

# Aplicación de la Transformada Wavelet para el reconocimiento de formas en visión artificial<sup>1</sup>

## RESUMEN

La Transformada Wavelet es una técnica matemática desarrollada recientemente, que por muchos aspectos mejora a La Transformada de Fourier en el campo del procesamiento digital de señales e imágenes. Las características brindadas por la Transformada Wavelet son utilizadas específicamente para la extracción óptima del contorno, y a partir de diversos procesos (signaturas y conteo de píxeles) se obtiene parámetros de comparación como área, perímetro, compacidad y diámetro de los contornos a comparar, finalizando con la visualización de un grado de coincidencia de los contornos comparados. Todo lo anterior desarrollado mediante MATLAB 7.1, un software de capacidad matemática que incluye funciones propias para el desarrollo de La Transformada Wavelet.

## 1. Introducción

El procesamiento digital de imágenes surge en las décadas del cincuenta y sesenta al manipular las imágenes como matrices caracterizadas por una gran cantidad de información a ser procesadas por el computador con el objetivo de mejorar su calidad visual. La Transformada Wavelet (WT) permite conocer qué frecuencias componen una señal en cada instante de tiempo (a diferencia de la Transformada de Fourier que realiza una descomposición de las señales en sus componentes frecuenciales pero sin facilitar información temporal de éstas), pues la WT posibilita el análisis dentro de intervalos grandes de tiempo en aquellos segmentos en los que se requiere mayor precisión en baja frecuencia y regiones más pequeñas donde se requiere información en alta frecuencia [1]. En el análisis de imágenes por medio de La Transformada Wavelet es necesario hacer una discretización de la misma, surgiendo por esto el método Discreet Wavelet Transform (DWT) que es una técnica que permite el procesamiento digital de señales discretas e imágenes.

Autores:

Óscar Alexander Bertel García<sup>2</sup>

Camilo Andrés Moreno González<sup>3</sup>

Edwin José Toro Bello<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Proyecto Curricular de Tecnología Electrónica. El trabajo de grado recibió mención meritoria.

<sup>2</sup> Tecnólogo en electrónica, correo electrónico: osbercartel2@hotmail.com

<sup>3</sup> Tecnólogo en electrónica, correo electrónico: andresdeyabu11@hotmail.com

<sup>4</sup> Tecnólogo en electrónica, correo electrónico: gato055@hotmail.com

Cabe resaltar dos características:

- Aísla y manipula distintos tipos de patrones específicos ocultos en grandes cantidades de datos.
- Comprime o elimina ruido sin degradación apreciable [2].

Por consiguiente, el objetivo principal de este proyecto es desarrollar e implementar un algoritmo para el reconocimiento de formas utilizando DWT, y a partir de los resultados obtenidos poder hacer una discriminación de los datos para determinar un grado de coincidencia entre las imágenes. La discriminación se hace sobre cada contorno existente en la imagen y se aplican los distintos métodos de análisis, entre los cuales están: cotejos de área, perímetro, compacidad, área por función angular, perímetro por función angular, compacidad por función angular y diámetros mayores, los cuales permitirán comparar o discriminar la forma de una figura con otra.

Los tipos de wavelet son llamadas Wavelet Madre, entre las cuales tenemos: Wavelet de Haar, Daubechies, Symlets, Coiflets, BiorSplines, Reverse Bior, Meyer, DMeyer, Gaussian, Mexican Hat, Morlet, Complex Gaussian, Shannon, Frequency B-Spline y Complex Morlet. Según la Wavelet madre utilizada, se puede seleccionar su grado, por ejemplo las de tipo Daubechies; de grado db1, db2, db3, db4, db5, db6, db7, db8, db9, db10, db\*\*.

## 2. Metodología

El software para el reconocimiento de formas a partir de la DWT se desarrolló en cinco fases: construcción del ambiente controlado; adquisición y pretratamiento de la imagen; aplicación de la DWT; aplicación de técnicas en búsqueda de parámetros que permitan el cotejo de las imágenes y publicación del grado de coincidencia entre los contornos.

### 2.1 Construcción del ambiente controlado

La importancia del ambiente controlado es garantizar que se cumplan ciertas condiciones de luminosidad, textura y contraste. Debido a esto, se construyó un cubo de 33 cm de arista cubierto en su interior de color negro mate, buscando la uniformidad y absorción de la luz a través de leds a chorro de luz blanca dispuestos internamente sobre el cubo, pero sin que el rayo de luz incida directamente en la figura o la lente de la cámara, sin generar ruido en el procesamiento digital de la imagen. Es importante destacar que para obtener una mejor abstracción del contorno de la figura, ésta debe contrastar notablemente sobre el fondo.

### 2.2 Adquisición y pretratamiento de la imagen

Inicialmente, la imagen es capturada por la cámara Web con una resolución de  $320 \times 240$  píxeles en formato JPG, la cual está conformada por tres matrices que corresponde a la escala de tonos rojo, verde y azul respectivamente, llamada imagen RGB (en inglés: red, green y blue) [3]. Luego se realiza una unificación de las tres matrices (RGB) a una sola y para ello se aplica la ecuación (1), donde  $Y$  representa la unificación de las tres matrices  $R$ ,  $G$  y  $B$ .

$$Y_{ij} = (0.2989 \times R_{ij}) + (0.5870 \times G_{ij}) + (0.1140 \times B_{ij}) \quad (1)$$

Al concluir el proceso se han obtenido valores entre 0 y 255, equivalentes a un tono de grises en cada posición de la matriz  $Y$ , donde el negro=0 y blanco=255. Este proceso se denomina conversión a escala de grises de la imagen capturada; por último se aplica un filtro de media a la imagen para resaltar el contraste de la figura con el fondo. Debe tenerse en cuenta que la conversión a escala de grises de la imagen y el posterior filtrado son pasos primordiales para la correcta ejecución de la DWT y así poder obtener su óptimo contorno primario.

### 2.3 Aplicación de la DWT

Para computar la DWT 2-D se utilizan filtros 2-D calculados a partir de la convolución de los filtro 1-D, donde los valores de los filtros 1-D son encontrados a partir de la Wavelet madre seleccionada. Para la Wavelet madre de Haar (Wavelet madre utilizada en el proyecto) los filtros son separables, pues el filtro 2-D  $f(n_1, n_2)$  es expresable como  $f(n_1, n_2) = f_1(n_1) f_2(n_2)$ , por consiguiente esta DWT descompone una imagen  $A_i(n_1, n_2)$  en una imagen promedio y tres imágenes detalle, de acuerdo con las expresiones:

$$A_{i+1}(n_1, n_2) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} G(k_1)G(k_2)A_i(2n_1 - k_1, 2n_2 - k_2) \quad (2)$$

$$H_{i+1}(n_1, n_2) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} G(k_1)H(k_2)A_i(2n_1 - k_1, 2n_2 - k_2) \quad (3)$$

$$V_{i+1}(n_1, n_2) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} H(k_1)G(k_2)A_i(2n_1 - k_1, 2n_2 - k_2) \quad (4)$$

$$D_{i+1}(n_1, n_2) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} H(k_1)H(k_2)A_i(2n_1 - k_1, 2n_2 - k_2) \quad (5)$$

Donde  $H(z)$  y  $G(z)$  son los filtros Wavelet 1-D, la señal  $A_{i+1}(n_1, n_2)$  es un suavizado de baja resolución de la imagen  $A_i(n_1, n_2)$ . Este suavizado se calcula desde  $A_i(n_1, n_2)$  mediante un filtro pasa-baja y diezmando por 2 a lo largo de filas y columnas. Las señales  $H_{i+1}(n_1, n_2)$ ,  $V_{i+1}(n_1, n_2)$  y  $D_{i+1}(n_1, n_2)$  contienen el detalle de  $A_i(n_1, n_2)$  [4].

### 2.4 Obtención de contornos

Consiste en unificar las matrices de los detalles  $V$ ,  $H$  y  $D$  en una sola matriz que visualice el contorno primario de la imagen, pero, por las características particulares de la DWT, el contorno resultante es bastante grueso, por consiguiente se aplica un algoritmo de adelgazamiento de borde para obtener el contorno mostrado en la figura 1.

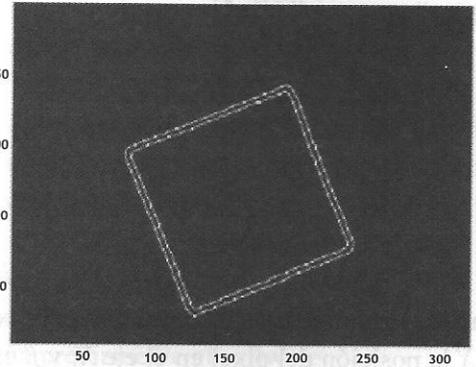


Figura 1. Extracción del contorno doble de una figura

### 2.5 Obtención de los parámetros de comparación

En síntesis, se han utilizado dos métodos para obtener los parámetros de comparación:

#### 2.5.1 Signatura

El primero a través de signaturas, consiste en una representación de un contorno mediante una función real unidimensional que sea más sencilla que la función bidimensional que define el contorno—hay varias maneras de definir una signatura—.Este caso se implementa a través de la medición de la distancia desde un punto interior, por ejemplo, el centroide del contorno dirigido a cada uno de los puntos del mismo como una función del ángulo (ver figura 2).

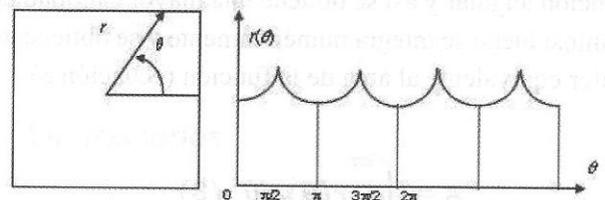


Figura 2. Función del ángulo de un cuadrado

Esto se logra por medio de las ecuaciones:

$$h = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (6)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{X}{h}\right) + \beta \quad (7)$$

Donde  $h$  es la hipotenusa,  $Y$  la posición del pixel en el eje  $Y$ ,  $X$  la posición del pixel en el eje  $X$ , y  $\beta$  es un ángulo de desfase dependiente del cuadrante en el que se encuentra el pixel analizado.

Sin embargo, cualquier método de análisis de imágenes debe cumplir ciertas condiciones con respecto a las transformaciones geométricas básicas, a saber: translación, rotación y escala (TRS) (translation, rotation and scale) [5], con el fin de ser utilizado en el análisis de formas. Aunque, el método de firmas tiene algunas desventajas, debe cumplir dos condiciones, la primera, el centro geométrico del contorno debe encontrarse interno en éste, o sea un punto interno que sea el centro de la función que describe la línea recta generada por los dos puntos más distantes del contorno; y la segunda, la figura no debe tener curvas muy cerradas, pues no puede tenerse un punto del dominio que tenga más de una imagen, por consiguiente este método condiciona el tipo de contornos a cotejar.

Los cálculos para el perímetro, el área y la compacidad se obtienen mediante interpolación de datos de la función angular y así se obtiene una mayor cantidad de puntos; luego se integra numéricamente y se obtiene un valor equivalente al área de la función (ecuación 8).

$$A = \int_0^{2\pi} r(\theta) d\theta \quad (8)$$

Ahora se aplica la ecuación de integral de línea (ecuación 9) para determinar el perímetro (longitud de la curva) y a partir de estos dos parámetros se obtiene la compacidad (ecuación 10) donde  $C$  es la compacidad,  $A$  es el área y  $P$  es el perímetro.

$$P = \int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2} d\theta \quad \text{donde } a \leq \theta \leq b \quad (9)$$

$$C = \frac{A}{P^2} \quad (10)$$

### 2.5.2 Conteo de píxeles

Para complementar la falencia del método de firmas se aplicó el segundo método que consiste en el conteo de los píxeles referentes al contorno, obteniendo el perímetro (como la suma de los píxeles que conforman el borde, ecuación 11), el área (suma de todos los píxeles que conforman la región interna del contorno) y la compacidad como una relación mutua sin restricciones en el tipo de figura a analizar.

$$P = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k (a_{ij}) \quad (11)$$

### 2.6 Creación de figura base y publicación del grado de coincidencia entre los contornos

En primer lugar se debe enseñar al software, cuál es la figura que a continuación se debe buscar, —capturada a través de la cámara Web— y tratada con los procesos de escala de grises, filtrado, DWT (contorno primario), adelgazamiento de bordes (borde doble), diámetro mayor, firmas (área, perímetro y compacidad) y conteo de píxeles (área, perímetro y compacidad). Posteriormente, entregar al usuario final los resultados definitivos del proceso.

### 2.7 Comparación de contornos

Por último, los descriptores mencionados se comparan con aquellos que ya están almacenados y se determina el grado de coincidencia entre los contornos que han sido comparados (contorno guardado vs contorno capturado).

Cada proceso calcula un parámetro específico de cada uno de los contornos a comparar, genera un porcentaje de error y el promedio de errores es por consiguiente el error total (ecuaciones 12 y 13), el cual no debe exceder el porcentaje de error permitido (de libre elección por el usuario).

$$E_i = \left( 1 - \frac{1}{\left| \frac{a-b}{a} \right| + 1} \right) * 100\% \quad (12)$$

$$E_t = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (13)$$

$a$  es el valor del parámetro de la imagen base,  $b$  es el valor del parámetro de la imagen a comparar,  $E_i$  es uno de los errores de coincidencia calculados y  $E_t$  es el error total.

Si el valor del error total es menor o igual al valor del error permitido, el grado de coincidencia es positivo (Figura 3). De lo contrario el grado de coincidencia es negativo.

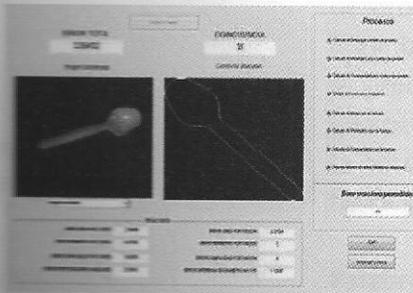


Figura 3. Cotejo de imágenes (respuesta positiva)

### 3. Resultados

Se creó un software con las siguientes características:

- Realiza la captura y digitalización de una imagen de video.

- Hace una conversión de la imagen digitalizada a su equivalente Wavelet.
- Filtra los datos obtenidos de La Transformada Wavelet para extraer sólo la información del contorno.
- Coteja los contornos obtenidos contra el contorno buscados, este último se le enseña previamente al software.
- Entrega de un resultado de coincidencia entre el contorno buscado y la imagen digital capturada por la cámara.

### 4. Perspectivas

El software fue experimentado en un ambiente no controlado obteniendo resultados satisfactorios siempre y cuando se logre un buen contraste entre el fondo y los objetos, lo que hace pensar en una implementación menos restringida y más abierta a la industria.



Figura 4. Implementación en un ambiente no controlado

### 5. Limitaciones

- Las imágenes analizadas deben tener un alto contraste con respecto al fondo.
- La iluminación debe garantizar el contraste entre la imagen y el fondo.

- De haber múltiples imágenes de colores parecidos, estas no deben estar sobrepuestas ya que el algoritmo las reconocería como un solo objeto.
- Algunas de las técnicas de análisis de contorno no pueden ser usadas en todo tipo de imágenes por sus características particulares.
- El funcionamiento del programa en tiempo de ejecución se ve limitado por las características técnicas del PC.

## 6. Conclusiones

- La determinación de descriptores invariables ante la translación, rotación y escala de una figura es la condición primordial para el reconocimiento de formas en visión artificial.
- La Transformada Wavelet Discreta (DWT) es una herramienta óptima para la obtención de un contorno primario y la extracción de ruido.
- La luminosidad ambiente es uno de los factores más determinantes para el procesamiento de una imagen capturada a través de una cámara Web.
- Los distintos métodos para el cotejo de imágenes conllevan ciertas restricciones según los tipos de formas a analizar.

## Referencias

- [1] Kouro R. Samir, Musalem M. Rodrigo (2002). *Tutorial introductoria a la teoría de Wavelet*. Universidad Técnica Federico Santa María, IEEE.
- [2] Pérez Enríquez, Román (2007). *El análisis Wavelet*. México: Centro de Geociencias, UNAM. Disponible en: [www.geociencias.unam.mx/geociencias/desarrollo/wavelets](http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/desarrollo/wavelets)
- [3] The Mathworks (2008). *Matlab Image Processing Toolbox™ 6 User's Guide*.
- [4] Colom Ricardo J, Gadea Rafael (2001). *Transformada Discreta Wavelet 2d para el procesamiento de video en tiempo real*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- [5] V. Kindratenko (2001). *Shape Analysis*. Disponible en: <http://www.ncsa.uiuc.edu/~kindr/phd/index.pdf>