

# SISTEMA DE CORRELACIÓN DIGITAL INVARIANTE A ROTACIÓN APLICADO A LA IDENTIFICACIÓN DE MODELOS DE AUTOMÓVILES

## SYSTEM OF DIGITAL INVARIANT CORRELATION TO ROTATION APPLIED TO IDENTIFY CAR MODELS

Selene Solorza C.<sup>1</sup>, Josué Álvarez-Borrego.<sup>2</sup>  
[selene.solorza@gmail.com](mailto:selene.solorza@gmail.com) / [josue@cicese.mx](mailto:josue@cicese.mx)

Recibido: marzo 4, 2009 / Aceptado: octubre 28, 2009 / Publicado: noviembre 20, 2009

**RESUMEN.** En este artículo se presenta un sistema de correlación invariante a posición y a rotación, aplicado a la identificación de imágenes de contornos de automóviles; sin importar la rotación sobre el eje vertical de la imagen. Este sistema se probó con 18 diferentes modelos de automóviles. Para obtener la invariancia a posición y a rotación, la firma de la imagen del automóvil se construye en el dominio de Fourier utilizando una máscara binaria de anillos concéntricos (MBAC). Para obtener el filtro promedio, se rota la imagen objetivo sobre su eje vertical de cero a 360 grados, de grado en grado (generando 360 imágenes); posteriormente se obtienen sus respectivas transformadas de Fourier (TF). Al módulo de cada una de las TF se les aplica la MBAC, y al sumar la intensidad de los valores en cada anillo se genera la firma para cada una de las imágenes rotadas. Estas firmas se promedian para construir el filtro promedio. Para la identificación respectiva del objeto a reconocer, cada una de las firmas de los 18 modelos de automóviles se correlaciona con el filtro promedio. El grado de confiabilidad obtenido es mayor al 95.4%. Por lo que el sistema de correlación invariante a rotación trabaja eficientemente en la discriminación entre objetos.

**PALABRAS CLAVE:** Máscara de anillos, firma unidimensional, contorno de automóviles, imágenes en blanco y negro.

**ABSTRACT.** In this paper, a correlated system invariant to position and rotation is applied to identify images with automobile's contour, is presented; does not matter the image rotation over its vertical axes of the image. This method was tested with 18 different automobile models. To achieve the position and rotation invariance, the signature of the automobile image is built in the Fourier domain by using a binary mask of concentric rings (BMCR). To obtain the average signature filter, the target image is rotated over its vertical axes from zero to 360 degrees, one degree by one degree (generating 360 images); then the corresponding Fourier transforms (FT) are calculated. The BMCR is applied at each FT modulus, next the absolute value of the FT for each ring is summed to make the signature of the rotated images. The average of the signatures for each of those 360 images is obtained to making the average signature filter for the given target. To discriminate between images, the signatures for the 18 automobile models and their corresponding rotated images was correlated with the average signature filter. The confidence level for the system is greater than 95.4%. Therefore, the invariant to rotation correlation system works efficiently on the discrimination between objects.

**KEYWORDS:** Ring mask, one-dimensional signature, automobile's contour, black and with images.

## Introducción

El reconocimiento de patrones basado en correlaciones ha sido objeto de interés por muchos años. En las tres últimas décadas, se han estudiado exhaustivamente los sistemas de correlación invariantes a desplazamiento, rotación y escalamiento. En particular, los sistemas digitales de correlación invariantes a posición y a rotación han sido usados en algunos problemas en los que la escala no es importante [1-4].

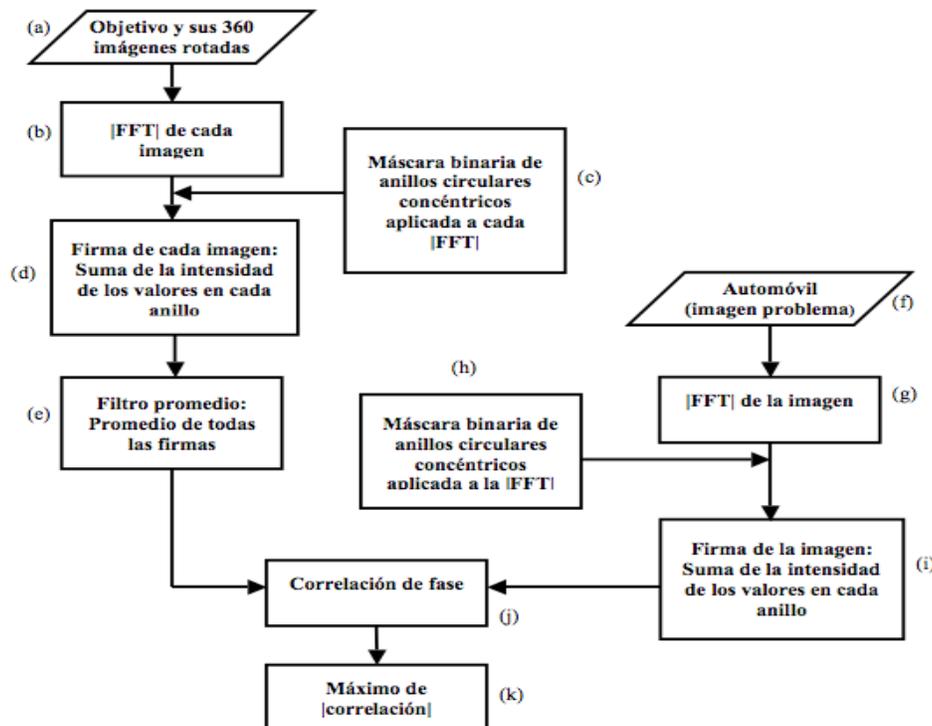
<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, 22860, Baja California, México -[webfc.ens.uabc.mx](http://webfc.ens.uabc.mx)

<sup>2</sup> División de Física Aplicada, Departamento de Óptica, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Km. 107 Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Fraccionamiento Zona Playitas, Ensenada, 22860, Baja California, México -[www.cicese.mx](http://www.cicese.mx)

El método de detectores con anillos [5] similar al detector anular de orilla [6] es un sistema de correlación invariante óptico, el cual se ha utilizado para identificar dos caracteres alfabéticos. Basado en el método de detectores con anillos [5], pero con algunas variantes [7], el propósito de este trabajo es identificar contornos de modelos de automóviles, sin importar la posición o ángulo de rotación que estos presenten en una imagen. Para llevar a cabo la invariancia a traslación se utiliza el módulo de la transformada de Fourier de las imágenes y una máscara binaria de anillos concéntricos para obtener la invariancia a rotación, y para la identificación entre los objetos se emplea firmas unidimensionales de las imágenes.

## Método de correlación invariante a rotación

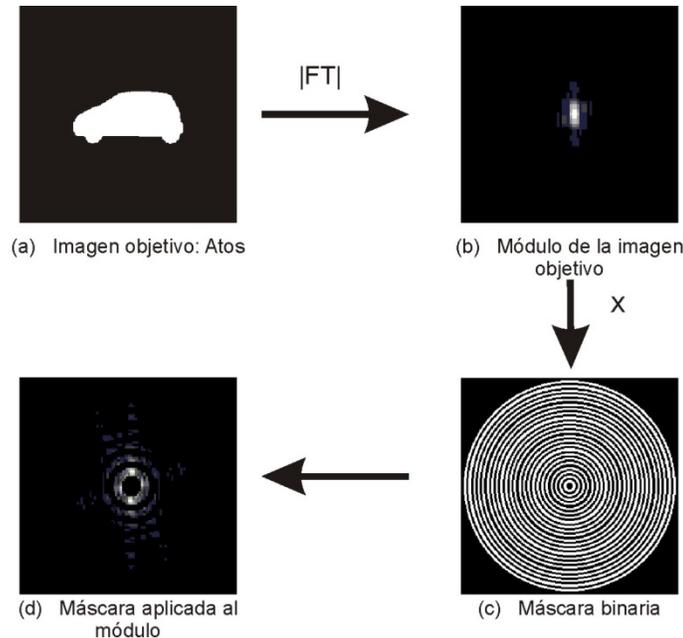
En la figura 1 se presenta el diagrama de flujo que muestra los diferentes pasos involucrados en el sistema de correlación invariante a posición y a rotación.



**Figura 1.** Diagrama de flujo del sistema de correlación invariante a posición y a rotación.

Primeramente, se necesita construir el filtro promedio que se usará en el sistema (figura 1e). Para esto, se selecciona un objeto, por ejemplo la imagen en contorno del automóvil modelo Atos (figura 2a). Dicha imagen se rota 360 grados, de grado en grado, y las 360 imágenes generadas se introducen en el sistema (figura 1a). Para cada una de esas imágenes se calcula el módulo de la transformada de Fourier (figura 1b), esto es el |FT|. A cada módulo obtenido de la imagen en el dominio de Fourier se le multiplica, punto a punto, una máscara binaria de anillos concéntricos (figura 1c). De esta manera se obtiene una firma

unidimensional (figura 1d) de cada imagen al sumar los valores de la intensidad encontrados en cada uno de los anillos (cuyo valor inicial era de unos). Una visualización de la máscara binaria de 301 por 301 píxeles de la figura 2c aplicada al módulo de Fourier (de la figura 2b) de la imagen objetivo en la figura 2a se muestra en la figura 2d. La figura 3 muestra una gráfica de la firma (en línea discontinua negra) obtenida siguiendo los pasos mencionados anteriormente (figura 1a a 1d) para la imagen objetivo de la figura 2a.



**Figura 2.** Visualización del procedimiento donde se aplica la máscara binaria de anillos concéntricos al módulo de la imagen objetivo.

Para construir la máscara binaria (figura 2c) se usa la razón de la función Bessel de primer tipo y primer orden entre su argumento,

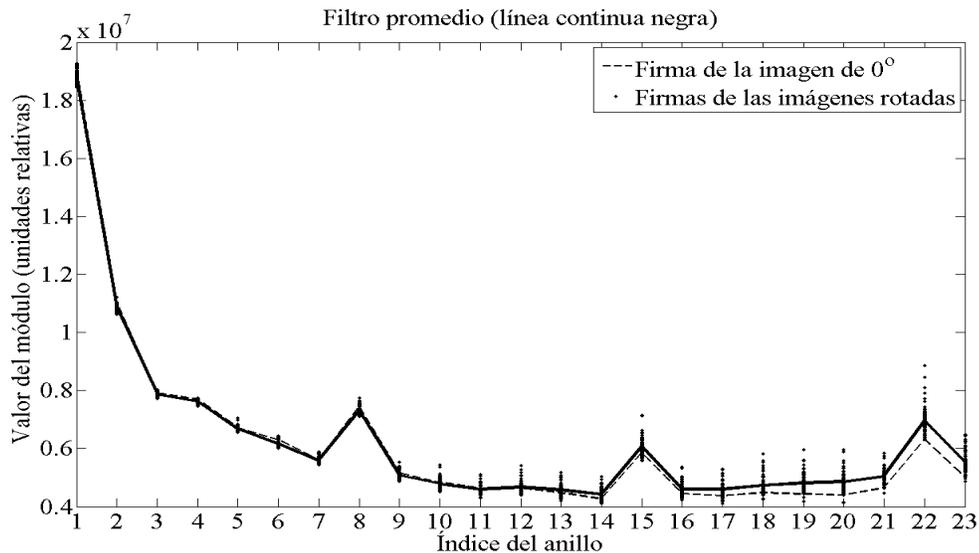
$$f(x) = \frac{J_1(x-151)}{x-151}, \quad 1 \leq x \leq 301. \tag{1}$$

Posteriormente, la función  $f$  es mapeada en un plano bi-dimensional mediante la función

$$Z(x) = \begin{cases} 1, & f(x) \leq 0 \\ 0, & f(x) > 0 \end{cases} \tag{2}$$

Luego, se rota la gráfica de  $Z(x)$  ciento ochenta grados, generando de esta manera la máscara de anillos concéntricos. Entonces, el centro de la máscara tiene el valor de cero y cada anillo el valor de uno. El espesor de cada anillo es, en general, de tres píxeles. En el caso de la figura 2c, la máscara consta de 23 anillos ya que las imágenes que se estudian en este trabajo son de 301 por 301 píxeles.

En la [figura 1e](#) se aplica el filtro promedio, construido a partir del promedio de todas las firmas de las imágenes rotadas ([figura 3](#)). Para discriminar entre diferentes objetos (imágenes problema), se obtienen las respectivas firmas de las correspondientes imágenes a  $\theta$  grados de rotación ([figura 1f a 1i](#)) y cada una de esas firmas es correlacionada con el filtro promedio. El reconocimiento se lleva a cabo mediante la correlación de fase entre el filtro y la firma de la imagen ([figura 1j](#)). Si el valor máximo de la magnitud de la correlación de fase es significativo ([figura 1k](#)), entonces la imagen problema es la misma que el objeto a reconocer, con la cual se ha hecho el filtro promedio, en caso contrario son diferentes.



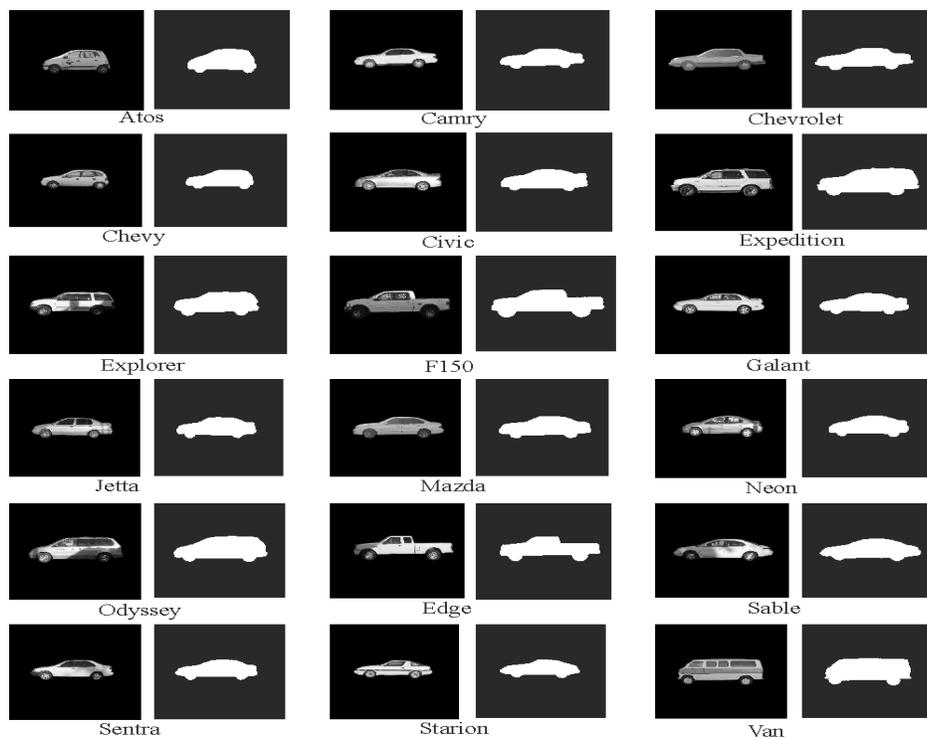
**Figura 3.** El filtro promedio para el automóvil modelo Atos de la [figura 2a](#), se muestra en línea continua negra. En puntos negros se muestran las firmas de las imágenes rotadas y en línea discontinua negra la firma de la imagen objetivo sin rotar.

## Identificación de modelos de automóviles

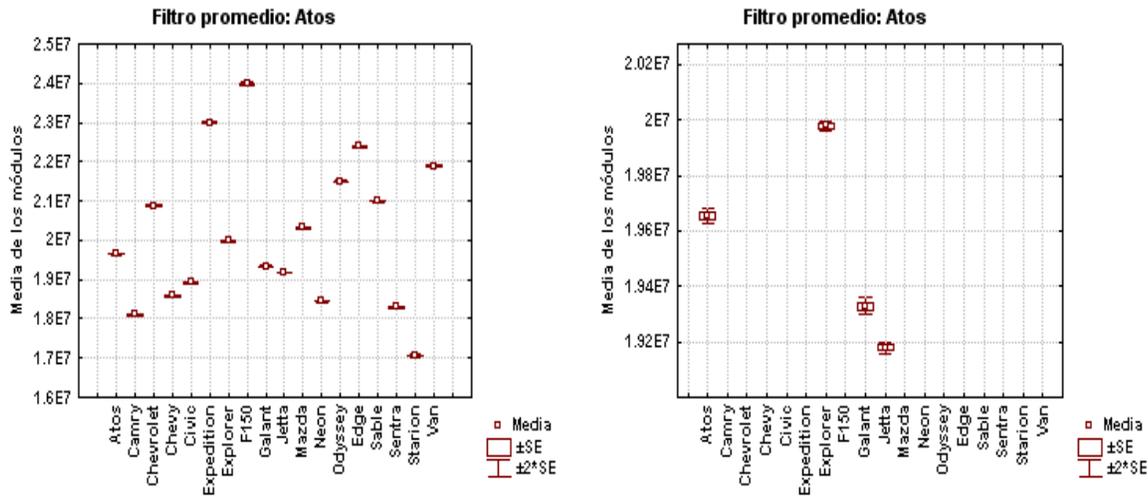
Se analizaron 18 modelos diferentes de automóviles ([figura 4](#)). Los resultados para el filtro promedio del automóvil modelo Atos se muestran en la [figura 5](#). El eje horizontal representa los distintos modelos de automóviles usados en este estudio. El eje vertical representa el valor medio de la correlación de fase en unidades relativas. La media de los máximos de los módulos de la correlación de fase se presentan mediante las cajas pequeñas, la caja mayor representa un error estándar y los bigotes representan dos errores estándares. El filtro promedio con la información sobre la imagen objetivo fue correlacionado con cada una de las firmas de todos los automóviles, y sus correspondientes 360 imágenes rotadas. El valor medio de los máximos de las correlaciones para el Atos es de  $1.9652 \times 10^7$ , con un error estándar de  $\pm 1.3 \times 10^4$  y dos errores estándar de  $2.8 \times 10^4$ . En dicha figura se observa que podemos identificar a 2 errores estándar con un grado de confiabilidad mayor al 95.4%; si la imagen problema contiene un Atos o es otro automóvil. Se probó el método usando cada uno de los modelos de automóviles de la [figura 4](#) como filtro promedio (resultados no presentados), concluyendo que es posible discriminar entre la diferencia o similitud de los objetos con un grado de confiabilidad mayor al 95.4% para cada uno de ellos.

Además, se realizó un análisis del funcionamiento del sistema de correlación invariante a posición y rotación presentado en [4] con las imágenes de la figura 4. Se obtuvo, por citar solo algunos ejemplos, que el filtro promedio para el Atos no discrimina al Camry y que presenta un grado de confiabilidad solamente mayor al 68.3% y que en el caso de que el filtro promedio sea el Camry, éste se confunde con imágenes del Sentra y nuevamente su grado de confiabilidad es solamente mayor al 68.3%.

Cabe remarcar que además del excelente funcionamiento del sistema aquí presentado, el tiempo de cómputo para realizar el análisis de los 18 filtros con las 6480 imágenes fue de 2 horas 56 minutos y 58 segundos, mientras que el sistema en [4] lo lleva a cabo en 79 horas 42 minutos y 12 segundos. Ambos algoritmos fueron programados en Matlab versión 7.1 en una MacBook Pro3, 1 con un procesador de 2.4 GHz Intel Core 2 Duo, memoria de 2 GB 667 MHz DDR2 SDRAM, L2 Cache de 4 MB y Bus Speed de 800 MHz.



**Figura 4.** Modelos de automóviles usados para probar el sistema de correlación.



**Figura 5.** (a) Resultado de las medias de los máximos de la magnitud de la correlación de fase para los 18 diferentes modelos de automóviles usando el filtro promedio del automóvil modelo Atos. (b) Amplificación de la sección de la media promedio de la correlación para el automóvil Atos.

## Conclusiones y perspectivas

Se ha construido un sistema invariante a posición y a rotación sencillo pero eficiente en el reconocimiento de patrones. El sistema se probó en la identificación de modelos de automóviles usando imágenes de contorno de 301 por 301 píxeles en blanco y negro, logrando un grado de confiabilidad mayor al 95.4% en la discriminación entre los objetos.

Esta metodología puede usarse como un esquema de clasificación general. Una aplicación relevante de este trabajo sería el poder identificar partículas biogénicas presentes en aguas oceánicas.

## Agradecimientos:

Este trabajo fue parcialmente apoyado por CONACyT con el proyecto No. 102007.

## Referencias

1. Mersereau K., Morris G.M. (1986). Scale, rotation, and shift invariant image recognition. *Appl. Opt.* **25**:2338-2342.
2. Casasent D., Iyer A., Ravichandran G. (1991). Circular harmonic function, minimum average correlation energy filters. *Appl. Opt.* **30**:5169-5175.
3. Vijaya Kumar B.V.K., Ng T.K. (1996). Multiple circular-harmonic-function correlation filters providing specified response to in-plane rotation. *Appl. Opt.* **35**:1871-1878.
4. Álvarez-Borrego J., Castro-Longoria E. (2003). Discrimination between Acartia(Copepoda: Calanoida) species using their diffraction pattern in a position, rotation invariant digital correlation. *J. of Plank. Res.* **25**:229-233.
5. Fares A., Bouzid A., Hamdi M. (2000). Rotation invariance using diffraction pattern sampling in optical pattern recognition. *J. of Microwaves and Opt. Elect.* **2**:33-39.
6. Asselin D., Arsenault H.H., Prévost D. (1994). Optical circular sampling system for translation and rotation invariant pattern recognition. *Opt. Commun.* **110**:507-513.
7. Solorza S., Álvarez-Borrego J., Kober V. (2008). System of invariant correlation to rotation using a ring mask. *Proceedings of SPIE* (Applications of Digital Image Processing XXXI, San Diego, CA, August 2008).