wavelet discreta está dado por la ecuación 5.

$$W_\psi(j, k) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_n f(n)\psi_{j,k}(n) \quad \forall j \geq j_0 \quad (5)$$

Donde $f(n)$ y $\psi_{j,k}(n)$, son la señal a transformar y el Kernel wavelet discretizados respectivamente [4].

El cálculo de la transformada wavelet en imágenes, se hace mediante la implementación de un banco de filtros ortogonales, esto se hace con el fin de dividir la información en segmentos de datos más pequeños pero que ocupen el mismo espectro de frecuencias de la imagen sin filtrar.

A continuación se muestra el banco de filtros al que es sometida la imagen:

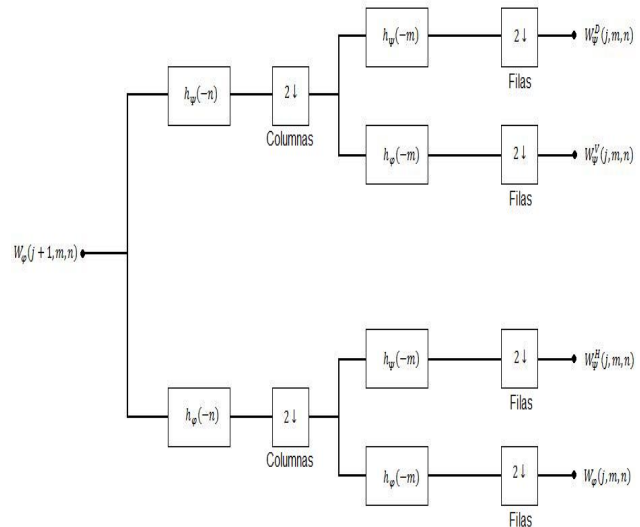


Fig. 1. Banco de filtros ortogonales de análisis para el cálculo de la transformada wavelet discreta.

Al someter la imagen a un banco de filtros de análisis divide la imagen en coeficientes de aproximación y detalle, siendo los de aproximación los que tienen mayor correlación con respecto a la imagen original y los detalle la menor Fig. 2. El cuadrante superior izquierdo contiene la aproximación sin importar el número de descomposiciones que se haga en el cálculo.

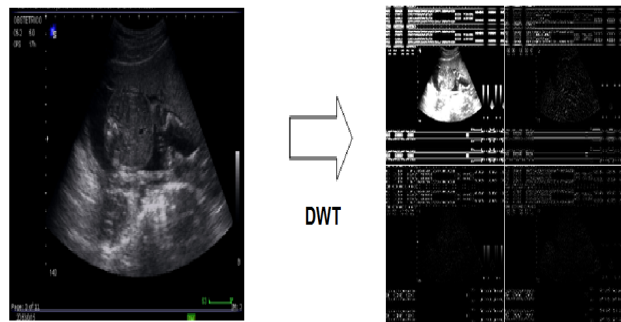


Fig. 2. DWT en imágenes.

Para la reconstrucción de la señal original, cada segmento obtenido en la descomposición es sometido a un banco de filtros de síntesis Fig. 3, buscando recuperar las frecuencias originales de cada espectro. La función matemática que

describe el cálculo de la transformada inversa wavelet discreta está dada por:

$$f(n) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_n W_\varphi(j_0, k) \varphi_{j_0, k}(n) + \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{j=j_0}^{\infty} W_\psi(j, k) \psi_{j, k}(n) \quad (6)$$

$W_\varphi(j_0, k)$ y $W_\psi(j, k)$, son los coeficientes de la transformada y $\varphi_{j_0, k}(n)$ es el filtro wavelet implementado para hacer el cálculo de la transformada inversa.

Es importante definir coherentemente los factores de decimación en interpolación ya que es en este punto donde puede suceder pérdidas de información y como se trata de imágenes diagnosticas esto no puede presentarse, la variación de un pixel dentro de la ecografía puede interpretarse como alguna anomalía o caso contrario puede quitarla del cuadro clínico.

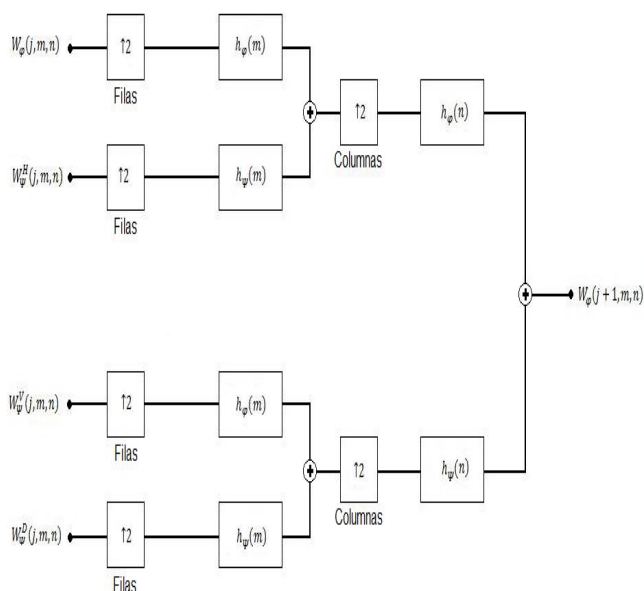


Fig. 3. Banco de filtros de síntesis para el cálculo de la transformada inversa wavelet discreta.

Los filtros utilizados para el cálculo de la transformada wavelet discreta deben converger a la función matemática de la wavelet que se desee implementar, luego la respuesta al impulso o al paso de la función de transferencia de estos, deben describir la forma de la ondícula.

III. DESARROLLO

A. Selección Familia Wavelet para la compresión.

Se seleccionaron un grupo de ecografías que tenían características diferentes en cuanto a color (oscuro, blanco y gris) y al tipo de ecografías (tejidos blandos y obstétricas) parecida a la de la Fig. 4.



Fig. 4. Ecografía seleccionada del grupo para aplicar descomposición y determinar la familia wavelet más apropiada para comprimir.

Se aplicó la transformada wavelet con varios niveles de descomposición de cada una de las familias existentes en el Toolbox de Matlab con interfaz gráfica (GUIDE), obteniendo así las imágenes de síntesis en formato Bitmap (BMP) Fig. 5.

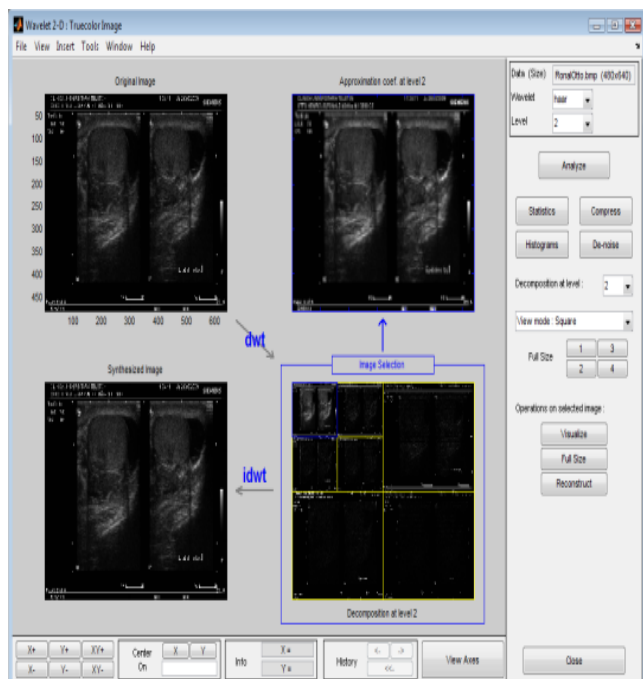


Fig. 5. Descomposición de la imagen en la aplicación GUIDE en el software Matlab.

Una vez hecho este proceso para cada imagen, se obtuvo un banco de 168 imágenes que se sometieron a estudios matemáticos como el cálculo de la correlación, varianza y media sobre el histograma para determinar variación de contraste y brillo respectivamente. Estos estudios arrojaron que en ninguna imagen los cuadros clínicos se veían afectados y los cambios de brillo y contraste fueron los mismos para cada ecografía, razón por la cual fue necesario someterlas a estudios de carácter humano, se consultó a un médico radiólogo y a un ingeniero biomédico, quienes compararon las ecografías originales con cada una de las síntesis, concluyendo que la familia wavelet que presenta menores cambios es la Discrete Meyer.

B. Problemas con la compresión.

Los coeficientes obtenidos de la ecografía son en formato Double necesitando 64 bits para su representación, luego el tamaño del archivo generado en la transformada wavelet tiene mayor peso que la imagen original, esto implica que no se puedan lograr altas tasas de compresión sin pérdidas implementando esta herramienta matemática del análisis de señales.

En la implementación del Kernel Discrete Meyer el archivo generado tubo en peso en disco de 4,25 Mbits, luego de la cuantización de los coeficientes y de la compresión su tamaño se redujo a 4,23 Mbits por lo que se concluye de manera obvia que esta familia wavelet no sirve para hacer compresión sin pérdidas en imágenes.

C. Solución implementada.

Como los diagnósticos profesionales demostraron que ninguna familia wavelet alteraba los cuadros clínicos presentes en las imágenes, se estudió el comportamiento de los coeficientes de las diferentes wavelets implementadas en la transformación, para identificar cual es la mejor para hacer la compresión. Se determinó la razón por la cual la familia Discrete Meyer no ofrece ningún tipo de compresión, porque no tiene coeficientes repetidos Fig. 6.

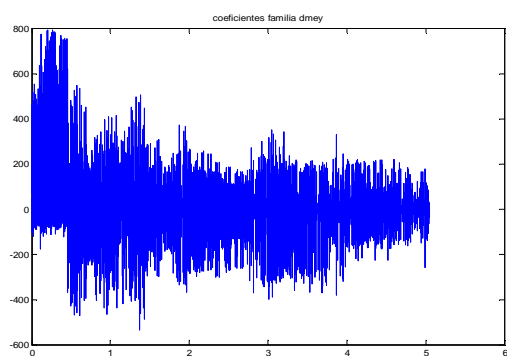


Fig. 6. Distribución de los coeficientes familia Discrete Meyer.

Los estudios demostraron que los coeficientes obtenidos más uniformes Fig. 7. son los de las familias Haar, Daubechies 1, Biorthogonal 1.1 y Reverse Biorthogonal 1.1. La tasa de compresión que se obtuvo fue del 87.32% y el tamaño de archivo comprimido de 311 Kbits.

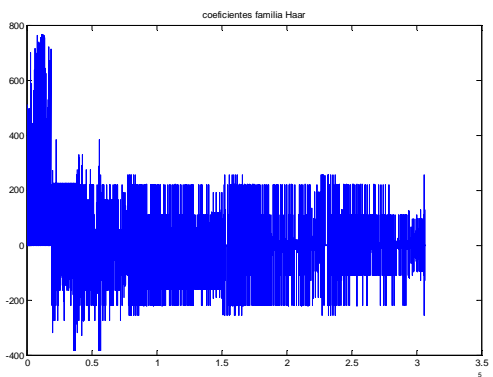


Fig. 7. Distribución de los coeficientes familia Daubechies 1, Biorthogonal 1.1 y Reverse Biorthogonal 1.1.

D. Técnica de compresión utilizada.

Se implementó codificación Huffman para la compresión de los coeficientes obtenidos en el cálculo de la transformada wavelet, esta técnica no genera pérdidas de información porque asigna a cada símbolo de la fuente (coeficientes) una probabilidad de ocurrencia y un símbolo, esto se determina por medio del cálculo de la entropía la cual determina donde se encuentra la concentrada mas la información de la imagen y cuantos símbolos de la fuente se repiten. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en las compresiones hechas a los coeficientes wavelet.

El algoritmo implementado para hacer la compresión de la imagen ecográfica el de la Fig. 8.

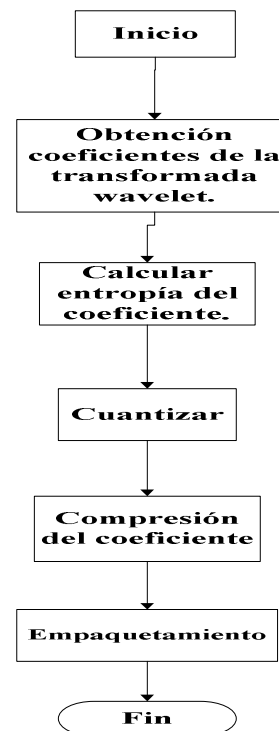


Fig. 8. Lógica Técnica de compresión

Tabla 1
Tasa de compresión de los Coeficientes wavelet

Familia Wavelet	Tamaño de los coeficientes (Bytes)	Tamaño de los coeficientes comprimidos (Bytes)	Tasa de compresión
Haar	2457600	311519	87.32%
Daubechies 1	2457600	311519	87.32%
Daubechies 10	2712216	1765852	34.89%
Symlets 2	2489112	1001754	59.75%
Symlets 8	2655288	1640164	38.23%
Coiflets 1	2511744	1254802	50.04%
Coiflets 5	2852736	2036118	28.62%
bior1.1	2457600	311519	87.32%
bior 6.8	2678784	1579403	41.04%
rbio 1.1	2457600	311519	87.32%
rbio 6.8	2678784	1585052	40.82%
Dmey	4041600	3680787	8.927%

Para determinar la tasa de compresión se diseñó e implementó la siguiente ecuación:

$$Tc = 100 - \left(\frac{TCC * 100}{TCR} \right) \quad (6)$$

Siendo:

Tc, la tasa de compresión.

CC, los coeficientes comprimidos.

TCR, tamaño de los coeficientes sin comprimir.

E. Estructura del archivo comprimido.

El archivo generado tiene la siguiente estructura: coeficientes comprimidos, el tamaño de los niveles de descomposición y el mapa de color de la imagen, sin este último la reconstrucción de la imagen no se podría realizar satisfactoriamente Fig. 9.

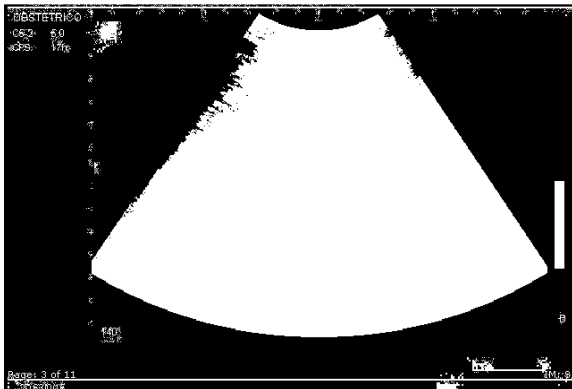


Fig. 9. Imagen reconstruida sin mapa de color.

Si se codifica el mapa de color a escala de grises (0–255) produce pérdidas de la imagen Fig. 10.



Fig. 10. Imagen reconstruida con codificación del mapa de color.

Los resultados obtenidos sugieren que al mapa de color no se le puede modificar.

F. Descompresión de imagen ecográfica.

Para la descompresión de la imagen ecográfica el algoritmo implementado se aprecia en la Fig. 11.

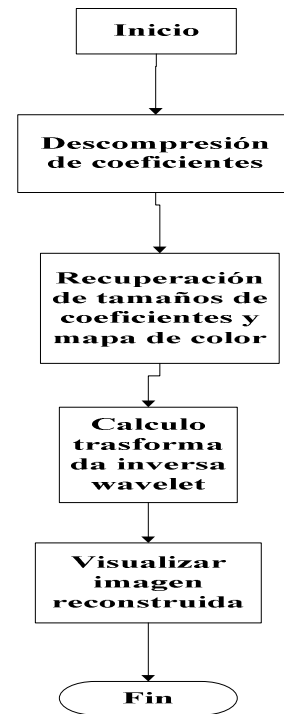


Fig. 11. Lógica Técnica de compresión

Después de obtener la imagen reconstruida esta fue sometida cálculos matemáticos con el fin de determinar las posibles pérdidas generadas en el proceso de compresión y descompresión.

El resultado de la correlación de la imagen fue de uno, demostrando así que los cuadros clínicos no se afectaron en cuanto a forma del contorno de la imagen, ahora la correlación de los histogramas de síntesis con respecto al original arrojó un resultado cercano a cero, lo que indica que estas son imágenes diferentes y garantiza la transparencia del proyecto.

G. Diseño de interfaz grafica.

La interfaz gráfica tiene un diseño muy sencillo en donde el usuario podrá comprobar cuales son la familias wavelet que ofrecen compresión y cuáles no, Fig. 11.



Fig. 11. Imagen reconstruida con codificación del mapa de color.

IV. CONCLUSIONES

- La transformada wavelet es una herramienta matemática que no comprime solo con su ejecución, la compresión se da al determinar cuántos y cuáles coeficientes se pueden eliminar sin causar muchas pérdidas en la imagen. Esta supresión no es válida para la compresión de imágenes de diagnóstico médico, debido a que en los coeficientes de detalles y aproximación pueden encontrarse los cuadros clínicos.
- Los filtros wavelet poseen una frecuencia de corte invariable, sin embargo se puede dividir el espectro de la señal en un banco de filtros que permita seleccionar los coeficientes más útiles para la implementación de la compresión de imágenes con pérdidas, tomando únicamente la aproximación y desechando los detalles.
- Se logró alta tasa de compresión con las familias Haar, Daubechies 1, Biorthogonal 1.1 y Reverse Biorthogonal 1.1 debido a que estas wavelet solo varían su amplitud dos veces (son señales rectángulos), luego los coeficientes convergen a estos valores y los coeficientes se hace más similares entre sí Fig. 12.

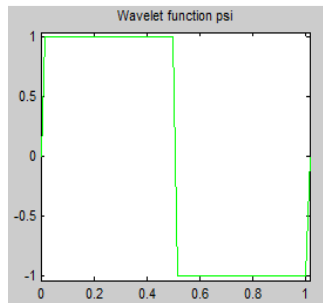


Fig. 12. Wavelet Haar.

- Al aplicar transformada wavelet discreta sobre cada imagen los especialistas en el manejo de imágenes médicas consultados notaron que estas tenían variaciones en cuanto al brillo de los pixeles, apreciación que pudo demostrarse haciendo cálculos entre los histogramas de cada imagen reconstruida respecto a los de la original, concluyendo que este fenómeno se debe al desplazamiento hacia la derecha de la información del histograma original y la variación de la media (brillo) y la varianza (contraste).
- La transformada wavelet es una herramienta ideal para analizar señales no estacionarias (que no mantienen la misma forma en el tiempo), puesto que brinda una completa identificación de las componentes de frecuencia asociadas a los diferentes niveles de escala, permitiendo encontrar con mayor facilidad que con otras herramientas como Fourier discontinuidades y cambios abruptos en la señal.

V. TRABAJO FUTURO

- La telemedicina permite la integración de muchas herramientas tecnológicas con el fin de mejorar y hacer más fácil el préstamo de servicios médicos. Este

proyecto se basa en imágenes ecográficas ya tomadas y digitalizadas, para su posterior manipulación mediante MATLAB; se puede ofrecer el mismo tratamiento a este tipo de imágenes médicas realizando la implementación en un DSP (Procesador Digital De Señales).

- Como la transformada wavelet, descompone una imagen en aproximación y detalles, se puede diseñar e implementar un algoritmo que detecte cuadros clínicos automáticamente, por ejemplo, embarazos ectópicos, tumores, quistes y cáncer en tejidos blandos.
- Implementar la transformada wavelet para el reconocimiento de patrones auditivos en cardiología, neurología y obstetricia.
- Utilizar las diferentes técnicas del procesamiento digital de señales, para hacer realizado de patrones anormales dentro de la ecografía o simplemente para implementar técnicas de ecualización que le permita a los radiólogos mejorar sus características visuales.
- Implementar este proyecto en estándares de manejo de imágenes médicas como DICOM, facilita el transporte de estos datos a través de las redes de comunicación hospitalarias y además este protocolo no cuenta con herramientas de compresión sin pérdidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Mompín P. *Introducción a la bioingeniería*. serie mundo electrónico. Ed. MARCOMBO S.A. Barcelona España 1988.
- [2] L. Fernanda, A. Martínez. "Ecografías 2D y 3D". Programa de Ingeniería Biomédica EIA – CES. Antioquia Colombia 2006.
- [3] Kouro R. Samir, Musalem M. Rodrigo, "Tutorial Introductorio a la Teoría De Wavelet". Departamento De Electrónica. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso Chile 2002.
- [4] González C. Rafael. *Digital Image Processing*. 3 ed. Addison-Wesley Publishing company. Estados Unidos De América 2008.

Eliana Marcela García Herrera: Nació en Villavicencio el 10 de enero de 1985. Realizó su bachillerato en el Colegio Nacionalizado Femenino de Bachillerato, actualmente es estudiante de ingeniería electrónica y telecomunicaciones de la Fundación Universitaria San Martín sede Bogotá.

Juan David Prieto Rodríguez: Nació en Bogotá el 12 de julio de 1984. Realizó su bachillerato en el Colegio Cafam donde obtuvo el título de bachiller académico en el año 2001. Actualmente es aspirante al título de ingeniero electrónico y de telecomunicaciones en la Fundación Universitaria San Martín sede Bogotá.