

UTILIZACIÓN DE PANTALLAS DE CRISTAL LÍQUIDO EN UN CORRELADOR DE VANDERLUGT

USE OF LIQUID CRYSTAL DISPLAYS IN A VANDERLUGT CORRELATOR

I. Labastida, S. Vallmitjana, I. Juvells, A. Carnicer, J. R. de F. Moneo

Laboratori d'Òptica. Departament de Física Aplicada i Òptica
Universitat de Barcelona. Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona
E-mail: nasi@optica.ub.es

RESUMEN

En este artículo se presenta un estudio cuya finalidad es analizar diferentes aspectos de la utilización de pantallas de cristal líquido, extraídas de un videoprojector, en montajes de reconocimiento de formas por correlación. Se analizan las condiciones de funcionamiento de las pantallas y sus posibles modos de configuración. Se estudian dos tipos de filtros de correlación, el filtro adaptado clásico y el de sólo fase, así como la manera de codificarlos en las pantallas. Finalmente, se presentan los resultados de una serie de realizaciones experimentales utilizando un correlador de VanderLugt y diferentes configuraciones de las pantallas. De todo ello se deducen las condiciones óptimas de funcionamiento del sistema.

Palabras clave: reconocimiento óptico de formas, correlación óptica, moduladores ópticos, dispositivos de cristal líquido.

ABSTRACT

In this paper we present an study of the different variables present in the use of liquid crystal devices, removed from a videoprojector, in correlators for optical pattern recognition purposes. We analyse the possible working conditions and configurations of the liquid crystal panels. Moreover, the way to display spatial correlation filters in the displays is also considered. Finally, we present several experimental results by using a VanderLugt correlator performing different configurations. From the optical results we derive the most suitable setup of the whole system.

Key words: optical pattern recognition, optical correlation, spatial light modulators, liquid crystal devices.

1. INTRODUCCIÓN

El reconocimiento óptico de formas es un proceso utilizado para detectar una imagen de referencia, (motivo), en una imagen compleja (escena) y determinar su posición dentro de ella. Aunque, en general, los procesos de reconocimiento de formas pueden realizarse utilizando diferentes metodologías, el reconocimiento óptico se basa fundamentalmente en la realización de la correlación entre la escena y el motivo, utilizando las propiedades de la difracción [1] [2]. Con este método, en realidad se realiza una comparación entre las distintas partes de la escena y el motivo buscado, al ir desplazando este último sobre la primera.

Los procesos ópticos de correlación precisan de algún dispositivo para introducir las imágenes en los montajes experimentales o para recoger el resultado de la correlación. Desde los años 60, se utilizó el registro fotográfico, con las ventajas de su resolución, pero con los inconvenientes de su poca versatilidad y de que no permite trabajar a tiempo real. En lo que se refiere al registro de la correlación final, la introducción de las cámaras de vídeo ha resuelto el problema y su utilización se ha generalizado. En cuanto a la introducción de imágenes en los montajes ópticos, el paso adelante ha correspondido a la utilización de moduladores espaciales de luz (*Spatial Light Modulators, SLM*) [3]. Estos dispositivos son capaces de modificar la amplitud, la fase o la polarización en los distintos puntos de un frente de onda, mediante un control que puede ser electrónico u óptico.

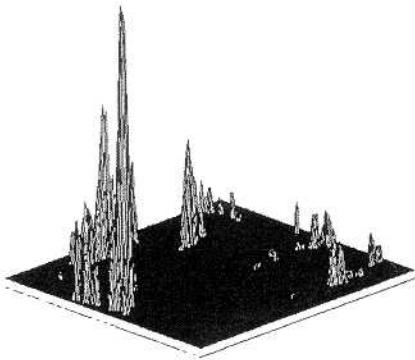
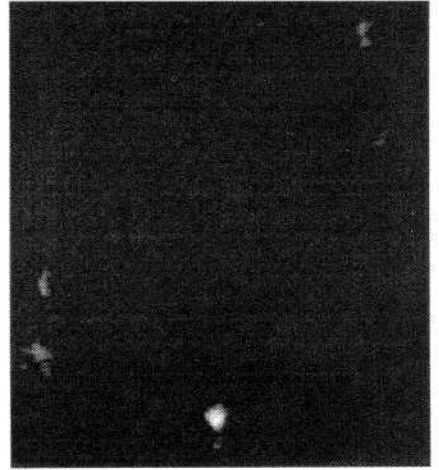
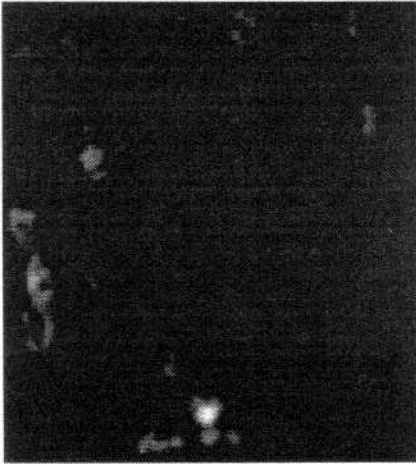
De entre la gran variedad de moduladores ópticos existentes, en los montajes de correlación se han ido imponiendo las pantallas de cristal líquido (*Liquid Crystal Displays, LCD*). Son moduladores basados en un mecanismo electro-óptico y controlados electrónicamente. En general se utilizan en montajes de correlación a tiempo real [4]. La difusión de su uso se debe principalmente a la facilidad de obtención en el mercado (puesto que se utilizan en aparatos comerciales: televisores de bolsillo, visores, videoproyectores, pantallas de ordenador, etc.). Como consecuencia sus prestaciones han ido mejorando rápidamente y su precio es razonablemente asequible.

En un correlador de VanderLugt, la LCD puede utilizarse tanto en el plano de entrada (para representar las escenas) como en el de Fourier (para introducir los filtros de correlación). Las condiciones de trabajo en las dos situaciones son esencialmente diferentes y es preciso analizar en cada caso los resultados alcanzables. Sin embargo, un montaje de reconocimiento a tiempo real debe incluir dos pantallas, una para la escena y otra para el filtro. En este trabajo se describen las diferentes variables a considerar en el diseño de un sistema óptico de correlación. En el apartado 2 se repasan las características más importantes de los dispositivos de cristal líquido así como sus modos de funcionamiento. En el apartado 3 se recuerdan las definiciones de dos filtros ampliamente conocidos y utilizados en los sistemas de correlación como son el filtro adaptado clásico (*Classical Matched Filter, CMF*) [1] y el filtro sólo de fase (*Phase Only Filter, POF*) [5]. Además se comenta como se introduce la información que aportan en las LCDs, o bien mediante codificación holográfica, o bien aprovechando las posibilidades que ofrecen los cristales líquidos en cuanto a modular la amplitud y la fase de las ondas. En el apartado 4 se presentan una serie de resultados experimentales que permitirán concluir en el apartado 5 las condiciones de trabajo más apropiadas para realizar el reconocimiento.

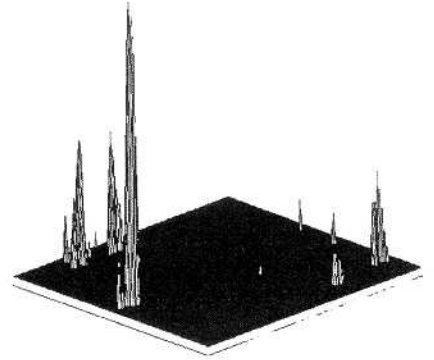
2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA EXPERIMENTAL

2.1. El correlador convergente

Para obtener correlaciones ópticas es necesario un montaje experimental que permita realizar dos transformadas de Fourier consecutivas en un banco óptico. Los montajes más usuales son los

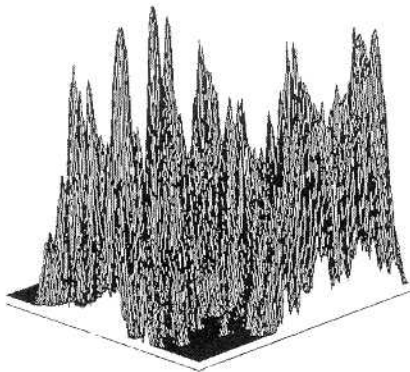
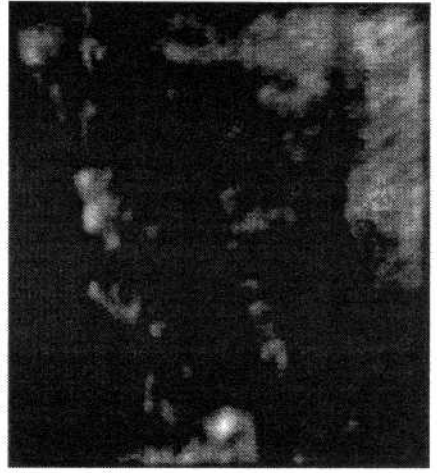


(a)

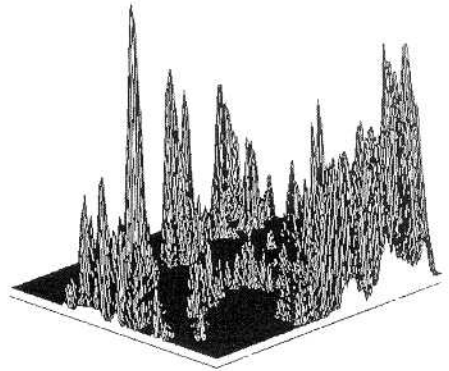


(b)

FIGURA 8. Resultados de la correlación utilizando el filtro de fase y codificando por el método simplificado de Burckhardt para funciones reales. Se muestra la intensidad de la correlación y su representación tridimensional. Las dos pantallas están en configuración de alto contraste. a) Resultado utilizando la definición de filtro de fase. b) Resultado ajustando el filtro a la curva operativa de la pantalla de la escena

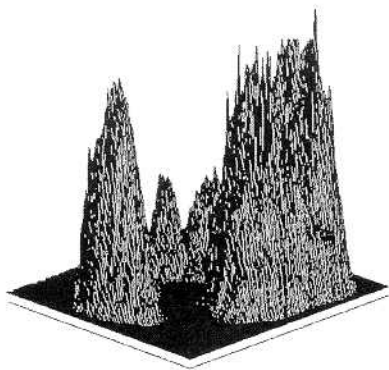
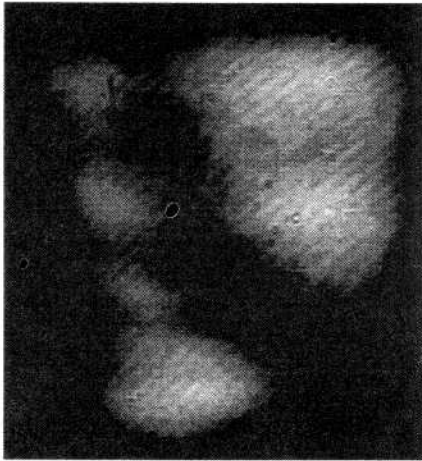


(a)

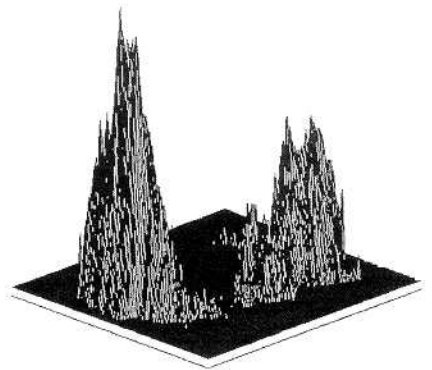


(b)

FIGURA 7. Resultados de la correlación utilizando el filtro de fase y codificando por el método de Burckhardt. Se muestra la intensidad de la correlación y su representación tridimensional. Las dos pantallas están en configuración de alto contraste. a) Resultado utilizando la definición de filtro de fase. b) Resultado ajustando el filtro a la curva operativa de la primera pantalla.



(a)



(b)

FIGURA 6. Resultados de la correlación utilizando el filtro adaptado y codificando por el método de Burckhardt. Se muestra la intensidad de la correlación y su representación tridimensional. Las dos pantallas están en configuración de alto contraste. a) Resultado utilizando la definición de filtro adaptado. b) Resultado ajustando el filtro a la curva operativa de la primera pantalla

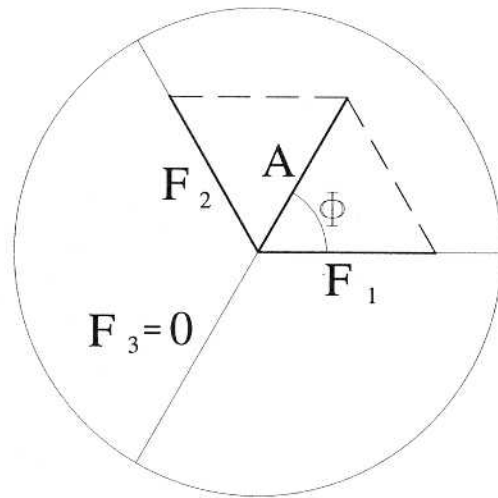


FIGURA 4. a) Codificación de un valor complejo por el método de Burckhardt

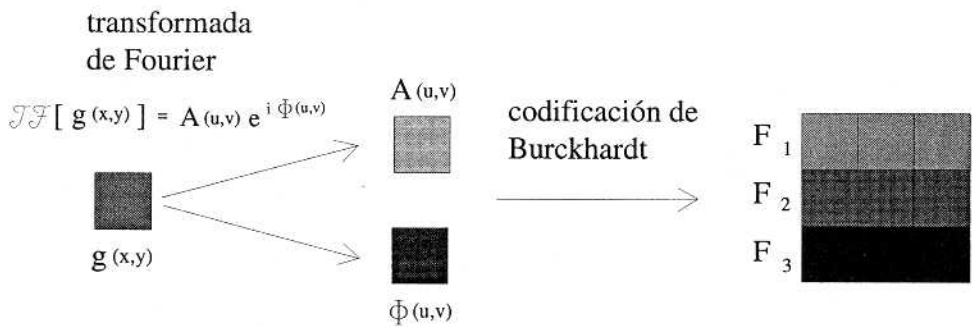


FIGURA 4. b) Implementación en celdas de 3x3

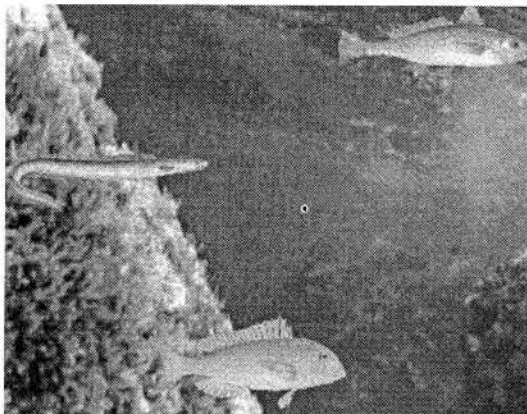
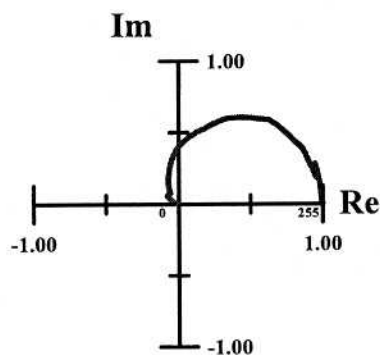


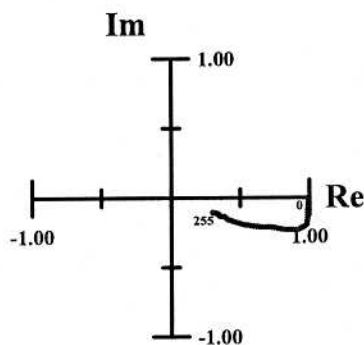
FIGURA 5. Escena. El motivo a detectar es el pez que aparece en la parte inferior de la imagen

**Configuración de Alto Contraste
(LCD-Verde/Escena)**



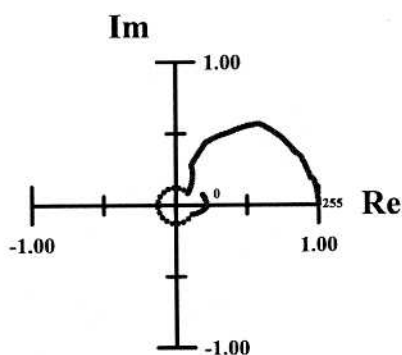
(a)

**Configuración de Casi Amplitud
(LCD-Verde/Escena)**



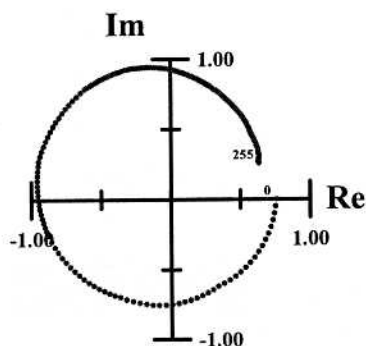
(b)

**Configuración de Alto Contraste
(LCD-Rojo/Filtro)**



(c)

**Configuración de Casi Fase
(LCD-Rojo/Filtro)**



(d)

FIGURA 3. Curvas operativas de las LCDs utilizadas

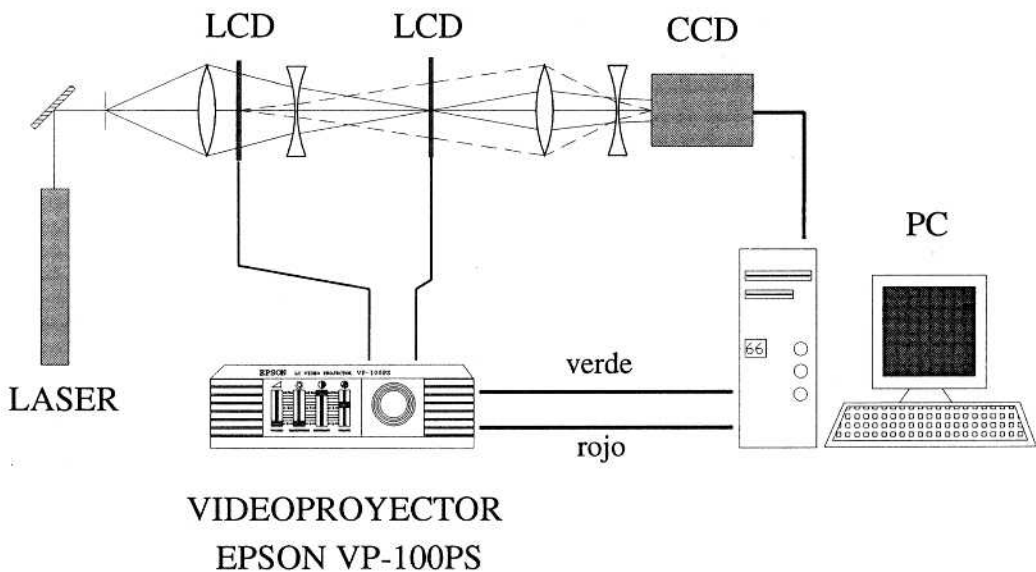


FIGURA 1. Esquema del correlador de VanderLugt convergente, con teledifractómetros

Imagen original

Imagen en la LCD

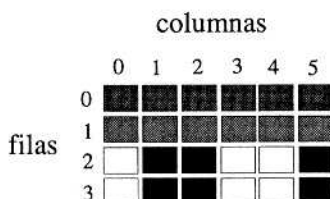
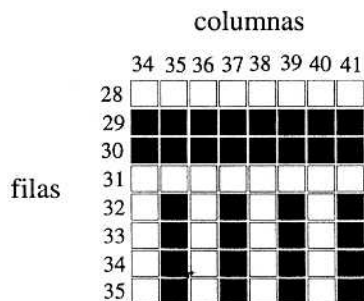


FIGURA 2. Transformación de la imagen en las pantallas utilizadas

7. REFERENCIAS

1. A.B. VANDERLUGT: "Signal detection by complex filtering", *IEEE Transactions on Information Theory*, **IT-10**, 139-145 (1964).
2. C.S. WEAVER and J.W. GOODMAN: "A technique for optically convolving two functions", *Appl. Opt.*, **5**, 1248-1249 (1966).
3. U. EFRON: "Spatial light modulators and applications for optical information processing", *Proc. SPIE*, **960**, 180-203 (1988).
4. D.A. GREGORY: "Real-time pattern recognition using a modified liquid crystal television in a coherent optical correlator", *Appl. Opt.*, **25**, 467-469 (1986).
5. J.L. HORNER and P.D. GIANINO: "Phase-only matched filtering", *Appl. Opt.*, **23**, 812-816 (1984).
6. I. JUVELLS, S. VALLMITJANA and S. BOSCH: "Analysis of a scale-tunable telephoto lens diffractometer and its use in optical correlation", *J. Modern Optics*, **39**, 1107-1115 (1992).
7. C. SOUTAR and S.E. MONROE: "Selection of operating curves of twisted-nematic liquid crystal television", *Proc. SPIE*, **2224**, (1994).
8. K. LU and B.E.A. SALEH: "Theory and design of the liquid crystal TV as an optical 1 spatial phase modulator", *Opt. Eng.*, **29**, 240-246 (1990).
9. C. SOUTAR and K. LU: "Determination of the physical properties of an arbitrary twisted nematic liquid crystal cell", *Opt. Eng.*, **33**, 2704-2712 (1994).
10. C. SOUTAR, S.E. MONROE and J. KNOPP: "Measurement of the complex transmittance of the Epson liquid crystal television", *Opt. Eng.*, **33**, 1061-1068 (1994).
11. A. SKORUCAK and C. SOUTAR: "Selection criteria for spatial light modulator operating curves", *Proc. SPIE*, **2752**, 120-131 (1996).
12. E. MARTÍN BADOSA, A. CARNICER, I. JUVELLS and S.VALLMITJANA: "Complex modulation characterization of liquid crystal devices by interferometric data correlation", *Meas. Sci. Technol.*, **8**, 764-772 (1997).
13. C.B. BURCKHARDT: "A simplification of Lee's method of generating holograms by computer", *Appl. Opt.*, **9**, 1949 (1970).
14. W.H. LEE: "Sampled Fourier hologram generated by computer", *Appl. Opt.*, **9**, 639-643 (1970).

TABLA 1
Resumen de los resultados experimentales obtenidos

Config. LCD Escena	Config. LCD Filtro	Tipo de filtro	Codificación	Intensidad Correlación vs. máximo secundario
Alto Contraste	Alto Contraste	CMF	Burckhardt	1/1.18
Alto Contraste	Alto Contraste	CMF modificado	Burckhardt	1/0.51
Alto Contraste	Alto Contraste	POF	Burckhardt	1/0.89
Alto Contraste	Alto Contraste	POF modificado	Burckhardt	1/0.71
Alto Contraste	Alto Contraste	POF	Burckhardt simplificado	1/0.49
Alto Contraste	Alto Contraste	POF modificado	Burckhardt simplificado	1/0.40
Alto Contraste	Casi Fase	POF modificado	Sin codificación holográfica	1/0.15

observa la correlación tras adaptar el filtro a la curva operativa de alto contraste. La situación mejora mucho y, aunque en este caso la detección sea correcta, la utilización de filtros adaptados en escenas con fondos complejos, no es muy apropiada.

Los resultados de la Figura 7 se han obtenido de forma idéntica a los anteriores pero utilizando el filtro de fase. Se observa en general una mejora de la capacidad de discriminación así como la importancia de ajustar el filtro a la curva operativa. No obstante el nivel de energía del fondo sigue siendo demasiado importante.

En la Figura 8 se ha optado por codificar tan sólo la parte real del filtro de fase. Esto se traduce en un aumento del ancho de banda del filtro, aprovechando más información de las altas frecuencias. Aquí, de nuevo, la adaptación del filtro a la curva operativa mejora la calidad de la detección. Un aspecto que no recogen las imágenes presentadas es la pérdida de luz, en comparación con el caso anterior y debida a la presencia del término de convolución.

Por último en la Figura 9 se muestra un resultado que complementa el trabajo. En este caso, se ha utilizado la configuración de casi de fase en la segunda pantalla de cristal líquido. De esta manera, no es necesario codificar $\exp(-i\phi(u,v))$ o $\cos(\phi(u,v))$, ya que es posible enviar directamente el valor de la fase del filtro $\phi(u,v)$ sobre la pantalla, siendo el propio dispositivo quien module en fase. Como no es preciso codificar holográficamente, se aprovecha al máximo el rango dinámico del filtro, siendo los resultados necesariamente mejores, aunque aparezca una no linealidad en la fase. Por otro lado, al tratarse de una distribución sólo de fase no se pierde energía, transmitiéndose íntegra a la correlación. En la figura se muestra la detección de la referencia cuando la primera pantalla se encuentra en la modalidad de alto contraste. Como en casos anteriores, el filtro está adaptado a la curva operativa correspondiente.

En la Tabla 1 se resumen los resultados experimentales con los valores numéricos de intensidad del pico de correlación respecto al máximo secundario. Los valores de la correlación están normalizados a la unidad. En la tabla se puede observar que el hecho de adaptar el filtro a la fase que introduce la primera pantalla mejora los resultados. Además se puede ver que la utilización de codificación holográfica, con la consecuente pérdida de frecuencias, empeora la correlación.

5. CONCLUSIONES

Se ha estudiado el proceso de reconocimiento de formas en un correlador de VanderLugt utilizando sistemas teleobjetivos y dispositivos de cristal líquido. Se han analizado diferentes configuraciones de las pantallas combinando diferentes maneras de codificar la información de los filtros. Se ha comprobado que la codificación holográfica utilizada actúa como un filtro pasa bajos, dificultando la detección. Por otro lado, se ha observado la importancia de adaptar los filtros a la curva operativa de la pantalla donde se muestra la escena, especialmente al trabajar en condiciones críticas como las que impone la codificación de los filtros por el método de Burckhardt. Por último, cabe destacar la importancia de aprovechar las posibilidades que ofrecen las pantallas en cuanto a su capacidad de modular amplitud y fase, para introducir los filtros en el correlador. Así pues, la mejor combinación es utilizar un filtro adaptando la posible fase que aporta la configuración de la primera pantalla e intentar no codificar holográficamente, si es posible, para no perder altas frecuencias.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) a través de los proyectos TAP94-0303 y TAP97-0454. Ignasi Labastida agradece el apoyo de la Fundació Bosch i Gimpera, proyecto n° FBG-2216.

do a que, en las pantallas utilizadas, el control pixel a pixel es menos crítico en la dirección vertical. Al codificar una función de esta manera, para cada valor de $F(u,v)$ se requieren 9 píxeles, tal y como se muestra en la Figura 4b. Teniendo en cuenta las limitaciones del número de píxeles que presentan los dispositivos LCD actuales, la codificación supone una pérdida muy importante de información en altas frecuencias.

Una alternativa sencilla a este problema se basa en la utilización de la parte de real de los filtros. de esta manera, los filtros adaptado y de fase se escriben $A(u,v)\cos(\phi(u,v))$ y $\cos(\phi(u,v))$ respectivamente. De esta manera, al tratarse de funciones reales que pueden tomar valores positivos y negativos, sólo es preciso codificar utilizando dos componentes (F_+ , F_-), una de las cuales es negativa:

$$F(u,v) = F_+(u,v) + F_-(u,v) \exp(i\pi)$$

De esta manera sólo se requieren 2×2 píxeles del dispositivo para mostrar un valor del filtro. Sin embargo, la zona de correlación aparece más alejada del centro del plano de detección con la consecuente pérdida de energía y dificultando la observación de la correlación.

3.3. Adaptación del filtro a la curva operativa

La primera de las pantallas LCD se utiliza, obviamente, para introducir la escena en el correlador. Esta pantalla debería actuar en modo de casi amplitud. En la Figura 3 se observa que en la curva encontrada para esta configuración el valor de la amplitud disminuye al aumentar el nivel de gris, lo que obliga a utilizar las imágenes en negativo. Este hecho y el bajo contraste que presenta este modo operativo desaconsejan su empleo. Es por esto que normalmente se trabaje en configuración de alto contraste. Esta curva presenta el inconveniente de introducir una fase no deseada a la escena. Este problema puede solventarse con relativa facilidad modificando el diseño del filtro. Se trata de calcular el filtro adaptado no a una determinada referencia $g(x,y)$ sino a una cierta función compleja $g'(x,y)$ obtenida al aplicar la curva operativa de alto contraste a $g(x,y)$. Así, el filtro adaptado lo calcularemos a partir de la transformada de Fourier (TF) de $g'(x,y)$, $G'(u,v)$.

$$F'_{MF}(u,v) = G'^*(u,v) = A'(u,v)e^{-i\phi'(u,v)}$$

mientras que el filtro de fase será:

$$F'_{POF}(u,v) = G'^*(u,v) / |G'(u,v)| = e^{-i\phi'(u,v)}$$

4. REALIZACIÓN EXPERIMENTAL

En esta sección se muestran los resultados experimentales obtenidos. Para ello se ha utilizado un correlador VLC utilizando teledifractómetros para acortar la longitud total del banco y adaptar las escalas de la difracción con facilidad. Las dos pantallas de cristal líquido funcionan en modo de alto contraste y las correlaciones se captan mediante una cámara de vídeo CCD. La escena se muestra en la Figura 5 y esta formada por tres peces de especies diferentes sobre un fondo marino. La referencia a detectar es el pez que se encuentra en la parte inferior de la imagen.

La Figura 6 muestra el resultado del primero de los experimentos realizados. Se trata de una detección utilizando el filtro adaptado codificado mediante el método de Burckhardt. La Figura 6a muestra la correlación obtenida sin modificar el filtro según la curva operativa. Como puede verse, no se detecta el pez y el fondo acumula una parte importante de la energía. En la Figura 6b se

donde $G(u,v)$ es la transformada de Fourier de $g(x,y)$, $A(u,v)$ su amplitud y $\phi(u,v)$ su fase. El asterisco indica la función compleja conjugada. Si consideramos el término de autocorrelación, en el plano de Fourier tendremos:

$$G(u,v) F_{CMF}(u,v) = G(u,v) G^*(u,v) = A^2(u,v)$$

por tanto, en el plano de correlación aparece la transformada de Fourier de $A^2(u,v)$, es decir la autocorrelación de $g(x,y)$. El filtro adaptado se describe mediante una función compleja de variable real y por lo tanto para introducirla en el montaje experimental habrá que codificar de alguna manera la información conjunta de la amplitud y la fase. Los distintos sistemas de codificación se explican en el apartado 3.2. La principal ventaja de este filtro es su resistencia al ruido aditivo en la escena aunque por otro lado se demuestra bastante ineficaz para detectar objetos inmersos en escenas con fondos complejos.

- Filtro de fase (POF) [5]. Se diferencia del filtro CMF por no considerar la amplitud. Así, se define:

$$F_{POF}(u,v) = G^*(u,v)/|G(u,v)| = e^{-i\phi(u,v)}$$

Como en el caso anterior se puede analizar lo que sucede con el término de autocorrelación

$$G(u,v) F_{POF}(u,v) = G(u,v) G^*(u,v)/|G(u,v)| = A(u,v)$$

En este caso, en el plano de correlación se obtendrá la transformada de Fourier de $A(u,v)$. Las principales ventajas de este filtro respecto al adaptado son el incremento de eficiencia de luz en el plano de correlación y la mejora de la discriminación entre objetos parecidos. Los inconvenientes son fruto de esta misma capacidad de discriminación, es decir, su sensibilidad a pequeñas deformaciones del objeto o a la presencia de ruido.

3.2. Codificación

Como se ha visto en el apartado anterior, el filtro normalmente es una función compleja y por lo tanto se describe mediante una amplitud y una fase. Cuando se desea reproducir este filtro complejo en un solo plano es preciso elegir una de las múltiples maneras posibles para combinar o codificar estas dos magnitudes. Sólo en el caso del filtro de fase es posible trabajar con una sola de las dos magnitudes.

De entre la gran variedad de tipos de codificación existente se ha elegido el método de Burckhardt [13], que es una simplificación del método de Lee [14]. El método de Burckhardt propone la descomposición del vector amplitud-fase en tres componentes reales (F_1 , F_2 , F_3) de la siguiente manera:

$$F(u,v) = F_1(u,v) + F_2(u,v) \exp(2\pi/3) + F_3(u,v) \exp(4\pi/3)$$

es decir, como suma de tres vectores con fases 0, $2\pi/3$ y $4\pi/3$. De ellos, uno siempre es nulo. Para realizar el filtro, cada punto de valor complejo se representa en la LCD mediante una celda de 3×3 píxeles, triplicando el tamaño original. A los tres píxeles que componen una fila de la celda se les asigna el mismo valor, correspondiente a una de las tres componentes F_i ($i=1, 2, 3$), tal y como se indica en la Figura 4a. Los píxeles repetidos de cada celda se colocan en posición horizontal debi-

2.4. Modos de configuración

Los modos de configuración o curvas operativas de las pantallas LCD, representan las modificaciones de la luz incidente en función del nivel de gris de cada píxel de la imagen. Estas modificaciones pueden afectar tanto a la amplitud como a la fase de la luz transmitida. Lo que determina los diferentes modos operativos de la pantalla es la electrónica (mandos de brillo, contraste y color) y la polarización de la luz (posiciones del polarizador y el analizador). Las configuraciones más usuales son [10][11]:

- Alto contraste: En esta configuración se consigue una relación de contraste alta. Según la bibliografía [10], es posible llegar a relaciones de 200:1 aunque en nuestro caso se han obtenido del orden de 100:1. En esta configuración se introducen valores de fase que pueden llegar a 0.9π radianes.
- Casi amplitud: Se intenta que la pantalla presente sólo variaciones de amplitud, manteniendo la fase constante. En nuestras pantallas la variación de fase queda reducida a 0.12π radianes. La desventaja de esta configuración está en que pierde contraste y sólo se consiguen valores de 10:1.
- Casi fase: Al contrario que en el caso anterior, la pantalla, idealmente, solo varía la fase y no afecta a la amplitud. En la práctica, la variación de fase puede llegar a ser de 2π radianes, pero el contraste no baja de 1.5:1.

En la Figura 3 se muestran las tres curvas operativas de las LCDs utilizadas en nuestro montaje, en cada una de las configuraciones descritas. Al utilizar un solo videoprojector para controlar las dos pantallas, todas las configuraciones se han obtenido variando las posiciones del polarizador y el analizador mientras que los mandos de brillo, contraste y color se han dejado fijos.

Para la imagen de la escena se ha utilizado la pantalla correspondiente al canal verde, mientras que para el filtro se ha utilizado la del canal rojo. Se debe hacer notar que cada pantalla presenta ligeras diferencias respecto a las otras. Los métodos de obtención de estas curvas se basan, generalmente, en técnicas interferométricas. En nuestro caso se ha utilizado el método descrito en la referencia [12].

3. FILTROS

3.1. Diseño

Una parte importante en la realización de un proceso de reconocimiento por correlación es la elección del filtro. En un correlador de VanderLugt el filtro se coloca en el plano de Fourier y actúa multiplicativamente sobre la transformada de la escena. En la literatura se ha propuesto una gran variedad de filtros. La mayoría se basan en la realización de la función compleja conjugada de la transformada de Fourier del motivo que se desea detectar. En este trabajo se utilizan dos de los filtros más habituales:

- Filtro adaptado clásico (CMF) [1]. Este filtro es el que da como resultado final la correlación entre la escena y el motivo a detectar. Si dicho motivo viene descrito por la función $g(x,y)$, el filtro adaptado clásico se define, en el espacio de Fourier, como:

$$F_{\text{CMF}}(u,v) = G^*(u,v) = A(u,v)e^{-i\phi(u,v)}$$

denominados correlador 4f o de VanderLugt [1] y correlador de transformadas conjuntas [2]. En este trabajo se ha utilizado un correlador de VanderLugt convergente (VLC), que incorpora tele-difractómetros en los dos tramos de transformación [6]. El montaje es el mostrado en la Figura 1. Utilizando este esquema, mediante la incorporación de lentes divergentes se puede reducir el tamaño del correlador manteniendo las constantes de los difractómetros dentro de los valores adecuados a los tamaños de los moduladores ópticos utilizados.

2.2. Descripción de las pantallas

Las pantallas utilizadas han sido extraídas de un videoprojector Epson VP-100PS. El uso de este tipo de pantallas en correladores ópticos está muy extendido. Las LCDs de este videoprojector son del tipo *Twisted-Nematic Liquid Crystal* (TNLC). La principal característica de este tipo de cristal líquido es el giro en la dirección de las moléculas del material, desde una cara del dispositivo a la otra [7]. Este giro hace que la luz que atraviesa la LCD quede modificada en amplitud y en fase [8] [9]. Para utilizar estos dispositivos como moduladores espaciales de luz hay que colocarlos entre dos polarizadores (polarizador y analizador) de manera que variando su orientación se pueden obtener diferentes transmitancias.

Por otro lado, las imágenes que se envían a las pantallas están constituidas por píxeles con diferentes niveles de gris. Cada nivel corresponde a un determinado voltaje en la señal que llega a la LCD y afecta a la transmisión. Este voltaje puede ser alterado mediante los controles electrónicos de la pantalla: brillo, contraste y color.

Así, para obtener la transmisión más adecuada en cada caso tenemos dos opciones: actuar sobre los diferentes controles electrónicos y/o variar la orientación de los polarizadores.

2.3. Funcionamiento

Las pantallas están conectadas a la electrónica propia del videoprojector. La señal que les llega a través de dicha electrónica está controlada por una tarjeta digitalizadora Matrox PIP-1024B con salida RGB. En nuestro montaje utilizamos el canal verde (G) para enviar la imagen de la escena y el rojo (R) para el filtro.

Se puede observar que la imagen visualizada en las pantallas no es la misma que la original (generada en el ordenador o captada a través de una cámara de vídeo CCD), como se muestra en la Figura 2. Los cambios, debidos a diferentes factores, hacen que el tamaño de la imagen disminuya en la LCD. Esta disminución o *zoom negativo* no es igual en cada dirección. Cada pantalla tiene 320x264 píxeles nominales de los que sólo son útiles 310x242 (el número de píxeles horizontales puede variar en una unidad entre pantallas de un mismo videoprojector). La tarjeta digitalizadora envía a la LCD la información contenida en un cuadrante de 512x512 píxeles. Cuando la imagen se proyecta en las pantallas, el número de filas disminuye a la mitad mientras que el número de columnas disminuye en un factor cercano a 1:1.5. El proceso se complica porque además de la imagen original de 512x512 píxeles, las 28 primeras filas y las 34 primeras columnas se pierden. Las 484 filas restantes se promedian dos a dos (obteniéndose las 242 filas útiles en la LCD) y las 478 columnas pasan a 310 mediante una interpolación (prácticamente se pierde una de cada tres). Teniendo en cuenta este comportamiento, si se quiere que la LCD reproduzca una determinada imagen es preciso enviarle la información previamente modificada mediante un zoom especial que compense los efectos descritos y además, tener en cuenta la pérdida de píxeles.

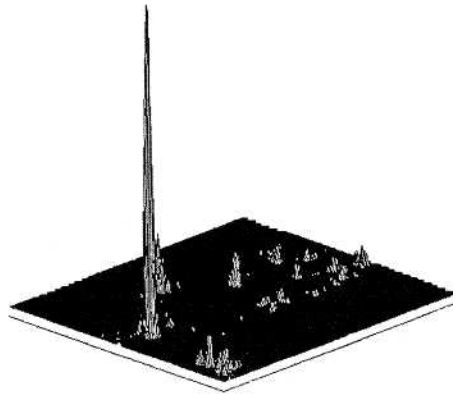


FIGURA 9. Resultado de la correlación utilizando el filtro de fase sin codificar y adaptado a la configuración de alto contraste de la primera pantalla de cristal líquido. La segunda pantalla está en configuración de casi fase. Se muestra la intensidad de la correlación su representación tridimensional