



## Filtro Holográfico Adaptado

John F. Barrera, Juan H. Serna

*Grupo de Óptica y Fotónica, Instituto de Física, Universidad de Antioquia  
A.A. 1226 Medellín-Colombia*

Recibido 22 de Oct. 2007; Aceptado 15 de Oct. 2008; Publicado en línea 5 de Ene. 2009

### Resumen

Un Filtro Holográfico Adaptado (FHA) es un procesador óptico que permite realizar operaciones de correlación y convolución, las cuales se ven reflejadas en la aparición de patrones de intensidad a la salida del procesador. En este trabajo se evidencia la relación que existe entre el ángulo de incidencia de la onda plana usada en la creación del filtro holográfico, y la separación de los picos de intensidad que corresponden a cada una de las operaciones antes mencionadas; relación que es de suma importancia para la discriminación de la información. Asimismo, se muestra que mediante la información de correlación es posible llevar a cabo procesos de validación de información. Se presentan los cálculos teóricos y las simulaciones computacionales que demuestran la validez del método.

**Palabras claves:** correlación, validación, holografía.

### Abstract

Adapted Holographic Filter (FHA) is an optical processor that allows performing operations of correlation and convolution, which are evident in the appearance of patterns of intensity in the output of the processor. In this work, we evidence the relation that exist between the incidence angle of the wave plane used in the creation of the holographic filter, and the separation of the intensity picks that correspond to each one of the operations before mentioned; relation that is crucial for the discrimination of the information. Also, we show that by means of the correlation information is possible to carry out processes of information validation. Theoretical calculations and computational simulations are presented to demonstrate the validity of the method.

**Keywords:** correlation, validation, holography.

© 2009 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

### 1. Introducción

Algunos procesadores ópticos permiten llevar a cabo las operaciones correlación y convolución, las cuales han sido ampliamente usadas para realizar procedimientos de validación y reconocimiento de objetos, realce y restauración de imágenes y encriptación de información. En particular, mediante la operación correlación es posible evaluar el nivel de semejanza de dos informaciones (objetos, patrones, imágenes, etc) [1]. En este trabajo se presenta la implementación de un Filtro Holográfico Adaptado (FHA), que es un correlador que permite llevar a cabo y discriminar por sepa-

rado las operaciones de correlación y convolución [2]. Adicionalmente, se presentan resultados que demuestran que la correlación es una herramienta eficaz en procesos de validación de información [3].

### 2. Experimental

Un FHA se realiza en dos etapas independientes. En la primera etapa, se crea un filtro holográfico haciendo interferir la transformada de Fourier de un objeto de referencia con una onda plana que posee un ángulo de inclinación respecto al eje óptico (ver la Fig.1(a)). En la segunda etapa, la trans-

formada de Fourier de un objeto a comparar se modifica por medio del filtro holográfico y luego se realiza una última transformada de Fourier. De esta forma, a la salida del correlador se obtiene la información de correlación y convolución de los objetos involucrados (ver la Fig.1(b)).

Si  $h(x_0, y_0)$  es la función de transmitancia del objeto de referencia, su transformada de Fourier en el plano focal de la lente  $L$  es:

$$U(u, v) = F_{u,v} \{h(x_0, y_0)\} \tag{1}$$

Para generar el filtro holográfico la transformada de Fourier del objeto de referencia se hace interferir con la onda plana de referencia descrita por la función:

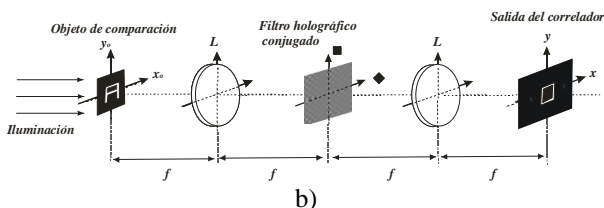
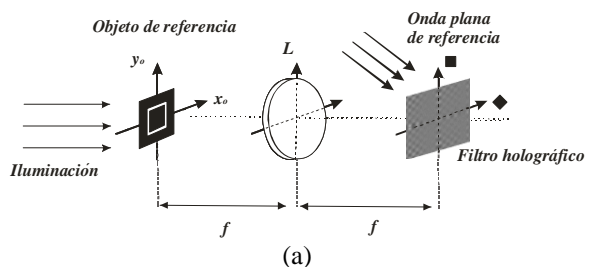
$$U_r(u, v) = r_0 \exp[-j2\pi\alpha v] \tag{2}$$

donde  $\alpha = \text{sen}(\phi)/\lambda$  es la frecuencia espacial producida a un ángulo de incidencia  $\phi$ ,  $r_0$  la amplitud y  $\lambda$  la longitud de onda. Por lo tanto, la función de transmitancia para el filtro holográfico es de la forma:

$$T(u, v) = [F_{u,v} \{h(x_0, y_0)\}]^2 + r_0^2 + (F_{u,v} \{h(x_0, y_0)\})^* r_0 \exp[-j2\pi\alpha v] + F_{u,v} \{h(x_0, y_0)\} (r_0 \exp[-j2\pi\alpha v])^* \tag{3}$$

en este caso  $*$  representa el complejo conjugado. En la segunda etapa del FHA se genera, mediante la lente  $L$ , la transformada de Fourier del objeto a comparar  $g(x_0, y_0)$ :

$$U_c(u, v) = F_{u,v} \{g(x_0, y_0)\} \tag{4}$$



**Fig.1.** Esquema del montaje para la realización del FHA: (a) creación del filtro holográfico y (b) obtención de la correlación y la convolución; donde  $L$  es una lente de longitud focal  $f$ .

La transformada de Fourier del objeto a comparar  $U_c(u, v)$  se modifica con el filtro holográfico  $T(u, v)$  y posteriormente se lleva a cabo una segunda transformada de Fourier para obtener a la salida del correlador:

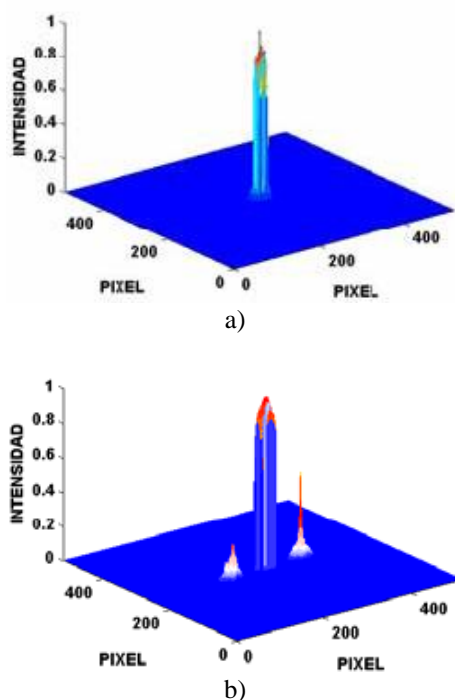
$$U(x, y) = r_0^2 g(-x, -y) + h(x, y) * h(x, y) \otimes g(x, y) + r_0 h(x, y - \alpha) * g(x, y - \alpha) + r_0 h(x, y + \alpha) \otimes g(x, y + \alpha) \tag{5}$$

en esta expresión  $*$  y  $\otimes$  representan la correlación y la convolución, respectivamente. Los dos primeros términos de la ecuación (5) se superponen en el centro generando un patrón central de intensidad. El tercer término representa la correlación entre el objeto de referencia y el objeto de comparación desplazada del centro una cantidad  $\alpha$ . Por su parte el último término es la convolución entre los objetos relacionados, la cual esta desplazada del centro  $-\alpha$ . Lo anterior implica que la separación de los términos de correlación y convolución depende del ángulo de incidencia de la onda de referencia. Cuando el ángulo de incidencia es  $\phi = 0$  la separación entre los términos es  $\alpha = 0$ , en este caso los cuatro términos de la ecuación (5) se superponen y se genera un patrón de intensidad central donde se solapan todos los términos. En la Fig.3(a) se observa la salida del correlador cuando se usa como objeto de referencia el grafico de la Fig.2(a) y como objeto a comparar el grafico de la Fig.2.(b), allí se puede apreciar con claridad que el solapamiento impide discriminar la información de la correlación y la convolución. A medida que el ángulo  $\phi$  aumenta la separación  $\alpha$  también lo hace y los términos que contienen la correlación y la convolución se van alejando del centro en direcciones opuestas. Lo anterior implica que sólo para un determinado rango de valores del ángulo de incidencia es posible tener la información de la correlación y la convolución por separado (Fig.3(b)).

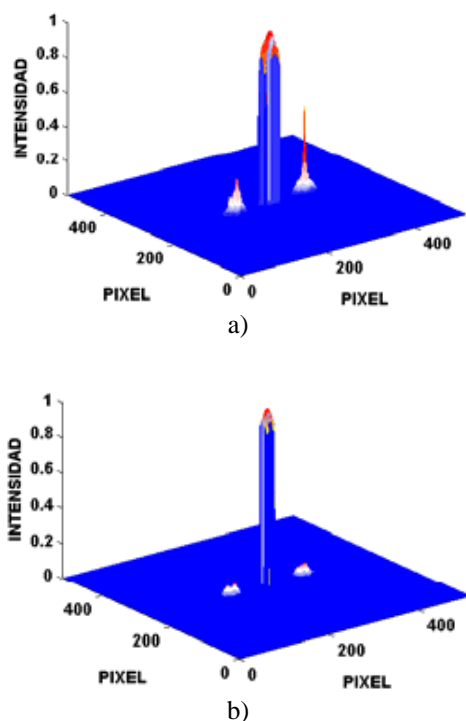
Si en la segunda etapa del FHA se utiliza como objeto de comparación el objeto de referencia, a la salida del correlador se obtiene la autocorrelación de este último, operación que es representada por el patrón de intensidad a la derecha en la Fig.4(a). Si en lugar del objeto de referencia se utiliza el objeto de comparación, a la salida se obtiene la correlación entre los objetos (Fig.(4b)).



**Fig.2.** (a) Objeto de referencia y (b) objeto de comparación.



**Fig 3.** Perfil de intensidad detectado a la salida del FHA usando los objetos de la Fig.2 y para una onda plana de referencia que incide con un ángulo de (a)  $\phi = 0$  y (b)  $\phi = \pi/2$ .



**Fig 4.** Salida del FHA donde el patrón de intensidad a la derecha del central es: (a) la autocorrelación del objeto de referencia y (b) la correlación entre el objeto de referencia y el objeto de comparación.

La diferencia de intensidad entre los picos de correlación (Fig.4(a) y Fig.4(b)) da cuenta de la similitud que tienen los objetos y por lo tanto permite llevar a cabo procesos de validación. Cuando los objetos de referencia y comparación son iguales, el pico de intensidad toma un valor máximo (Fig.4(a)) que sirve de nivel de referencia para los sistemas de validación.

### 3. Conclusiones

Mediante un FHA es posible obtener y discriminar la correlación y de convolución entre objetos, operaciones que son representadas por patrones de intensidad obtenidos a la salida del correlador. La discriminación de la correlación y la convolución sólo es posible para cierto rango de valores del ángulo de incidencia de la onda plana de referencia. Además, a partir del análisis de la intensidad del término que contiene la correlación se pueden llevar a cabo procesos de validación de información.

**Agradecimientos:** Los autores le agradecen a COLCIENCIAS y al CODI por su contribución al desarrollo de este trabajo.

### Referencias

- [1] J.W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics", Second edition, McGraw-Hill, New York (1996).
- [2] D. Casenet (Editor), Optical Data Processing-Applications Springer Verlag, New York (1978).
- [3] T. Takahashi, Y. Ishii, "Object-binarized phase-only matched filtering with dual liquid-crystal spatial light modulators", Appl. Opt. 36, 1073-1085 (1997).