

# **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PERSONAS UTILIZANDO UN FILTRO DISCRIMINANTE SINTÉTICO CALCULADO COMO UNA COMBINACIÓN LINEAL DE IMÁGENES EN EL DOMINIO DE FRECUENCIAS**

Rueda P J.E , Castro L. M , Guerra L. A  
Departamento de Física  
Grupo de Investigación Óptica Moderna  
Universidad de Pamplona  
jruedap2003@unipamplona.edu.co

Recibido Febrero 06 de 2006  
Aceptado Mayo 30 de 2006

## **RESUMEN**

En este trabajo presentamos los resultados de la implementación de un sistema para reconocimiento de personas a partir del rostro en posición perfil izquierdo, frontal o derecho. Se utilizó un el principio del Filtro Discriminante Sintético (FDS), cuya respuesta impulso es la combinación lineal de imágenes referencia en el dominio espacial; en este trabajo proponemos la síntesis del filtro es como la combinación lineal de la amplitud densidad de los espectrosal de Fourier de las imágenes referencia que constituyen el conjunto clases; los elementos de una clase son tres imágenes de un mismo blanco. Sintetizar el filtro a partir de la densidad amplitud del espectrosal de Fourier optimiza la respuesta del correlador, de tal forma que el error es nulo en el reconocimiento de una réplica que pertenezca al filtroes nulo.

## **PALABRAS CLAVES**

: Reconocimiento de patrones, transformada de Fourier, Filtro Discriminante Sintético

## ABSTRACT

In this work the results of the implementation of a system for the recognition of people beginning from a frontal position, then, left profile, frontal or right profile. The principle of a Synthetic Discriminant Filter was used in this work (SDF). The impulse response is the lineal combination of image references in the dominant space. The purpose of this paper is to propose the synthesizing Filter for the linear combination of the spectral density of Fourier as the image reference which constitutes the set of classes. The Synthesis of the filter is to amplify the spectral sets of Fourier; the elements of a class are three images of one target. Using the Fourier spectral amplifier in density, this optimizes the response of the correlator in such a way that the margin for error in recognition is obviated.

## KEY WORDS

Pattern recognition, Fourier transforms, Discriminant Synthetic Filter

## INTRODUCCION

Uno de los problemas de los sistemas de reconocimiento de patrones mediante la propiedad correlación de la transformada de Fourier, es la varianza en la respuesta del correlador, causada tanto por distorsiones - variación del contraste, presencia de ruido, elementos de camuflado, oclusión-, como por cambios en la posición angular o la escala del objetivo (A. Vander Lugt 1964; J. Goodman 1968; F. YU 1980; J. Rueda et al. 2002,). La solución consiste en sintetizar filtros robustos para resolver uno o varios casos en particular. En este sentido, a continuación se presenta una discusión sobre dos de los primeros casos propuestos en otros trabajos.

Caso 1: H.J Caulfield (B. Vijaya 1992; H. Caulfield 1969), propone el filtro compuesto para mejorar las características del filtro adaptado; este filtro se obtiene por combinación lineal de diferentes filtros asociados a diferentes imágenes. Hester y Casasent proponen calcular la respuesta impulso del filtro como una combinación lineal de N trenes de imágenes (B. Vijaya 1992; C. Hester 1980), dada por la siguiente expresión:

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

Donde  $s_i$  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 correlaciones cruzadas, representadas por la Ec.(4),

$$r_{ij}(0,0) = \iint s_i^*(x, y) s_j(x, y) dx dy \quad (4)$$

Donde  $i, j = 1, \dots, N$ . La Ec.(3), representa un sistema de N ecuaciones lineales, que permite calcular los N valores  $a_i$  por

imposición de los valores centrales  $c_i(0,0)$  para cada clase. Si la matriz  $r_{ij}$  tiene inversa entonces  $a^* = r^{-1}c$  donde  $c$  es el vector de valores impuesto  $c_i$ . De esta forma, podemos diseñar filtros con un comportamiento específico respecto a cada una de las imágenes que los conforman.

Este filtro presenta dificultad para garantizar que el valor central de la correlación impuesto no se traslade; este comportamiento genera errores tanto en la síntesis del filtro como en el funcionamiento del correlador. Esta traslación ocurre siempre que el centroide de las imágenes de referencia no coincida con el origen; para observar este efecto, partamos del supuesto de una imagen de referencia  $s_i(x-a, y)$  si(x-a,y), trasladada en el valor a, y  $s_k(x, y)$  sk(x,y) una segunda imagen que también pertenece a las imágenes que constituirán el filtro. Entonces, como puede verse en la siguiente ecuación, el valor  $c_i(0,0)$  C(0,0) impuesto, no coincidirá con el máximo que se obtiene de correlacionar las dos imágenes:

$$c_i(x, y) = TF^{-1} \{ TF \{ s_k(x, y) \}^* \cdot TF \{ s_i(x-a, y) \} \} = TF^{-1} \{ S_k(u, v) \cdot S_i(u, v) \cdot \exp(-2\pi a u i) \} \tag{5}$$

$$c_i(x, y) = s_k(x, y) \otimes s_i(x, y) * \delta(x-a, y) \tag{6}$$

Caso 2. Este cConsiste en sintetizar el filtro en el dominio de frecuencias (B. Vijaya 1992), tal como muestra la Ec.(7); asíde esta forma, se garantiza que la condición necesaria de que el C(0,)) ,0) coincida con los máximos de correlación impuestos. Si embargo este método requiere un mayor costo computacional que el caso 3. En este caso, podemos también demostrar, quecomo el corrimiento en las imágenes de referencia no

generan errores, como se puede ver en la siguiente ecuación; entonces, se debe partir de las transformadas de las imágenes de referencia, así, se obtiene :

$$c_i(x, y) = FT^{-1} \{ S_k(u, v)^* \cdot S_i(u, v) * \delta(u-a, v) \} = s_k(x, y) \otimes s_i(x, y) \cdot \exp(-2\pi a x i) \tag{7}$$

El resultado de la A diferencia del resultado de la Ec.(6), donde la presencia de la convolución con el delta Dirac genera un corrimiento del plano de correlación, no sucede lo mismo con el resultado de la Ec.(7), dado que el factor de fase no produce corrimiento alguno sobre tal plano. Este método requiere un mayor costo computacional que el caso 3.

Caso 3. En este trabajo pProponemos sintetizar la función de transferencia del filtro, a partir de las amplitudes densidad de los espectrosal de Fourier de los elementos que conforman las clases, que constituyen el filtro; así, la función de transferencia del filtro es entonces una combinación lineal de tales amplitudes densidades espectrales,

$$H(u, v) = \sum_i^N a_i |S_i(u, v)|^2 + \dots + \sum_j^N a_j |S_j(u, v)|^2 \tag{8}$$

Donde N es el número de imágenes referencia por clase,  $|S|_{i,j}^2$  es la amplitud del espectro de Fourier de una imagen referencia. Los valores  $a_i$  se calculan mediante el siguiente sistema de ecuaciones:

$$c_i(0,0) = \sum_{i=1}^n a_i^* R_{ij}(0,0) \tag{69}$$

Y los elementos de la matriz  $R_{ij}$  se calcularon mediante la Ec.(7):

$$R_{ij}(0,0) = TF^{-1} \{ |S_i(u, v)|^{2*} \cdot |S_j(u, v)|^2 \} \tag{710}$$

Finalmente los valores  $a_i$  se podrán calcular siempre que  $R_{ij}$  tenga inversa. Una vez sintetizado el filtro, entonces una operación de correlación será,

$$c_k(x,y) = TF^{-1} \left\{ H(u,v) \cdot |S_k(u,v)|^2 \right\} \Big|_{(x,y)=(0,0)} \tag{811}$$

Se debe tener en cuenta que del plano de correlación  $c_k(x,y)$ , sólo el valor central corresponde a la medida de pertenencia o no de un objetivo a una clase constituyente del filtro.

**IMPLEMENTACION Y RESULTADOS**

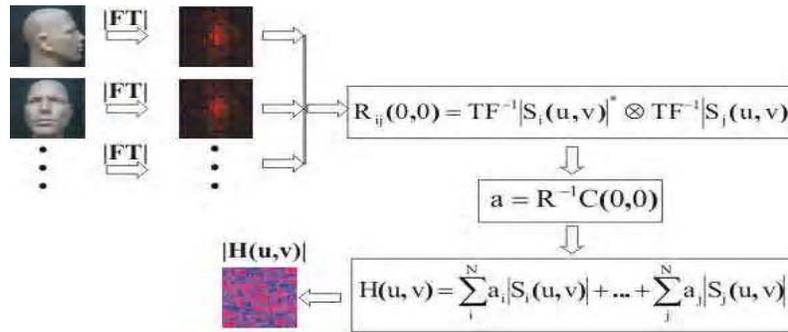
Basados en las Ecs.(8)-(11), se implementó el sistema de la Fig.(1), para reconocer personas a partir de las vistas principales del rostro: perfil izquierdo, frontal o derecho. El funcionamiento del sistema implementado se controla mediante una interface software desarrollada en lenguaje Matlab; se trabajó con imágenes de 300x300 pixeles y 0.72 Mb de peso; el costo en tiempo computacional

para la síntesis del filtro depende de la capacidad del procesador, del número de clases, y del número de imágenes por clase. Una vez se sintetiza el filtro, el sistema hace el reconocimiento en tiempo casi real; se utilizó un hardware de cómputo de 512Mb en RAM, Procesador Pentium IV de 2.8MHz y una WebCam Genius.

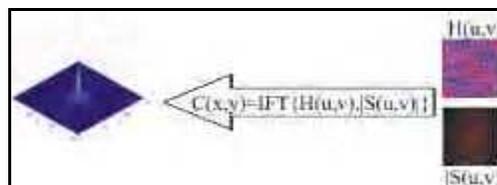


(a). Interface Hardware

Basados en las Ecs.(5)-(8), se implementó un sistema híbrido óptico-digital para reconocer personas a partir de las vistas principales del rostro, perfil izquierdo, frontal o derecho. ...



(ab). Síntesis del Filtro.



(bc). Cálculo de la Correlación.

Figura 11. Sistema implementado para reconocimiento de personas. (b). y (c): Diagramas diagramas de flujo de la síntesis del FDS y cálculo de la correlación; método propuesto en este trabajo

## RESULTADOS

Se presentan resultados para los casos 1 y 3; el caso 2 también se implementó, y se diferencia con del caso 3 en que requiere mayor costo en tiempo de cómputo tanto en la síntesis del filtro como en el proceso de reconocimiento.

Para los dos casos, se sintetizó un filtro constituido por tres clases, y cada clase con tres imágenes de referencia. Se realizaron pruebas con blancos que no pertenecen a las clases del filtro, blancos camuflados que pertenecen al filtro y blancos que pertenecen al filtro pero con perfil no incluido en el filtro.

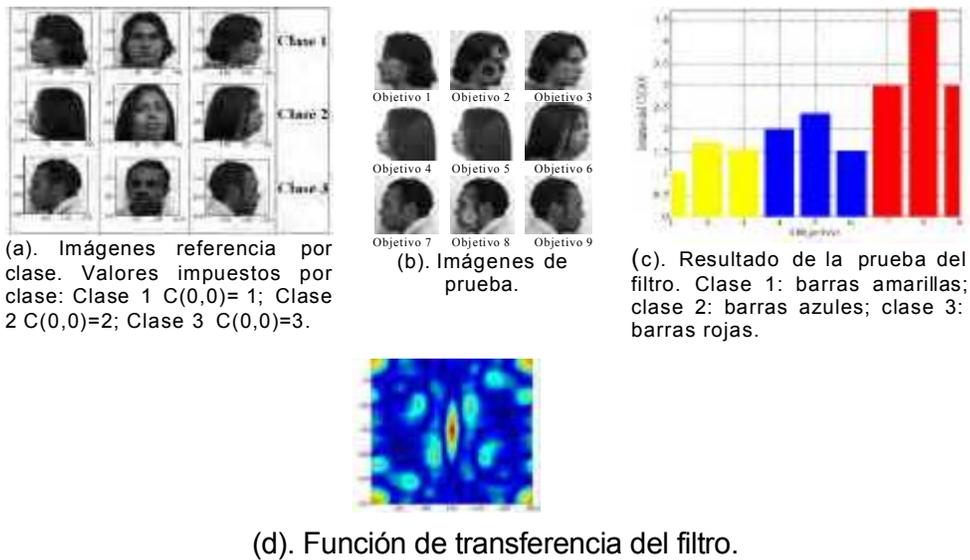


Figura 2. Resultado FSD aplicando el caso 3.

Las imágenes de prueba son las Fig.2.(b); los Objetivos 3, 4 y 7 con camuflaje pertenecen a las clases 1, 2 y 3, respectivamente; el Objetivo 9 pertenece a la clase 3, y los Objetivos 3 y 6 no fueron incluidos en la síntesis del filtro. Se observa en estos resultados que este filtro es altamente sensible a cualquier distorsión presente en la escena de entrada al correlador; así, este sistema permite discriminar cuando un objetivo es o no una réplica de las clases incluidas en el filtro, con un error del 0.0%.

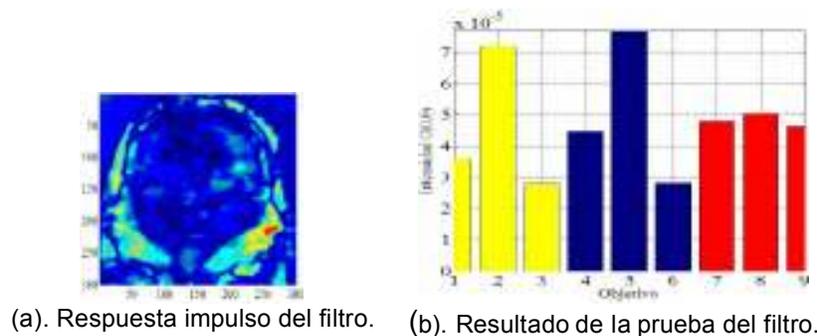
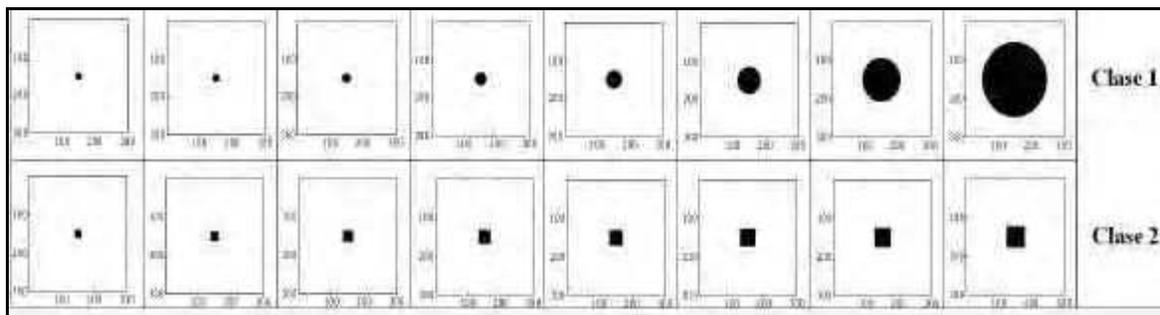
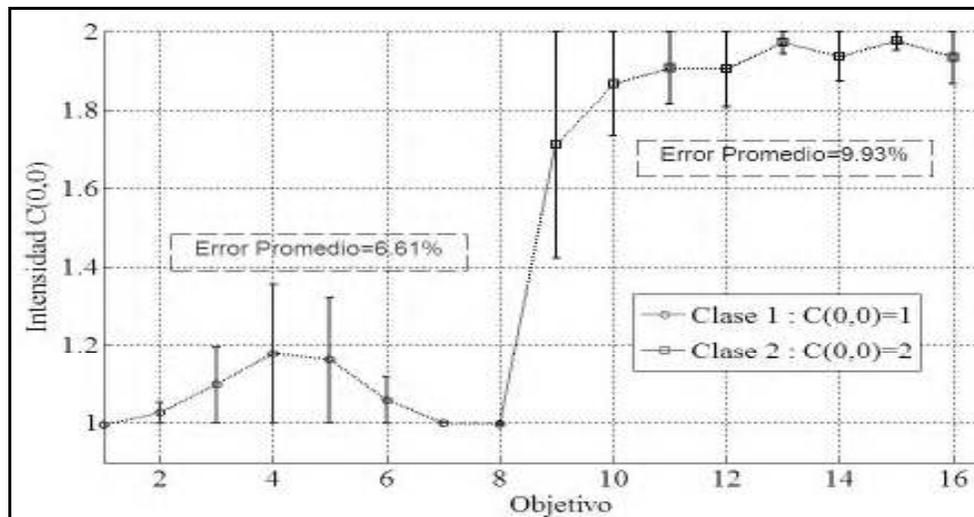


Figura 3. Resultado FSD aplicando el caso 1.

Efectivamente el caso 1 es válido, pero presenta errores en la respuesta, en gran medida, debido a corrimientos del centroide de la imagen de referencia; este efecto se hace más agudo cuando las imágenes no son simétricas, situación que se muestra en los resultados de la Fig.3.(b), donde el sistema comete errores en el reconocimiento entre el 100% y el 300%, aun probando el filtro con las imágenes de referencia utilizadas en la síntesis del mismo. Por otro lado, para demostrar la alta sensibilidad del sistema a ligeros corrimientos de las imágenes de referencia, se sintetizó un filtro de dos clases con ocho elementos por clase; la clase círculo con cambios de escala y la clase rectángulo con cambios de escala. En la Fig.4.(b) se muestra que el error en el reconocimiento persiste, aun con objetos de alta simetría, los cuales en principio, son fáciles de determinar y ubicar su centroide en el origen de coordenadas.



(a). Imágenes referencia por clase. Valores impuestos por clase: Clase 1  $C(0,0)=1$ ; Clase 2  $C(0,0)=2$ .



(b). Resultado de la prueba del filtro, utilizando las mismas imágenes de referencia.

Figura 4. Resultado FSD aplicando el caso 1 con objetivos de alta simetría.

En las Figs.(1).(a)-(b) se muestran los diagramas de flujo, de la síntesis del FDS y del sistema de reconocimiento de identidad de personas a través de sus características faciales, respectivamente.

El sistema de reconocimiento se ilustra en dos etapas mostradas en las figuras (1a), (1b), las cuales se describen así:

**Etapas de síntesis del filtro Compuesto (Materializada en tres procesos)**

1. Las imágenes corresponden a un tren de  $n$  imágenes de referencias capturadas mediante una cámara wencam correspondiente a diferentes posiciones angulares del rostro.

2. Aplicación del Filtro Compuesto al tren de imágenes para obtener la respuesta impulso, una vez calculada la matriz de respuesta impulso convertimos esta en un vector fila para minimizar el proceso de cálculo.

3. Como tercer paso de esta etapa almacenamos cada respuesta impulso en una base de datos, la cual tenemos como referencia, donde cada respuesta impulso corresponde a las diferentes personas.

**Etapas de Verificación (Materializada en tres procesos)**

1. Se captura una imagen de entrada a la cual se le calcula la transformada de Fourier, así, y se hace llamado de los diferentes filtros para calcular la transformada de Fourier correspondiente.

2. Se hacen los procesos de correlación entre el espectro de la imagen de entrada y el conjugado del espectro de cada filtro de la base de datos, esto es,

3. Cada respuesta del pico en el plano de salida es comparada con los máximos de los picos de las auto correlaciones, para lograr una salida positiva o negativa dependiendo, si la persona pertenece o no a la base de datos.

## CONCLUSIONES

En este trabajo presentamos los resultados de la implementación de un sistema para reconocimiento de personas a partir del rostro en posición perfil izquierdo, frontal o derecho. La síntesis del filtro a partir de la densidad espectral de Fourier optimiza la respuesta del correlador, de tal forma que el error es nulo en el reconocimiento de una réplica de las imágenes incluidas en el filtro. La metodología de construcción del filtro permite que el sistema funcione en tiempo casi real, trabajando con procesadores de baja velocidad. Los costos en tiempo de cómputo se disminuyen, con respecto a los que requieren los casos 1 y 2, dado que el número de operaciones se reduce un 25%. El sistema puede funcionar con la misma eficiencia, sintetizando el filtro a partir de la amplitud espectral de Fourier.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

F. YU, Introduction to diffraction, information processing, and holography. England: The MIT Press, 1973.

J. Goodman, Introduction to Fourier optics. New York: McGraw-Hill, 1968.

A. Vander Lugt, Signal detection by complex spatial filtering. IEEE transactions on Information, Vol. 10, (1964), p. 139.

J. Rueda, M. Tebaldi, S. Granieri, And N. Bolognini, "Implementation of a photorefractive correlator based on a fake zoom lens". Optik, International Journal for Light and Electron Optics. Vol.113, No.7, (2002), p.p. 309-313.

B.V.K. Vijaya Kumar, Tutorial survey of composite filter designs for optical correlators, app.Opt. 31 # No. 23, 4773-4801, 1992.

H.J. Caulfield and W.T. Maloney, Improved discrimination in optical character recognition, App. Opt., 8,2354-2356,1969.

C.F.Hester and D. Casasent, Multivariant technique for multiclass pattern recognition, App. Opt., 19, 1758-1761, 1980.

F. YU, Introduction to diffraction, information processing, and holography. England: The MIT Press, 1973.

J. Goodman, Introduction to Fourier optics. New York: McGraw-Hill, 1968.

A. Vander Lugt, Signal detection by complex spatial filtering. IEEE transactions on Information, Vol. 10, (1964), p. 139.