Detección de primitivas horizontales y verticales en imágenes mediante wavelets.

Emmanuel Ramírez Romero[1], José Guadalupe Rico Espino[2]

[1]Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, sede Cd. Sahagún, Hidalgo.

[2] Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, sede Querétaro.

Correo electrónico: eramirez@itesa.edu.mx

RESUMEN

Este artículo, presenta los resultados de la detección de primitivas horizontales y verticales, en imágenes mediante el uso de wavelets. Permitiendo observar los principales descriptores de rasgos físicos en rostros, que son base para la detección y análisis de los mismos. Se muestra la implementación de un algoritmo básico en un programa comercial que cuenta con librerías de procesamiento de imágenes.

Palabras Claves: Reconocimiento de rostros, transformada wavelet, Matlab.

1 INTRODUCCIÓN

En años recientes, ha crecido el interés por técnicas nuevas de transformación que estén enfocadas a compresión de imágenes y detección de rostros, ya que esta última es un área compleja debido a las irregularidades en la forma de los rostros así como la diversidad en las condiciones de iluminación y en el fondo de las imágenes [6]. Ejemplos de estas técnicas son el análisis de multiresolución, tiempo-frecuencia, algoritmos piramidales, y transformada wavelet. La calidad de la información obtenida a partir de un análisis donde se aplica la transformada wavelet depende en gran medida de la wavelet madre que se utilice [1].

Las wavelets han sido usadas en modelos digitales de elevaciones para definir la distribución espacial de un área geográfica específica [1], en astronomía para reducir el ruido de las fotografías tomadas por las sondas espaciales [2], en geofísica para compresión de datos sísmicos [3] y en medicina para estudiar electrocardiogramas [4]. Paquetes informáticos para ingeniería como Matlab©, permiten la implementación de la transformada wavelet de manera práctica y de este modo, obtener resultados preliminares de un caso de estudio.

En el presente artículo se hace uso de la transformada wavelet en un algoritmo que permite extraer las componentes vertical, horizontal y diagonal de una imagen, y que al mismo tiempo genera una "versión" de la misma con un tamaño menor a la original, lo cual sirve como base para la implementación en un sistema de reconocimiento facial ya que la base de datos generada tendrá un tamaño menor.

2 FUNDAMENTOS

2.1 RECONOCIMIENTO FACIAL

El reconocimiento y la identificación de rostros juegan un papel fundamental en nuestras interacciones sociales y están basados en nuestra capacidad de reconocer personas; esto no representa grandes dificultades para un ser humano, sin embargo para un sistema computacional, es una situación extremada mente delicada [5].

Muchos métodos nuevos han sido desarrollados y adoptados para tratar de conseguir un "sistema" que permita reconocer toda la variedad de rostros humanos. Recientemente, los investigadores han prestado atención a las tecnologías enfocadas a reconocimiento facial, detección y rastreo de características humanas, y los algoritmos existentes solo pueden ser usados para manejar algunos problemas específicos bajo ciertos ambientes experimentales [6].

Un método popular para reconocimiento facial (Análisis de Componente Principal, PCA) tiene como objetivo capturar y definir el rostro humano como un todo, y representarlo como variaciones de intensidad de pixeles; sin embargo, existen varias limitaciones con este método, entre ellas la baja calidad de las imágenes con que se trabaja y el gran tamaño de las mismas. Como alternativa a estas complicaciones, se han presentado diversos trabajos con wavelets, que tiene la ventaja de que las imágenes procesadas tienen un tamaño menor a la imagen original, conservando la mayoría de sus características "nativas" y permitiendo obtener características de las imágenes (componentes vertical, horizontal y diagonal) que pueden ser aprovechadas para identificar la dirección, ángulo de rotación y la posición de los rostros que no están fijos, como en fotografías y cámaras de video [6], [7], [8].

Para construir el modelo antropométrico de un rostro humano, se requiere de 32 parámetros que se calculan a partir de un conjunto de referencia; teniendo en cuenta esos puntos se fija un conjunto de medidas que son la altura fisiognómica de la cara, la altura media de la nariz, la anchura de la boca, entre otras [16].

2.2 TEORÍA WAVELET

El interés en años recientes en nuevas técnicas de transformación, se ha dirigido a problemas de compresión de imágenes, detección de bordes, detalles y análisis de texturas. Estas técnicas vienen bajo los encabezados de análisis multi-resolución, codificación sub-banda y análisis tiempo-frecuencia [9]. La teoría provee un gran marco unificado para éstas técnicas, las cuales han sido desarrolladas en forma independiente para aplicaciones en el procesamiento de señales e imágenes.
A mediados de los 80s, investigadores de la escuela francesa dirigidos por el geofísico Morlet, el físico teórico Grossman y el matemático Meyer, construyeron los fundamentos matemáticos de esta teoría.

La atención de la comunidad en el procesamiento de señales fue atraída cuando Daubechies y Mallat, establecieron una conexión entre la teoría y el procesamiento digital de señales. Desde entonces, un número de contribuciones tanto teóricas como prácticas han sido hechas en varios campos de la física, las matemáticas y la ingeniería, empleando la transformada wavelet [10], [11], [12], [13].

En particular, la transformada wavelet es de interés para el análisis de señales no estacionarias, por que provee una alternativa a la clásica transformada de Fourier de tiempo corto (STFT) o transformada de Gabor. La transformada wavelet tiene como idea, mirar una señal a varias escalas y a través del tiempo, empleando para esto una función básica llamada *wavelet madre*.

Existen varios tipos de transformada wavelet, dependiendo de la aplicación se prefiere una sobre la otra. Para señales de entrada continuas, los parámetros de escala y tiempo son continuos, conduciendo a la transformada wavelet continua (CWT). Por otro lado, sí la señal de entrada es discreta, se dirige al análisis con la transformada wavelet discreta (DWT). En este último caso, se utilizan técnicas de procesamiento digital de señales y está se relaciona con los sistemas de codificación sub-banda, utilizados en compresión de imágenes y voz [14].

La transformada de Fourier usa como funciones ortonormales básicas, ondas sinusoidales, llamadas así porque se parecen a las olas del mar. Para una transformada completa, estas funciones se deben extender hasta el infinito en ambos lados. Los vectores básicos de la transformada de Fourier tampoco son cero en el dominio completo, esto es, que no tienen soporte compacto.

Una nueva opción, es utilizar funciones básicas de duración limitada u ondas wavelets en vez de ondas sinusoidales. Las wavelets son una alternativa, no un reemplazo de la teoría de Fourier. Estas funciones básicas varían tanto en posición como en frecuencia. En la Figura 1 se ilustran ejemplos de estos dos tipos de funciones.

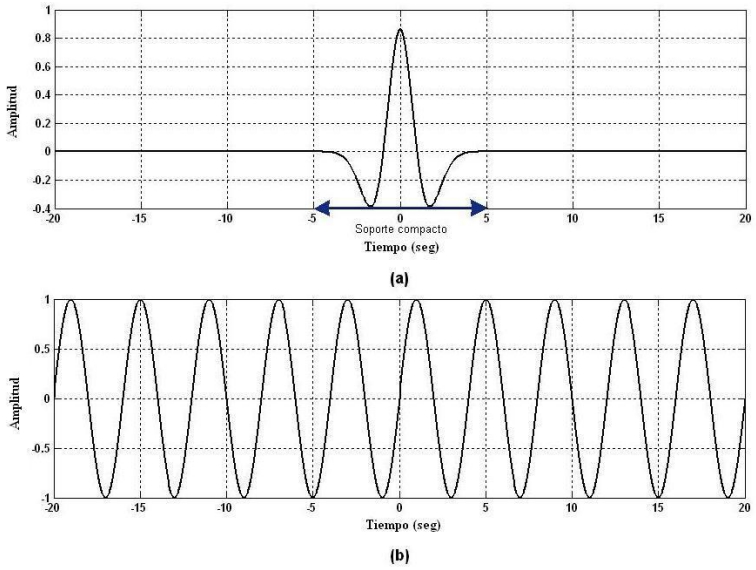

Figura 1: (a) Función wavelet, (b) función sinusoidal.

Muchas características importantes en imágenes (bordes, por ejemplo), no tienen un parecido a las funciones básicas de Fourier, y no son representadas adecuadamente con los coeficientes de dicha transformada, ocasionando un análisis no óptimo para comprimir y analizar señales e imágenes que contienen transitorios o componentes específicos.

Para combatir tal deficiencia, se han explorado diversas aproximaciones usando la transformada wavelet. Literalmente el término wavelet significa pequeña onda (llamadas ondeletas en la literatura francesa). La transformada Haar es el primer ejemplo de una transformada wavelet. Una wavelet es una función que satisface las siguientes condiciones en el dominio del tiempo [15]:

- Tiene una pequeña concentración explosiva de energía finita.
- Muestra alguna oscilación en el tiempo.

La primera condición la hace pequeña en el sentido que esta, es bien localizada, la segunda condición la hace ondulada.

Una sola función wavelet madre genera una familia de wavelets por dilatación (expandiéndola o contrayéndola) y trasladándola a lo largo del eje horizontal que para propósitos de explicación se considera el tiempo, llamando a cada una de estas funciones *wavelets hija*. La Figura 2 muestra diversas funciones de una familia wavelet.

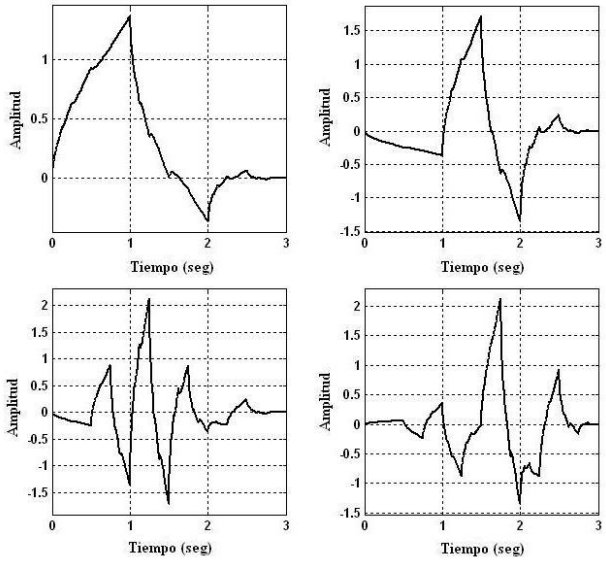

Figura 2: Familia de wavelets de Daubechies.

Para la construcción de una serie wavelet, se parte de una wavelet madre $\psi(t)$, que es desplazada y escalada por j y k, dando como resultado un conjunto cuyos elementos son las wavelets hijas, denotadas por

$$\psi_{j,k} = \psi\left(\frac{t-k}{j}\right) \qquad (1)$$

Para una función $f \in L_2$ su serie wavelet se define por

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{j,k}\, \psi_{j,k}(t) \qquad (2)$$

$$c_{j,k} = \langle \psi_{j,k}, f(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{j,k}(t), f(t) dt \qquad (3)$$

En general las wavelets hijas (1) no necesariamente son ortonormales, esta es una característica que las hace diferentes a las exponenciales complejas utilizadas en la teoría de Fourier. Para fines de aplicación de la teoría wavelet en el procesamiento digital de señales es recomendable trabajar con una familia de wavelets que sean ortonormales. Ya que la transformada wavelet hace uso de la serie wavelet para su construcción y facilitar su implementación computacional, se requiere el uso de funciones base por escalamientos binarios y desplazamientos dyadic de la wavelet madre $\psi(t)$. Un desplazamiento dyadic es un corrimiento por la cantidad ${}^{k}/_{2^j}$, la cual es un entero múltiplo del factor de la escala binaria y por lo tanto del ancho de la wavelet también.

Una función $\psi(t)$ es una wavelet ortogonal si el conjunto $\psi_{j,k}(t)$ de funciones definidas por

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \qquad (4)$$

Forman una base ortonormal de $L_2 . j$ determina la dilatación, y k la traslación.

2.2.1 TRANSFORMADA WAVELET DISCRETA

Debido al vínculo que existe entre el procesamiento digital y la teoría wavelet, la transformada wavelet discreta tiene aplicaciones para compresión de señales, análisis de texturas, fusión y detección bordes en imágenes. En esta última aplicación se emplea la transformada wavelet discreta en dos dimensiones, para la detección de bordes de las imágenes.

2.3 ALGORITMO PARA LA TRANSFORMADA WAVELET DISCRETA EN DOS DIMENSIONES

Si se trabaja con imágenes, estas pueden ser expandidas en términos de la transformada wavelet en dos dimensiones descomponiéndola dentro de cuatro imágenes de un cuarto de su tamaño original; matemáticamente se escribe

$$f_{2^{j+1}}^{0}(m,n) = \left\{\left[f_{2^{j}}^{0}(x,y) * \phi(-x,-y)\right](2m,2n)\right\} \qquad (5)$$

$$f_{2^{j+1}}^{1}(m,n) = \left\{\left[f_{2^{j}}^{0}(x,y) * \psi^{1}(-x,-y)\right](2m,2n)\right\} \qquad (6)$$

$$f_{2^{j+1}}^{2}(m,n) = \left\{\left[f_{2^{j}}^{0}(x,y) * \psi^{2}(-x,-y)\right](2m,2n)\right\} \qquad (7)$$

$$f_{2^{j+1}}^{3}(m,n) = \left\{\left[f_{2^{j}}^{0}(x,y) * \psi^{3}(-x,-y)\right](2m,2n)\right\} \qquad (8)$$

L a ecuación (5) contiene la información de las bajas frecuencias o aproximaciones de la imagen; en otras palabras, es una representación de la imagen original a menor escala, mientras que (6), (7) y (8) contienen la información de los detalles vertical, horizontal y diagonal, respectivamente.

La implementación de este algoritmo se mostrará más adelante en Matlab, aplicado a un conjunto de imágenes que se obtuvieron de internet para realizar un análisis de la aplicación de wavelets en el reconocimiento de los patrones vertical, horizontal y diagonal de las mismas.

3 PROCEDIMENTO

Una imagen puede ser definida por una función de dos dimensiones $f(x,y)$, donde x y y son coordenadas espaciales en el plano, y la amplitud de f en cualquier par de coordenadas (x,y) se le llama intensidad de la imagen en ese punto. Matemática mente, una imagen puede representarse como una matriz de la forma

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & f(1,N-1) \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \qquad (9)$$

El lado derecho de (9) corresponde, por definición, a una imagen digital; cada elemento de la matriz es llamado elemento de la imagen, o pixel.

Matlab© tiene herramientas computacionales que permiten digitalizar imágenes, además de contar con comandos y funciones que facilitan el procesamiento de las mismas. Ejemplo de esto es el toolbox de la transformada wavelet, el cual es utilizado para procesar las imágenes y posteriormente descomponerlas por medio de la transformada wavelet.

Con respecto a la imagen a procesar, el primer paso fue calcular los parámetros a utilizar en el algoritmo de Matlab© para la descomposición y reconstrucción de la imagen. A continuación se presenta de manera gráfica el algoritmo empleado (Figura 3) y posteriormente su función.

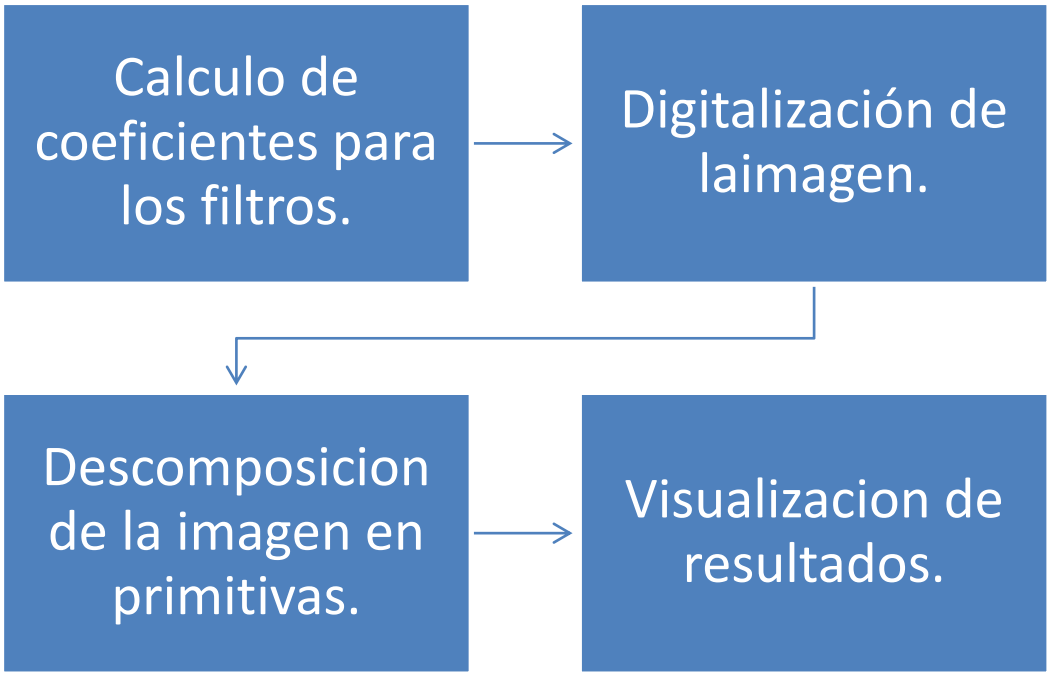

Figura 3: Diagrama de bloques del algoritmo utilizado.

El primer paso es obtener los coeficientes para los filtros pasa altas y pasa bajas tanto de descomposición como de reconstrucción; este procedimiento está enfocado a la familia de wavelets que se emplea (en este artículo se presentan los resultados con la wavelet discreta de Daubechies de orden 2).

De la aplicación del algoritmo se obtuvieron los siguientes coeficientes:

Lo_D = [-0.1294 0.2241 0.8365 0.4830]
Hi_D = [-0.4830 0.8365 -0.2241 -0.1294]
Lo_R = [0.4830 0.8365 0.2241 -0.1294]
Hi_R = [-0.1294 -0.2241 0.8365 -0.4830]

En donde Lo_D, Hi_D, Lo_R y Hi_R corresponden al filtro pasa bajas de descomposición, filtro pasa altas de descomposición, filtro pasa bajas de reconstrucción y filtro pasa altas de reconstrucción, respectivamente.

Estos valores una vez calculados, permanecen en el espacio de trabajo de Matlab© para ser utilizados posteriormente por el algoritmo que se encarga de hacer la descomposición de la imagen.

El siguiente paso es aplicar la transformada wavelet a la imagen para obtener las primitivas, esto se consigue mediante la digitalización de la imagen dentro de Matlab, convirtiéndola en una matriz similar a la mostrada en (9) y guardando dicha matriz en una variable que permanecerá en el espacio de trabajo de Matlab.

Ya que la imagen ha sido transformada en una matriz, se procede a aplicar la transformada wavelet para obtener las primitivas y agruparlas en un arreglo que presenta la imagen original comprimida y las primitivas vertical, horizontal y diagonal de la misma (Figura 4).

Figura 4: Descomposición de la imagen mediante el uso de wavelets.

El proceso se repitió para varias imágenes con el fin de comparar los resultados y probar diferentes escenarios en los que es posible encontrar rostros humanos (Figura 5).

Figura 5: Descomposición de imágenes adicionales.

Se observa que el algoritmo aplicado permite conocer las componentes verticales, horizontales y diagonales de las imágenes procesadas, además de que las resultantes poseen características (tamaño y resolución) que permitirán adaptarlo en una base de datos para reconocimiento facial.

Adicional a lo anterior se puede agregar que estos son resultados preliminares que permitieron corroborar que las wavelets son una herramienta que puede ser utilizada para implementar una base de datos para reconocimiento facial.

4 CONCLUSIÓN

Del trabajo presentado se puede concluir que con el uso de wavelets se puede realizar el procesamiento de imágenes para reconocimiento facial de manera que se obtienen características de las mismas (rasgos vertical, horizontal y diagonal) que sirven como base para implementar un algoritmo más robusto que permitirá reconocer rasgos faciales más complejos, siendo una alternativa a las técnicas tradicionales utilizadas en la actualidad.

4.1 TRABAJOS FUTUROS

El algoritmo presentado es la base para un sistema de reconocimiento facial que será implementado en un sistema de control de estacionamiento, por lo que se plantea a corto plazo realizar una base de datos en conjunto con una cámara y el dispositivo completo que reconozca en tiempo real el rostro de la imagen capturada por la cámara y de inmediato verifique si la persona identificada pertenece o no a la base de datos.

REFERENCIAS

[1] Gómez-Luna, E. et al. "selección de una wavelet madre para el análisis frecuencial de señales eléctricas transitorias usando WPD". Grupo de Investigación en Alta Tensión, Universidad del Valle, Colombia.

[2] Basto Pineda, Juan Carlos. "Comparación y evaluación de métodos de supresión de ruido en imágenes de origen astronómico usando wavelets". UIS ingenierías, Revista de la facultad de ingenierías fisicomecánicas, diciembre 2010.

[3] Fajardo, Carlos, et al. "Seismic data compession using 2D lifting-wavelet algorithms". Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2015.

[4] Ballesteros, Dora M. et al. "FPGA compression of ECG signal using modified convolution scheme of the discrete wavelet transform". Telecommunications Engineering Department. Bogotá, Colombia, 2012.

[5] Zaied, Mourad et al. "Training of the beta wavelet networks by the frames theory: application of face recognition". Research Group of Intelligent Machines. University of Sfax, Tunisia.

[6] Lu, Yang et al. "A hybrid wavelet neural network and switching particle swarm optimization algorithm for face direction recognition". College of Information Technology, Daqing, China, 2015.

[7] Zhang, Bai-Ling et al. "Face recognition by applying wavelet subband representation and kernel associative memory". IEEE Transactions on neural networks, vol. 15, No. 1, 2004.

[8] Moeini, Ali et al. "Make-up invariant face recognition by 3D face Modeling and dual-tree complex wavelet transform from women's 2D real-world images". Electrical Engineering Department, Amirkabir University of Technology. Tehran, Iran, 2014.

[9] K.R. Castleman, Digital Image Processing, 1st ed., Prentice Hall, 1996.

[10] I. Daubiches, "The wavelet tansform, time-frequency localization and signal analysis", IEEE Tranaction Information Theory, Vol. 36, No. 5, pp. 961-1005, 1990.

[11] I. Daubiches, Ten lectures on wavelets, SIAM, Philadelphia, PA., 1992.

[12] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation", IEEE Transactions Pattern Recognition and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 7, pp. 674-693, 1989.

[13] S. Mallat, "Zero-crossings of a wavelet transform", IEEE Transactions Information Theory, Vol. 37, No. 4, pp. 1019-1033, 1991.

[14] J. Li, A wavelet approach to edge detection, Thesis of Mathematics of Sam Houston State University, 2003.

[15] A. Teolis, Computational Signal Processing with Wavelets, 1st ed. Birkhäuser, 1998.

[16] Camargo Díaz, Jorge L. et al. “Algoritmo para la obtención de parámetros antropométricos en imágenes de rostros frontales”. Revista científica, Ingeniería y desarrollo. Vol. 29, No. 1, 2011.