

# **Uso de Armónicos Circulares en el Cálculo de un Filtro Discriminante Sintético Invariante a la Rotación -FDSIR-**

Rueda Parada. J.E., Castro C. L. M., Guerra L. A.  
Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Física, Grupo de Investigación Óptica Moderna.  
Universidad de Pamplona.  
E-Mail: jruedap2003@unipamplona.edu.co

Recibido 29 Febrero 2007

Aceptado 30 Marzo 2007

## **ABSTRACT**

A system for recognition of people was implemented using the image of the face and a SDFIR. The invariant filter was obtained calculating the lineal combination of the decomposition in circular harmonics of the Fourier density spectral for the image reference. In this paper the design of the implemented system and the validation of the results is presented.

## **KEY WORDS**

Pattern recognition, Circular Harmonics, Synthetic Discriminate Filter

## **RESUMEN**

Se implementó un sistema de reconocimiento de personas usando la imagen del rostro y un FDSIR. La invarianza del filtro se obtuvo calculando la combinación lineal de la descomposición en armónicos circulares de la densidad espectral de Fourier de las imágenes referencia. Presentamos el diseño del sistema implementado y los resultados de validación.

## **PALABRAS CLAVES**

Reconocimiento de Patrones, Armónicos circulares, Filtro Discriminante Sintético.

## INTRODUCCIÓN

Algunos problemas en los sistemas de reconocimiento de patrones basados en la propiedad de correlación de la transformada de Fourier, es la varianza en la respuesta del correlador causada por rotación, cambio de escala, cambio de contraste, ruido y/o camuflaje del objetivo (F. Yu, 1973; J. Goodman, 1968; A. Vander Lugt, 1964). En este sentido, el Filtro Discriminante Sintético (FDS) se propuso para solucionar, en parte, tales requerimientos (H.J. Caulfield and W.T. Maloney, 1969; C.F.Hester and D. Casasent, 1980; B.V.K. Vijaya Kumar, 1992).

H.J Caulfield, propuso el FDS como un método para mejorar las características del filtro adaptado (H.J. Caulfield, 1969), en tal propuesta, el filtro se obtiene por combinación lineal de diferentes filtros asociados a diferentes imágenes referencia que pertenecen a una determinada clase. Hester y Casasent proponen calcular la respuesta impulso del filtro como una combinación lineal de  $N$  trenes de imágenes en el espacio directo (C.F.Hester and D. Casasent, 1980; B.V.K. Vijaya Kumar, 1992), de tal forma que la respuesta impulso del filtro está dada por la expresión (C.F.Hester and D. Casasent, 1980):

$$h(x,y) = a_1 s_1(x,y) + \dots + a_i s_i(x,y) + a_N s_N(x,y) \quad (1)$$

donde  $h(x,y)$  es una imagen referencia en el dominio espacial, y todos los coeficientes  $a_i$  deben ser tal que los valores de las correlaciones en el origen cumplan la siguiente condición,

$$c_i(x,y) = h(x,y) \otimes s_i(x,y) \Big|_{(x,y)=(0,0)} = cte \quad (2)$$

Sustituyendo la Ec.(1) en la Ec.(2) se obtiene,

$$c_i(0,0) = \sum_{i=1}^n a_i^* r_{ij}(0,0), \quad (3)$$

donde  $r_{ij}$  son los valores en el origen de las auto-correlaciones y correlaciones cruzadas de las imágenes referencia y  $c_i$  son valores impuestos para el centro del plano de correlación. Así que, a partir de la Ec.(3) se

determinan los valores  $a_i$ , siempre que tenga inversa y se garantice la condición Ec.(2). Sin embargo, este filtro presenta dificultad para garantizar que el valor central de correlación impuesto no se traslade, causando falsas detecciones; este problema se presenta con imágenes de baja simetría, como es el caso de imágenes de rostros, dado que no es fácil garantizar que el centroide de este tipo de imágenes coincida con el origen de coordenadas.

En este trabajo proponemos un sistema de reconocimiento de personas a partir de una imagen del rostro, en un ángulo  $\theta$  de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  y con rotación  $\phi$  de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  –ver Fig.1-; en otras palabras, se propone un sistema de reconocimiento basado en el FDS, que adicionalmente es invariante a rotaciones del objetivo sobre dos ejes -eje  $x$  y el eje  $z$ -.

La solución que proponemos es un filtro que combina las características del filtro armónico circular (Hsu Y-N, and Arsenault H.H, 1982; Leclerc. L, Sheng. Y and Arsenault H.H, 1991; Gualdrón. O and Arsenault H.H, 1993) y los principios del FDS propuesto por Hester y Casasent.

Para solucionar la varianza a rotaciones  $\phi$ , aplicamos descomposición en armónicos circulares para todas las clases que constituyen el FDS; la varianza a rotaciones  $\theta$ , a diferencia de la propuesta de Hester y Casasent, proponemos calcular el filtro como la combinación lineal de las densidades espectrales de Fourier (Rueda P. J.E., Castro L. M, Guerra L. A, 2006), de la descomposición en armónicos circulares desarrollada en el dominio espacial a las imágenes referencia así la función de transferencia del filtro tiene la siguiente forma:

$$H_m(\rho, \phi) = \sum_{i=1}^N a_i |S_i(\rho, \phi)|^2 + \dots + \sum_{j=1}^N a_j |S_j(\rho, \phi)|^2 \quad (4)$$

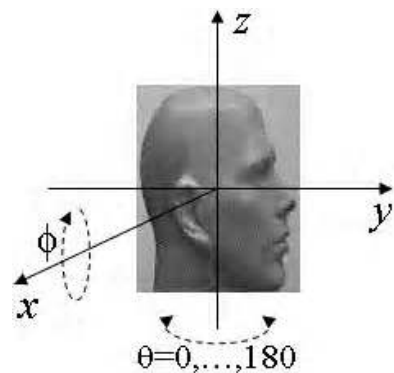


Figura 1. Grados de libertad  $\phi$  y  $\theta$  permitidos para que un objetivo del FDSIR sea detectado.

donde  $m$  es el orden de la descomposición en armónicos,  $N$  es el número de imágenes referencia por clase  $|S(\rho, \phi)|_{i,j}$ , es la densidad espectral de cada imagen referencia y  $a_{i,j}$  son los coeficientes de pesos de la combinación lineal; el problema consiste entonces en determinar tales coeficientes. Determinar tales coeficientes, será siempre posible en la medida que se cumpla que los valores de correlación en el origen, para cada clase, sea una constante, es decir:

$$c_i(0,0) = TF^{-1} \left\{ H_m(\rho, \phi) \cdot |S_i(\rho, \phi)|^2 \right\} = cte \quad (5)$$

Mediante la sustitución de la Ec.(4) en la Ec.(5) se obtiene,

$$c_i = \sum_{j=1}^n a_j^* R_{ij} \quad ,j=1, \dots, n \quad (6)$$

$R_{ij}$  son los valores en el origen de las auto-correlaciones y correlaciones cruzadas, es decir:

$$R_{ij}(0,0) = TF^{-1} \left\{ |S_i(\rho, \phi)|^{2*} \cdot |S_j(\rho, \phi)|^2 \right\} \quad (7)$$

La Ec.(6) representa un sistema de  $n$  ecuaciones lineales, a partir del cual se puede determinar los  $n$  valores  $a_{i,j}$ , siempre que se cumpla la condición Ec.(5) y que  $R_{ij}$  tenga inversa; para garantizar que se cumpla la

condición Ec.(5), para cada clase se le impone un valor  $c_i$ ; por ejemplo, si el número de clases son dos, cada una con tres imágenes referencia, entonces aplicando la Ec.(6) se obtiene:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & \cdot & \cdot & R_{16} \\ R_{21} & R_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ R_{31} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & R_{56} \\ R_{61} & \cdot & \cdot & \cdot & R_{65} & R_{66} \end{bmatrix} \quad (7)$$

a la clase uno se le impone  $c_{1...3}=1$  y la clase dos  $c_{4...6}=2$

Sintetizado el filtro, entonces una operación de correlación será,

$$c_k(0,0) = TF^{-1} \left\{ H_m(\rho, \phi) \cdot |S_k(\rho, \phi)|^2 \right\} \quad (8)$$

La Ec.(8) recuerda, que del plano de correlación solo es válido el valor del centro de coordenadas sobre el mismo plano; en la Fig.2 se muestra una respuesta característica del correlador con filtro FDS; cabe indicar, que puede darse el caso donde el valor central no sea el valor máximo de energía sobre el plano de correlación; aun más, puede darse el caso en que el valor impuesto se repita en otras posiciones del plano de correlación.

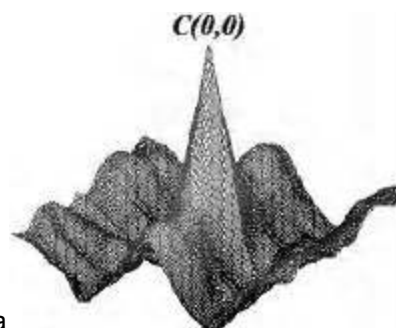


Figura con filtro FDS. relador

**RESULTADOS Y DISCUSION**

Se implementó un sistema de verificación de identidad de personas utilizando la propiedad de correlación de la transformada de Fourier estándar. El sistema está conformado por una interfaz usuario desarrollada en lenguaje Matlab, desde la cual se controlan tres etapas del proceso: Etapa de captura de imágenes vía puerto USB mediante una cámara de visión WebCam, etapa de síntesis del filtro y etapa de verificación de identidad -correlador-.

En la Fig.3 se muestra el algoritmo base de la síntesis del FDSIR; con el propósito de disminuir costo en tiempo computacional durante el proceso de síntesis del FDSIR, el sistema trabaja con imágenes de 142x142 píxeles. Se utilizó un hardware de cómputo de 512Mb en RAM, con procesador Pentium IV de 2.8MHz. No se incluyó al sistema etapa de preprocesado de las imágenes.

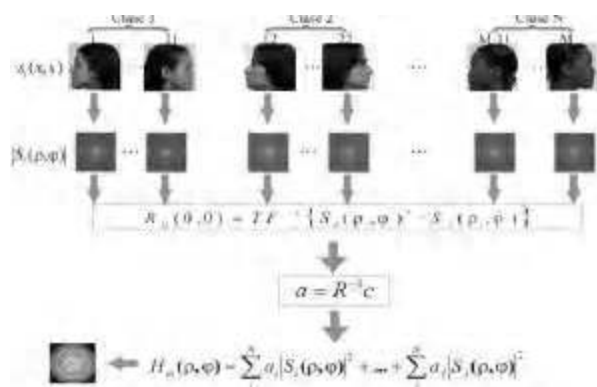
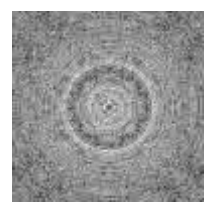


Figura 3. Algoritmo utilizado para la síntesis del FDSIR.

número de clases e imágenes por clase para el filtro que se desea sintetizar. Los resultados presentados en la Fig.5, corresponden a los filtros de la Fig.4, constituido, en ambos casos, por las imágenes de la Tab.1, cinco clases con once imágenes referencia por clase, con las cuales se busca obtener invarianza a rotaciones  $\theta$ ; para obtener invarianza a rotaciones  $\phi$ , cada imagen de referencia se debe expandir en armónicos circulares.

Los valores de correlación impuesto para cada clase son 1,2,3,4 y 5, respectivamente.



(a) DESCOMPOSICIÓN m=0



(b) DESCOMPOSICIÓN m=1

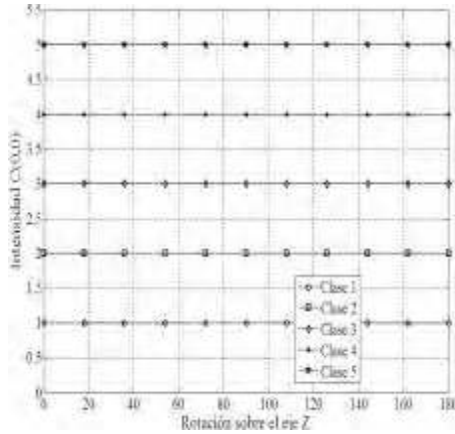
Figura 4. Intensidad de la función de transferencia del FDSIR de cinco clases en su descomposición en armónicos.

Por otro lado, el sistema permite definir el

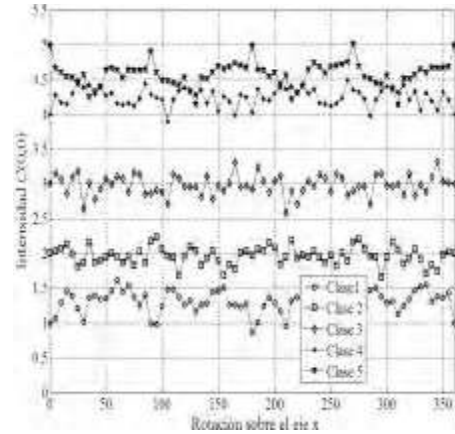
Los resultados de la Fig.5 muestran que la

Tabla 1. Imágenes referencia constituyentes de los filtros sintetizados.

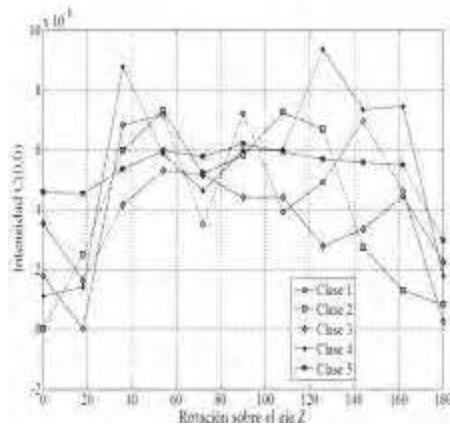
CLASE	0°	18°	36°	54°	72°	90°	108°	126°	144°	162°	180°
1											
2											
3											
4											
5											



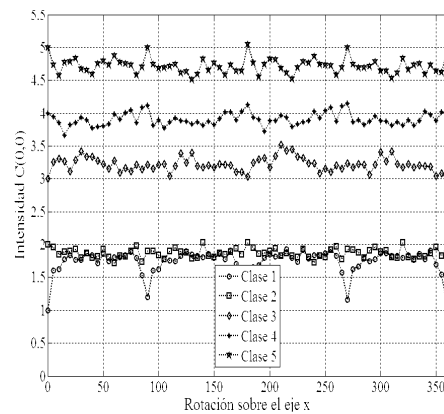
**a).** Resultado respuesta del filtro a rotaciones  $\theta$  de un Objetivo de cada clase;  $m=0$ .



**(b).** Resultado respuesta del filtro a rotaciones  $\phi$  del primer Objetivo de cada clase;  $m=0$ .



**(c).** Resultado respuesta del filtro a rotaciones  $\theta$  de un Objetivo de cada clase;  $m=1$ .



**(d).** Resultado respuesta del filtro a rotaciones  $\phi$  del primer Objetivo de cada clase;  $m=1$ .

**Figura 5.** Respuesta del FDSIR de cinco clases - imágenes de la Tabla 1-.

doble condición de invarianza solo se obtiene para el filtro de la Fig.4.(a). La respuesta del filtro con expansión  $m=1$  presenta un alto nivel de sensibilidad o varianza a rotaciones sobre el eje z, al punto que se pierde la condición del valor de correlación impuesto para cada clase; este mismo comportamiento se encontró para

filtros con ordenes de expansión superiores a  $m=1$ . Este trabajo es una propuesta mejorada del sistema que presentamos en -Rueda P. J.E., et al, 2006-; el FDSIR es invariante a rotaciones de 0 a 180 grados, sobre cada uno de los dos ejes perpendiculares x, z.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- H.J. Caulfield and W.T. Maloney, "Improved discrimination in optical character recognition", App. Opt., 8, pp. 2354-2356, 1969.
- J. Goodman, Introduction to Fourier optics, New York: McGraw-Hill, 1968.
- Gualdrón. O and Arsenault H.H, "Phase-Derived Circular Harmonic Filter", Optics Communications, 104, 32-34, 1993.
- C.F.Hester and D. Casasent, "Multivariant technique for multiclass pattern recognition", App. Opt., 19, pp. 1758-1761, 1980.
- Hsu Y-N, and Arsenault H.H, "Optical pattern recognition using circular harmonic expansion", Appl. Opt, 21, 4016-4019, 1982.
- Leclerc. L, Sheng. Y and Arsenault H.H, "Circular harmonic covariance filters for rotation invariant object recognition and discrimination", Opt. Comm, 85, 299-305, 1991.
- Rueda P J.E , Castro L. M , Guerra L. A, Rev. F. C. B.: Bistua, 4, 1, 48-55, 2006.
- A. Vander Lugt, "Signal detection by complex spatial filtering", IEEE transactions on Information, 10, pp. 139, 1964.
- B.V.K. Vijaya Kumar, "Tutorial survey of composite filter designs for optical correlators", app. Opt. 31 No. 23, pp. 4773-4801, 1992.
- F. Yu, Introduction to diffraction, information processing, and holography. England: The MIT Press, 1973.