

RECONOCIMIENTO DE CARACTERES BASADO EN FIRMAS VECTORIALES

CHARACTER RECOGNITION BASED ON VECTORIAL SIGNATURES

Jesús R. Lerma A.¹, Josué Álvarez B.²

jlerma@uabc.mx / josue@cicese.mx

Recibido: marzo 20, 2009 / Aceptado: octubre 18, 2009 / Publicado: diciembre 10, 2009

RESUMEN. En este trabajo se presenta el desarrollo y utilización de firmas vectoriales para el reconocimiento de imágenes, aprovechando las propiedades que presentan las transformadas de Escala y de Fourier. Como primer caso, se analizaron los dígitos del sistema decimal, escrito cada uno en color blanco con fondo negro, tipo Arial en tamaño 144; a ellos se les aplicaron rotaciones de 360 grados con variación de un grado y cambios de escala de 80 % a 120 % con incrementos de 0.5 %. Como segundo caso, se tomaron imágenes de 9 diferentes formas de hojas de plantas, con variaciones en rotación y escala similares al caso anterior. Para cada imagen se realizaron diferentes transformaciones matemáticas que permitieron obtener dos firmas vectoriales; para encontrar el grado de semejanza entre las imágenes, se compararon sus firmas vectoriales mediante la distancia euclidiana.

PALABRAS CLAVE: Reconocimiento de patrones, transformada de escala, firmas vectoriales, distancia euclidiana.

ABSTRACT. This paper presents the development and utilization of vectorial signatures obtained from the application of properties of the Scale and Fourier transform for images recognition. As a first case, we analyzed the digits of the decimal system; each digit is an image of black background with a centered white Arial number in size 144; the images were rotated 360 degrees in increments of one degree and scaled from 80% to 120% in increments of 0.5%. As a second case, we used images from nine different types of leaves of plants, with variations in rotation and scale similar to the previous case. Different mathematical transformations were performed for each image; that allowed to obtain two vectorial signatures. To find the degree of similarity between images, their vectorial signatures were compared using the Euclidean distance.

KEYWORDS: Pattern recognition, scale transform, vectorial signature, euclidean distance.

Introducción

En la naturaleza se presenta una gran diversidad de formas y tamaños, tanto en los organismos vivos como en objetos físicos y/o abstractos, lo que ha motivado el desarrollo de nuevos sistemas automatizados para realizar su identificación. Dichos sistemas se aplican tanto en la industria como en diferentes áreas del quehacer científico con el propósito de extraer la información que permita establecer propiedades de o entre conjuntos para su clasificación.

Desde la década de los setentas, la comunidad científica en el área de óptica ha utilizado los diferentes tipos de transformadas matemáticas para el reconocimiento de patrones en diversos procesos de ingeniería, computación, matemáticas, biología, etc., aprovechando las propiedades que estas presentan, por ejemplo: invariantes a rotación, posición y escala. En los últimos años, las transformadas han sido utilizadas como una herramienta para el procesamiento digital de señales e imágenes. Recientemente se han publicado varios libros [1-5] que nos muestran los avances y el desarrollo del reconocimiento de patrones.

Este trabajo se enfocó en desarrollar un nuevo algoritmo basado en firmas vectoriales como método para el reconocimiento de imágenes, considerando que el algoritmo es invariante a cambios de posición, escala y rotación.

¹ Facultad de Ciencias, Facultad de Ingeniería Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, C.P. 22870, Ensenada, B.C., México. - www.uabc.mx

² CICESE, División de Física Aplicada, Departamento de Óptica, Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, C.P. 22860, Ensenada, B.C., México. - www.cicese.mx

Metodología

Para la realización de este trabajo se utilizó un sistema digital basado en el uso de firmas vectoriales invariantes a rotación, escala y posición, haciendo uso de las propiedades de la transformada de Escala desarrollada por Cohen [6], quien encontró que ésta es una restricción de la transformada de Mellin [7], cuya propiedad principal es ser invariante a escala.

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo con la metodología utilizada para la realización de este trabajo: en el primer paso, se selecciona la imagen que se desea utilizar como referencia (I_i) a la que se denota con $f(x, y)$; después se le aplica la transformada de Fourier y se obtiene su módulo $|F(w_x, w_y)|$. A éste se le aplica un filtro parabólico; de esta manera, se atenúan las bajas frecuencias y las altas se realzan en proporción a $(w_x)^2, (w_y)^2$ [8], donde w es la frecuencia angular. Como paso 4, se multiplica por el factor QUOTE \sqrt{r} , para obtener la transformada de Escala vía la transformada de Fourier, donde r es la frecuencia espacial radial, indispensable para diferenciar la transformada de Escala de la transformada de Mellin.

Después de lo anterior, se convierte el resultado a coordenadas logarítmicas polares, para obtener invariancia a rotación. De esta imagen se selecciona una subimagen denotada por $M(\lambda, \theta)$, la cual es la zona que contiene la mayor parte de la información de referencia. En este paso, se realiza una interpolación bilineal para regresar la imagen a su tamaño original. Con esto se evita el efecto de aliasing debido al cambio de coordenadas.

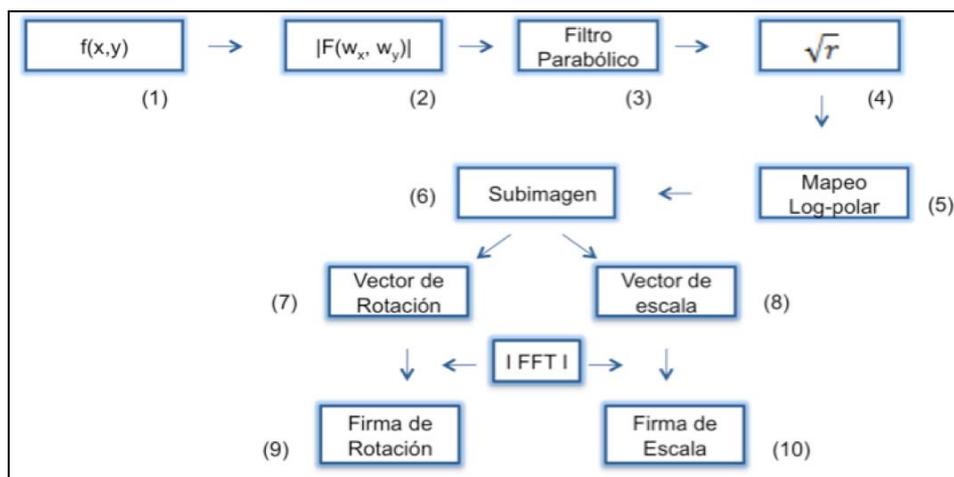


Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento utilizado

De la subimagen se obtienen dos vectores unidimensionales al hacer la proyección de $M(\lambda, \theta)$ en los ejes de coordenadas [9];

$$M_{\theta}(t) = \sum_{\lambda} M(\lambda, t), \quad \text{vector de rotación} \quad (1)$$

$$M_{\lambda}(s) = \sum_{\theta} M(s, \theta), \quad \text{vector de escala} \quad (2)$$

Se calcula el módulo de la transformada de Fourier de los vectores obtenidos en los pasos 7 y 8, lo que permite definir las firmas vectoriales de rotación y escala (pasos 9 y 10) mediante las ecuaciones:

$$V_1(w_t) = |F[M_\theta(t)]|, \quad \text{Firma de rotación} \quad (3)$$

$$V_2(w_s) = |F[M_\lambda(s)]|, \quad \text{Firma de escala} \quad (4)$$

Para evaluar este algoritmo, se selecciona una imagen de prueba (I^i) y una imagen problema (I^j), la cual puede estar rotada o escalada, a las que se les aplica el procedimiento descrito anteriormente. Una vez obtenidas sus firmas, para determinar la similitud entre las dos imágenes en la base de datos, se calcula la distancia Euclidiana (d_E) entre ellas.

$$d_E = d(i, j) = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\sum (V_1^i(w_t) - V_1^j(w_t))^2} + \sqrt{\sum (V_2^i(w_s) - V_2^j(w_s))^2} \right) \quad (5)$$

De esta manera, todas las imágenes j de la base de datos pueden ser comparadas con cualquier imagen i que se desee reconocer.

Las imágenes analizadas (figura 2) son de tamaño de 256 X 256 pixeles y tienen el contraste invertido. El primer caso de estudio fue el análisis de los diferentes números que forman el sistema decimal, los cuales son imágenes fáciles de reconocer a simple vista; después se examinaron algunas de las formas que presentan las hojas de las plantas, generalmente aplanadas.

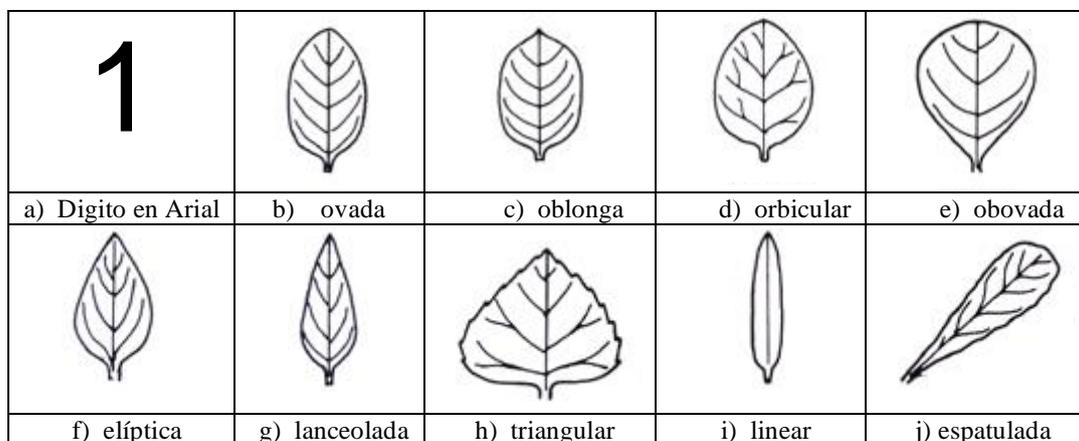


Figura 2. Patrones utilizados, a) ejemplo de dígito b-j) formas de las hojas

Resultados

a) Análisis de números.

En primer término, se seleccionó la imagen del número 1 para utilizarla como referencia. Se realizó la simulación numérica para determinar la d_E y evaluar la capacidad del sistema para distinguirla al compararla con todos los dígitos del sistema decimal (0 – 9), rotados cada uno 360 grados. Como se puede observar en la **figura 3**, el resultado muestra una separación muy clara entre los valores de la distancia de la imagen del 1 con el resto de los números, lo que nos permite poder identificarla. Es importante hacer el análisis estadístico de todos los datos para determinar su nivel de confiabilidad. En las **figuras 4** y **5** se observan respectivamente los valores promedios de la distancia de cada número, así como las barras de error a una y dos veces el error estándar (SE) para el caso de cambios en el ángulo de rotación con variación de un grado y de escala de 80 a 120%, con cambios de 0.5%.

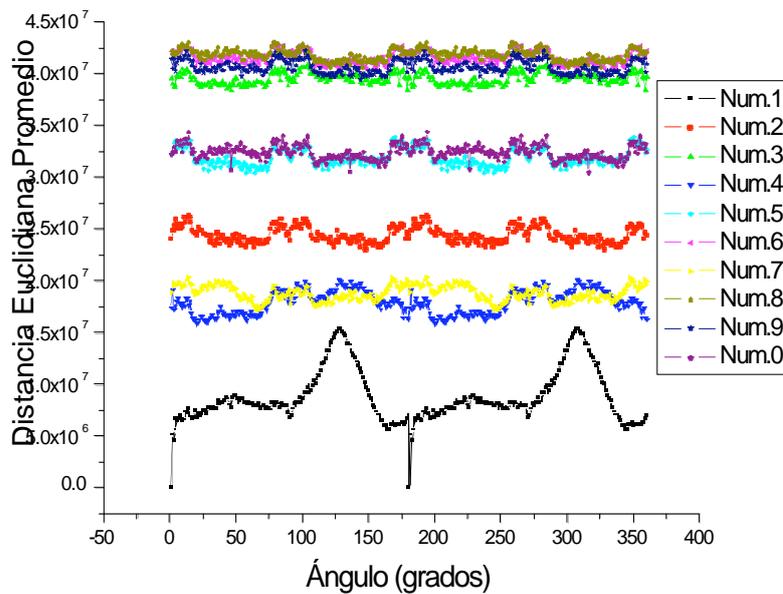


Figura 3. Cambios en la distancia vs. ángulo de rotación

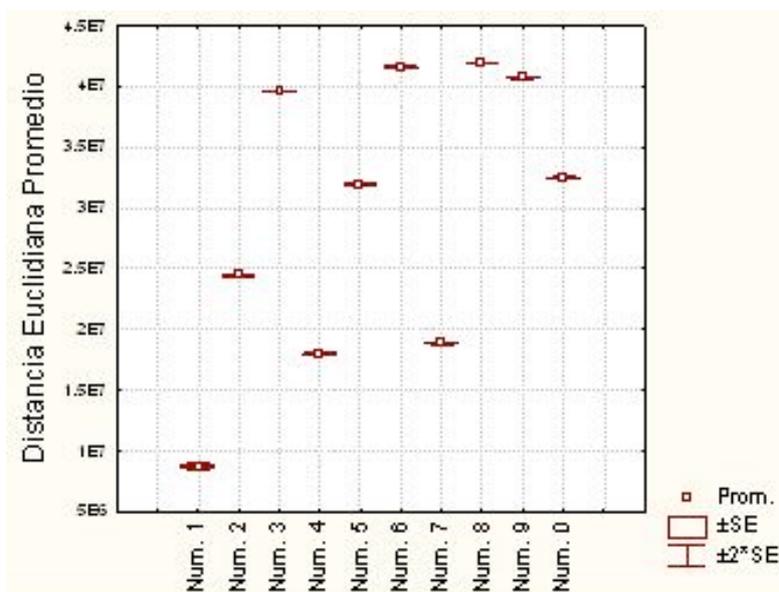


Figura 4. Comportamiento estadístico de la distancia para rotación

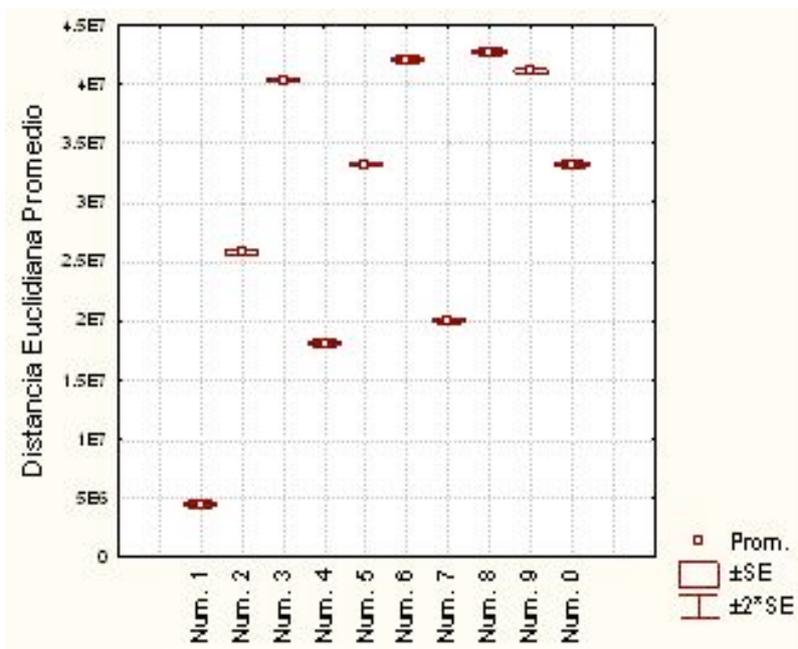


Figura 5. Comportamiento estadístico de la distancia para cambios de escala de 80% a 120%

b) Análisis de formas de hoja.

En segundo término se analizaron las imágenes de nueve diferentes formas de hojas de planta, tomando la forma ovada (Forma 1), como referencia. En la figura 6 se muestra el comportamiento de la d_E para las imágenes rotadas con variación de un grado; aquí se aprecia que existe una separación del resto de las hojas, lo que permite identificarla sin dificultad, independientemente de cualquier cambio en la rotación de la imagen. Para el caso de cambios de escala, de igual forma que con los números, se analizaron variaciones del 80% hasta 120% con cambios de 0.5 % (los resultados se muestran en figura 7); considerando de nuevo la Forma 1 como referencia, puede observarse la separación de la d_E de la imagen de referencia con respecto al resto.

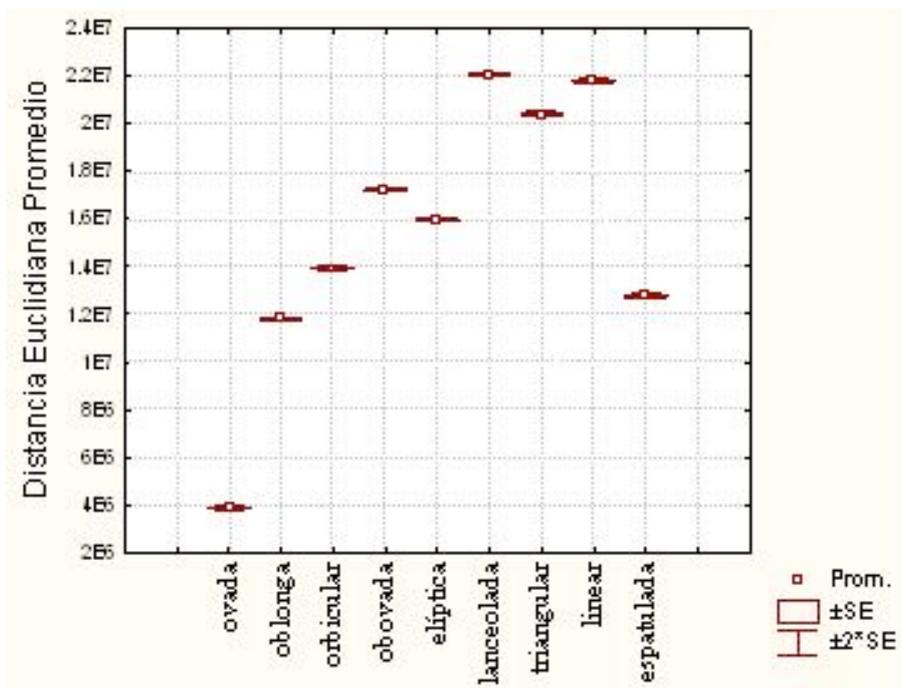


Figura 6. Comportamiento estadístico de la d_E para rotación

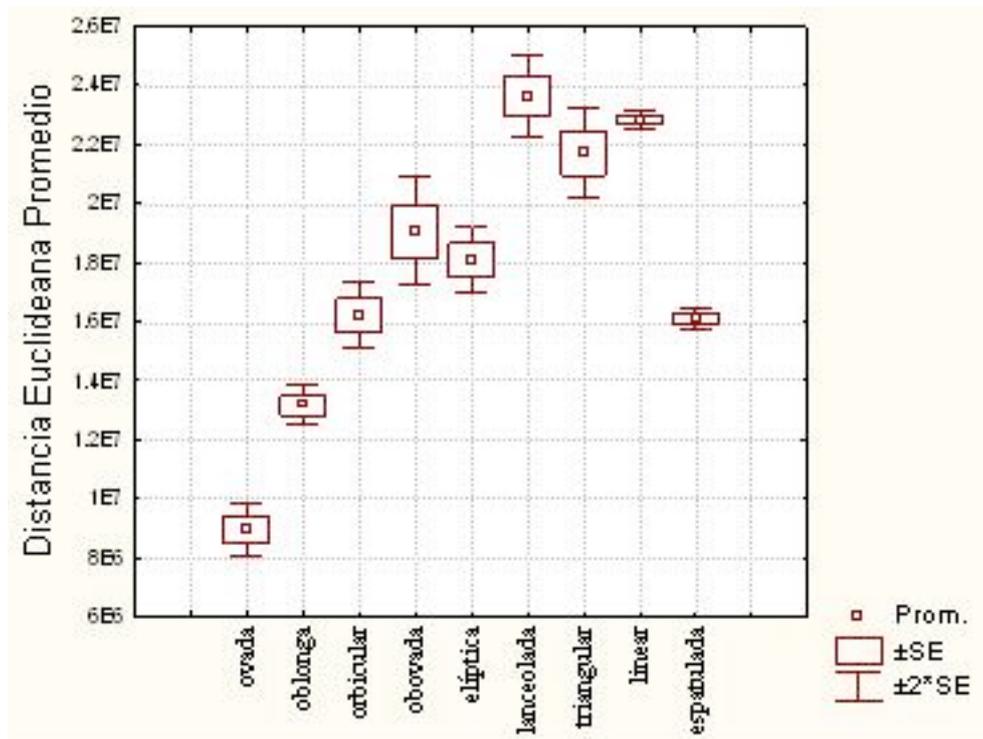


Figura 7. Comportamiento estadístico de la d_E para cambios de escala de 80% al 20%

c) Comparación con otros algoritmos.

Para evaluar el desempeño del algoritmo, se realiza una comparación de éste con respecto al publicado por Álvarez [10], resultando ambos similares tanto en su uso para el reconocimiento de patrones, como en la metodología basada en las propiedades de la transformada de Fourier; sin embargo, la comparación de patrones del segundo es mediante la correlación.

Si se comparan los valores obtenidos por los algoritmos bajo estudio aplicados a los mismos conjuntos de imágenes, se observa que en este último no es posible distinguir la imagen seleccionada como referencia, con respecto a las otras. En cuanto al coste computacional, el tiempo de procesamiento de nuestro procedimiento es aproximadamente 20 % menor.

Conclusiones

Este trabajo presenta un nuevo algoritmo para el reconocimiento de patrones mediante la utilización de firmas vectoriales, basado en la relación entre las transformadas de Escala y Fourier, el cual ha sido desarrollado para ser práctico y preciso. De la realización de diversas pruebas numéricas con los dígitos del sistema decimal en las que se hicieron variaciones en la escala y rotación, los resultados obtenidos de la comparación de las distancias euclidianas demuestran que es posible identificarlos y discriminarlos con un alto nivel de confianza (95.5% a dos errores estándar). En virtud de estos resultados, se aplicó el algoritmo en la identificación de formas de hojas, encontrando que se puede discriminar la forma que se elija como referencia al compararlo con el resto de las formas de las hojas para cualquier rotación o en cambios de escala de $\pm 20\%$.

Agradecimientos: Este documento fue parcialmente financiado por Conacyt con número de proyecto 102007.

Referencias

1. Pratt, W. K., (2007). *Digital image processing*, chapters 6-19, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.
2. Gonzalez, R. and Woods, R., (2008). *Digital Image Processing*, chapters 9-12, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle, NJ.
3. Gonzalez, Rafael C., Woods, Richard E. and Eddins, Steven L., (2004). *Digital Image Processing Using MATLAB*, Pearson Prentice Hall, chapters 9-12, Upper Saddle, NJ.
4. Cheriet, M., Khanna, N., Liu, Ch. and Suen, Ch., (2007). *Character recognition systems: a guide for students and practitioners*, chapters 6-19, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.
5. Obinata, G. and Morris, G., (2007). *Vision systems, segmentation and pattern recognition*, I-Tech Education and Publishing.
6. Cohen, L., (1993). The scale representation, *IEEE Trans. on signal processing* **41**, 3275-3291
7. Casasent, D. and Psaltis, D., (1976). Position, rotation, and scale invariant optical correlation, *Appl. Opt.* **15**, 1795-1799
8. Pech-Pacheco, J., Álvarez-Borrego, J., Cristóbal, G. and J., Keil, M., (2003). Automatic object identification irrespective of geometric changes, *Optical Engineering* **42**, 551- 559
9. Lerma A., Jesús R., Álvarez-Borrego, Josué, González-Fraga, J. ç. (2008). "Invariant recognition to position, rotation, and scale considering vectorial signatures" in *Applications of Digital Image Processing XXXI*, Proceedings of SPIE **7073** 707329-1 - 707329-10
10. Álvarez-Borrego Josué and Ernestina Castro Longoria, (2003). Discrimination between Acartia (Copepoda: Calanoida) species using their diffraction pattern in a position, rotation invariant digital correlation. *J.f Plankton Research*, **25** (2): 229-233.