

# SISTEMA DIGITAL INVARIANTE A POSICIÓN Y ROTACIÓN PARA EL RECONOCIMIENTO DE OBJETOS EN IMÁGENES MEDIANTE PERFILES DE INTENSIDAD\*

DIGITAL SYSTEM INVARIANT TO POSITION AND ROTATION TO OBJECT RECOGNITION IN IMAGES BY INTENSITY PROFILES\*

S. SOLORZA<sup>a†</sup> AND J. ÁLVAREZ-BORREGO<sup>b</sup>

a) Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, México; selene.solorza@gmail.com<sup>†</sup>

b) Depto. de Óptica, Div. Física Aplicada, CICESE, México. josue@cicese.mx

<sup>†</sup> autor para la correspondencia

(Recibido 13/4/2012; Aceptado 26/4/2013)

Se presenta un sistema digital invariante a traslación y rotación para la identificación de imágenes de diatomeas, que es sencillo y eficiente. El sistema utiliza el módulo de la transformada de Fourier de la imagen, perfiles de intensidad y la correlación estándar entre los perfiles de intensidad de la imagen de referencia y los de la imagen problema (imagen a identificar). Al probar el sistema con un conjunto de ocho imágenes en escala de grises de diatomeas similares entre sí, el nivel de confianza del sistema es de al menos 95.4%.

A simple and efficient translational and rotational invariant digital system to classify diatoms image is presented. The system uses the modulus of the Fourier transform, intensity profiles and the standard correlation between the intensity profiles of the target and the image problem (image to identify). The system was analyzed using a set of eight similar images in gray-scale of diatoms; the confidence level of the system is at least 100%.

**PACS:** Image processing algorithms, 07.05.Pj; Computational techniques mathematics, 02.70.-c; Computer science and technology, 89.20.Ff; Computers laboratory use, 01.50.Lc.

## INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la vida, los hombres se han dedicado al reconocimiento de objetos, ya sea por necesidad o sólo por la curiosidad de clasificar los objetos de su alrededor. Hoy en día con casi todos los procesos de producción automatizados y el rápido avance de la tecnología, la exigencia en la mejora de los sistemas de reconocimiento de patrones es cada vez mayor [1].

Los sistemas digitales invariantes a posición y rotación son una herramienta muy útil para identificar micro y macro estructuras en imágenes digitales. Tales sistemas se han utilizado ampliamente en las áreas de las ciencias naturales [2,3].

El sistema digital que se presenta clasifica imágenes de diatomeas independientemente de la traslación y el ángulo en que se presenten. Las diatomeas son una de las fuentes básicas para la formación de materia orgánica en el océano y participan activamente en la sedimentación. La presencia de diatomeas en paleoambientes marinos ha sido usada para el estudio de cambios climáticos y de procesos geomorfológicos [4,5]. La identificación de fósiles de diatomeas requiere el análisis generalmente de entre 400 a  $10^7$  estructuras por gramo.

\* Artículos presentados en el VII Taller internacional TECNOLÁSER y III Reunión de Óptica, Vida y Patrimonio (La Habana, abril de 2012)

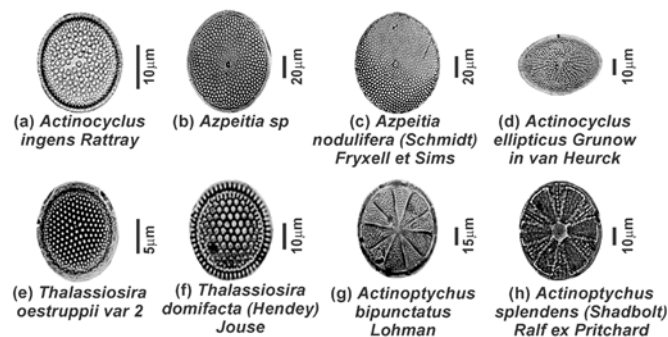


Figura 1. Diatomeas.

## PERFIL DE INTENSIDAD

Sea  $\beta = \{I_a, I_b, I_c, \dots, I_k, \dots, I_m\}$  el conjunto de imágenes de referencia de la Figura 1, donde  $I_k$  indica la imagen  $k$ -ésima de la Figura 1,  $k = a, b, \dots, m$ . Dichas imágenes están en escala de grises y son de tamaño  $n \times n$ , con  $n = 256$ . Para obtener la invariancia a traslación utilizamos el espectro de amplitud de Fourier de la imagen, entonces la imagen a utilizar en el sistema es  $G_k(x, y) = |FT(I_k(x, y))|$ ,  $x, y \in \{1, 2, \dots, n\}$ .

Sea el pixel  $(c, c)$  el centro de la imagen, al hacer corresponder el origen del plano cartesiano con  $(c, c)$  calculamos cuatro rectas

o perfiles  $P^\theta(q+129) = \{G_k(q \cos \theta, q \sin \theta) : -128 \leq q \leq 128\}$ , que pasan por el origen, el superíndice  $\theta$  indica el ángulo que forma la recta  $P^\theta$  con el eje horizontal,  $\theta = 0, 45, 90, 135$ .

Para que que todos los perfiles tengan la misma longitud  $n$ , a la imagen  $G_k$  la filtramos con la siguiente máscara binaria de tamaño  $n \times n$ ,

$$D(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{si } d((c, c), (x, y)) \leq n, \\ 0, & \text{en otro caso,} \end{cases} \quad (1)$$

donde  $d(p, q)$  es la distancia euclidiana entre dos puntos. Así que, el espectro con el que trabajamos es

$$H_k = G_k * D, \quad (2)$$

donde la operación representada por "\*" es una multiplicación punto a punto. En la Figura 2 se muestra  $H_a$  correspondiente a  $I_a$  y sus cuatro perfiles asociados se indican en línea continua ( $P_a^0$ ), en discontinua ( $P_a^{45}$ ), en punteada ( $P_a^{90}$ ) y en guión-punto ( $P_a^{135}$ ).

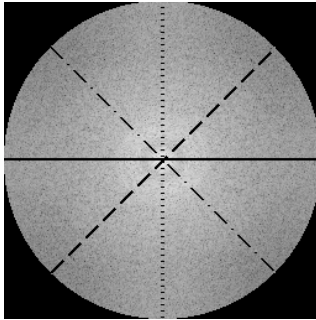


Figura 2.  $H_a$  de  $I_a$  y sus perfiles asociados. Por propósitos de visualización se muestra el logaritmo de la imagen.

## SISTEMA DIGITAL INVARIANTE A TRASLACIÓN Y ROTACIÓN

Sea  $\gamma = \{IP_\alpha^j : j = a, b, \dots, m; \alpha = 0, 1, 2, \dots, 359\}$  el conjunto de imágenes a reconocer o imágenes problema (IP). El superíndice indica la imagen tomada de la Figura 1 y el subíndice el ángulo al que se rotó dicha imagen. Entonces, el conjunto  $\gamma$  contiene 2,880 elementos a clasificar.

Vamos a definir a lo que llamaremos la firma escalar de la imagen de referencia  $I_k$  del conjunto. Primeramente, a dicha imagen le asociamos sus cuatro perfiles ( $P_a^0$ ), ( $P_a^{45}$ ), ( $P_a^{90}$ ) y ( $P_a^{135}$ ) (como se vio en la sección anterior). Calculamos la autocorrelación clásica para cada uno de esos perfiles de intensidades, esto es

$$C(P_k^\theta, P_k^\theta) = \sum_{j=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} P_k^\theta(j) P_k^\theta(\tau+j), \quad (3)$$

donde  $\tau \in \mathbb{Z}$ . Enseguida obtenemos  $\zeta_k^\theta = \max(C(P_k^\theta, P_k^\theta))$ , para finalmente, caracterizar a la imagen  $I_k$  por medio de su firma escalar

$$s_k = \sum_{\theta} \zeta_k^\theta / 4. \quad (4)$$

Para determinar si una imagen problema  $IP_j^\alpha$  es igual a una

de las imágenes de referencia, primeramente obtenemos su espectro de amplitud (ec. 2) y lo llamamos  $H_\alpha^{j,0}$ . A esa imagen le asociaremos sus perfiles, etiquetados como  $T_j^{\alpha,0}$ . Posteriormente, mediante la ec. 3 calculamos  $C(P_k^\theta, T_\alpha^{j,0})$ , para luego obtener  $\xi_{j,\alpha}^{0,\theta} = \max(C(P_k^\theta, T_\alpha^{j,0}))$ . Por último, se determina a lo que nosotros hemos definido como la firma escalar  $s_\alpha^{j,0}$  de  $H_\alpha^{j,0}$ ,

$$s_\alpha^{j,0} = \sum_{\theta} \xi_{j,\alpha}^{0,\theta} / 4. \quad (5)$$

Supongamos que la imagen  $IP_j^\alpha$  no está rotada y es igual a  $I_k$ , entonces  $H_k$  y  $H_\alpha^{j,0}$  son iguales por lo que  $s_k = s_\alpha^{j,0}$ . Pero si  $IP_j^\alpha$  es una rotación de  $I_k$  entonces  $s_k$  diferirá de  $s_\alpha^{j,0}$ . Para lograr la invariancia a rotación, la imagen  $H_\alpha^{j,0}$  la rotamos solamente 180 grados por la simetría sobre el eje vertical, de grado en grado, para obtener 180 imágenes  $H_\alpha^{j,\phi}$ , donde  $\phi$  representa el ángulo al que fue rotada. A cada una de esas  $H_\alpha^{j,\phi}$  le asignamos su correspondiente firma escalar  $s_\alpha^{j,\phi}$  (ec. 5). De esas firmas la que será igual o similar a  $s_k$  es la que provenga del  $\phi$  que haga que  $H_\alpha^{j,\phi}$  coincida con  $H_k$ , esto es:

$$s_\alpha^j = \max_{0 \leq \phi \leq 359} \{s_\alpha^{j,\phi}\}, \quad (6)$$

entonces,  $s_\alpha^j$  es la firma escalar de la imagen  $IP_j^\alpha$ . Para llevar a cabo la identificación, si el valor de la firma escalar de la imagen problema (ec. 6) coincide con el valor de la firma escalar de la imagen de referencia (ec. 4), entonces la imagen problema está contenida en la imagen de referencia, caso contrario es una imagen diferente.

## RESULTADOS

Cada una de las imágenes de la Figura 1 fueron usadas como imágenes de referencia para clasificar las IP del conjunto  $\gamma$ . Al realizar el análisis estadístico usando diagramas de cajas con  $\pm 2E$  (errores estándar) y analizando el comportamiento de valores extremos obtuvimos que el sistema digital tiene un nivel de confianza de al menos 95.4%.

## CONCLUSIONES

Presentamos un sistema digital sencillo de implementar y eficiente en la clasificación de imágenes de diatomeas.

El trabajo fue parcialmente apoyado por los proyectos CONACyT No. 102007 y 169174.

- [1] R. C. Gonzalez, y R. E. Woods, *Digital image processing*, 2da Ed. (Prentice Hall, 2002), pp. 15-45.
- [2] J. Álvarez-Borrego, y M. C. Chávez-Sánchez, *Introducción a la identificación automática de organismos y estructuras microscópicas y macroscópicas* (Ediciones de la Noche, 2008).
- [3] S. Solorza, y Álvarez-Borrego, *Opt. Commun.* **283**, 19 (2010).
- [4] M. Hajós, *DSPP*, **5**, 35 (1976).
- [5] I. Koizumi y Y. Tanimura, *Initial Report DSDP*, 86 (1985).