

HOLOGRAMAS DIGITALES DE FASE CON INFORMACION ESTEREOSCOPICA PARA VISION TRIDIMENSIONAL.

S. A. Ledesma*, C. S. Helman, I. P. Sidelnik

Laboratorio de Procesado de Imágenes, Departamento de Física, FCEyN, UBA
e.mail: ledesma@df.uba.ar

En este trabajo se ha desarrollado una forma de representar imágenes estereoscópicas a través de hologramas de Fourier que requieren un solo paso en su generación. El holograma retiene la información de fase de la transformada de Fourier de la escena de entrada modificada y contiene además una fase lineal para lograr el efecto estereoscópico. La escena modificada consiste en la escena original a la que se agrega una fase aleatoria para garantizar una mejor distribución de la información en la fase de la transformada de Fourier. Para implementar el holograma se ha utilizado un modulador de luz espacial operando en distintas configuraciones. Se muestran resultados experimentales donde se aprecia la reconstrucción estereoscópica y se discuten además las limitaciones del dispositivo.

Palabras Claves: Holograma de fase, visión estereoscópica, modulador espacial de luz.

We present here a method to represent stereoscopic images by using one step Fourier holograms. The hologram is a phase hologram of a modified scene and has the addition of a linear phase in order to get the stereoscopic effect. The modified scene consists in the original scene where a random phase is added to improve the distribution of the Fourier transform. The hologram is displayed onto a spatial light modulator under different configurations. We show experimental results where the performance of the proposed method is discussed.

Keywords: Phase holograms, Stereoscopic view, Spatial light modulators

I. Introducción

La televisión tridimensional sin el uso de elementos especiales constituye aún un desafío que las grandes empresas^[1] están tratando de resolver. En este sentido en el año 2004 Choi, Kim, Lee^[2] han publicado un artículo que ha tenido cierta repercusión en la prensa dedicada a difundir novedades tecnológicas^[3]. En dicho trabajo se presenta una opción interesante basada en la representación de hologramas de Fourier solo de fase representados en moduladores espaciales de luz (SLM). Para trabajar a color pleno se requieren tres hologramas con las escalas correspondientes a cada longitud de onda para cada una de las dos vistas de una imagen. Un conjunto de tres fuentes (una roja, una azul y una verde) y un sistema óptico permiten reconstruir los 6 hologramas de forma que se obtiene sobre cada ojo una imagen del objeto con distinta perspectiva. El resultado es la percepción de una imagen tridimensional que puede ser refrescada a velocidad de video. Sin embargo, hay algunos puntos que no están aún optimizados. Por un lado, los hologramas de fase que se representan en los moduladores requieren un proceso iterativo que puede ser costoso computacionalmente. Por otro, se están usando fuentes extremadamente coherentes lo cual suma a la imagen final un ruido considerable disminuyendo la relación señal ruido.

En este trabajo se ha explorado una forma alternativa para la generación de imágenes estereoscópicas que no requiere más que un paso en la generación del holograma. Los hologramas generados son completamente de fase como en el caso del trabajo mencionado.

Usualmente suele ser más interesante utilizar la modulación de fase por presentar mayor eficiencia de difracción que la modulación de amplitud. En nuestro caso, la posibilidad de modular la fase nos permite

redireccionar convenientemente el haz de modo de lograr visión estereoscópica. Se ha trabajado entonces con pantallas de cristal líquido operando en modo de fase y se ha utilizado una única longitud de onda para iluminar el holograma. Debido a que la respuesta en fase de los moduladores depende de la longitud de onda empleada se implementó la técnica en las dos longitudes de onda extremas (azul y rojo). Cabe señalar que la modulación para el azul es de aproximadamente de 1.8π mientras que en el rojo es del orden de 1.2π , por lo cual es de esperar que la reconstrucción con el azul sea más precisa que con el rojo.

En la sección II se introduce el principio del método empleado; en la sección III se muestra el arreglo experimental, en IV se presentan los resultados obtenidos mediante simulaciones y por el dispositivo experimental, presentando una serie de discusiones sobre los mismos; por último en V las conclusiones.

II. Hologramas para visión estereoscópica

Los hologramas utilizados son del tipo de Fourier, es decir que contienen información de las frecuencias espaciales de la escena que se quiere observar. Hay distintas maneras de almacenar esta información en la fase. Se ha utilizado aquí una variante del holograma solo de fase (POF).

El holograma solo de fase consiste en retener la información de la fase de la transformada de Fourier y tomar una amplitud unidad para todo el plano transformado. Esto lleva a una reconstrucción no muy fiel de la escena donde los bordes son considerablemente resaltados. En efecto, en el plano de frecuencias las zonas centrales corresponden a los detalles "gruesos", mientras que las zonas de altas frecuencias corresponden a los detalles "finos". Usualmente, el módulo de la transformada es mucho mayor en el centro que en los

bordes, por lo cual el POF resalta exageradamente las altas frecuencias.

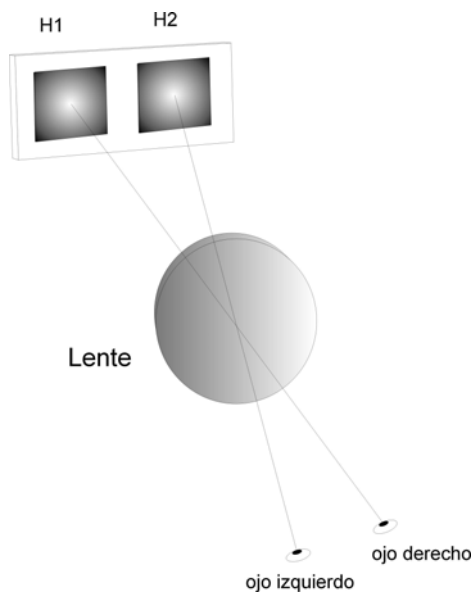


Figura 1: Visión Estereoscópica

El método aquí empleado consiste en obtener la transformada de Fourier de la escena representada en módulo a la que se le adiciona una fase aleatoria. Esta fase aleatoria redistribuye la información de las frecuencias espaciales de la escena en el plano de Fourier (Figura 2). Luego, se toma la fase de la escena así procesada (POF) y el resultado es una reconstrucción mucho mejor lograda que la que se obtiene con el POF de la escena original. Se tiene así un método que con el solo agregado de una fase aleatoria a la escena de entrada permite obtener un holograma solo de fase que contiene una información bastante completa del objeto.

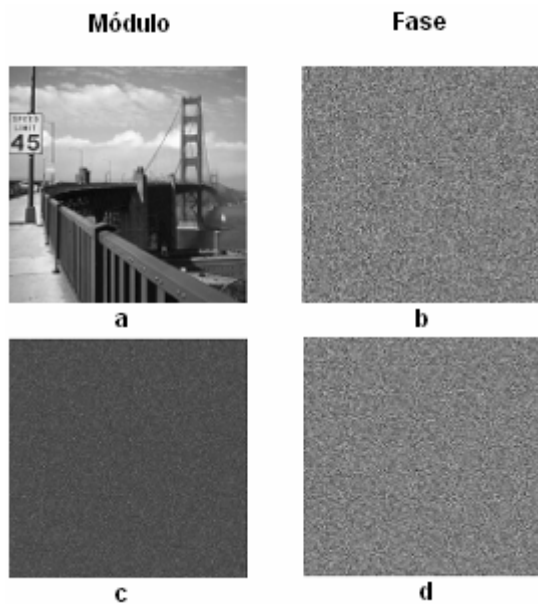


Figura 2: Formación del holograma. Primer paso. Imagen compleja. a) el módulo es la escena, b) la fase es ruido blanco. Segundo paso. En la imagen c) y d) se observan el módulo y la fase de la transformada de Fourier

Dado que se pretende obtener una visión estereoscópica, se requieren dos hologramas que contengan información de dos vistas del objeto, una para cada ojo. Además, en el proceso de reconstrucción estas vistas deben ser convenientemente redireccionadas. Esta situación se muestra en la Figura 1.

Para esto, se propone una configuración donde los dos hologramas estén dispuestos desplazados lateralmente uno de otro, como se muestra en la Figura 2. Aquí cada holograma contiene una fase lineal que permite el direccionamiento mencionado.

En el caso en que el holograma no ocupe todo el modulador el problema del orden cero de difracción observado se intensifica, ya que hay una porción de luz que pasa por el modulador que no contiene información de la imagen. Esto se soluciona colocando una red de fase cuadrada con valores $0-\pi$. El efecto de esta red es enviar la luz de las zonas que no tienen información de la escena a los órdenes 1 y -1 , por arriba y por debajo de la zona de interés. En la Figura 3 se observa como se construye el holograma conteniendo las dos escenas y la red.

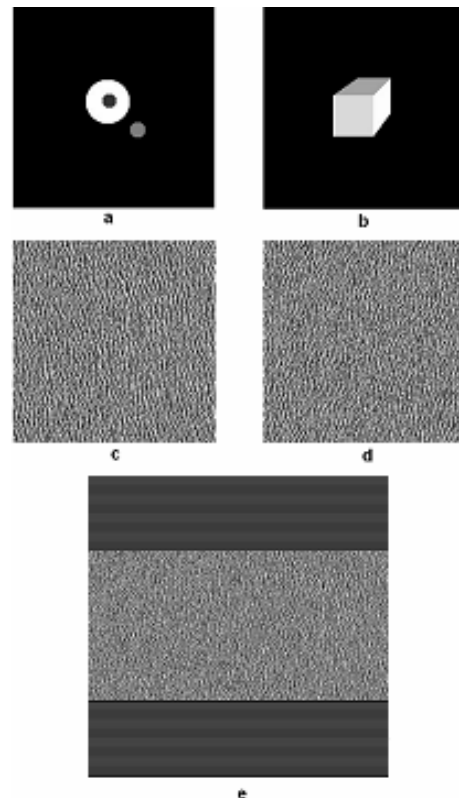


Figura 3: Formación del holograma: a) y b) corresponden a la escena izquierda y derecha; c) y d) son las fases de las transformadas de Fourier procesadas como muestra la Figura 2 a las que se le suma o resta una fase lineal entre 0 y 64π . e) corresponde al holograma final que se obtiene al colocar las Figuras c) y d) una al lado de la otra, en conjunto con la red de fase cuadrada.

III. Desarrollo experimental

El modulador espacial de luz (SLM) es un dispositivo capaz de modular el frente de onda que lo atraviese, ya sea en amplitud como en fase. Su principal componente es el es una pantalla de televisión de cristal líquido (LCTV), que brinda el poder de modular el frente de onda.^[4]

El LCTV está formado por un número discreto de píxeles que actúan separadamente sobre el frente de onda. Cada uno de ellos tiene la capacidad de alterar el frente tanto en amplitud como en fase.

En los usos más comunes las LCTVs suelen utilizarse para modular amplitud. De hecho, por ejemplo, en un video proyector se requiere representar una imagen en gama de grises. En general, se utiliza una disposición de dos polarizadores cruzados a la entrada y a la salida de las pantallas. Sin embargo, cualquier configuración que involucre solo polarizadores, da lugar a una modulación acoplada de amplitud y fase. En la mayoría de los usos no comerciales de este tipo de moduladores se requiere un desacoplamiento entre ambas modulaciones. Se exploran 2 potenciales configuraciones. La primera de ellas nos permite modular la fase y mantener una amplitud constante (Modo Desacoplado), mientras que en la segunda, la modulación de fase está relacionada con la modulación en amplitud (Modo Acoplado).

La configuración necesaria para desacoplar la modulación en fase de la amplitud, usa polarización elíptica a la entrada y a la salida del LCTV^[5]. Esto requiere un conjunto de polarizadores lineales y láminas retardadoras que sumado a la LCTV es llamado modulador espacial de luz (SLM).

La amplitud de la onda incidente solo es disminuida, en cambio la fase es alterada según un patrón que es representado en el LCTV. En nuestro caso, se representa el es el holograma de fase diseñado para la visión estereoscópica.

El dispositivo se esquematiza en la Figura 4. El haz expandido y colimado incide sobre un conjunto formado por un polarizador P1, una lámina birrefringente LR1, la LCTV, una segunda lámina birrefringente LR2 y un segundo polarizador P2. Por último, una lente convergente L reconstruye el holograma sobre la videocámara.

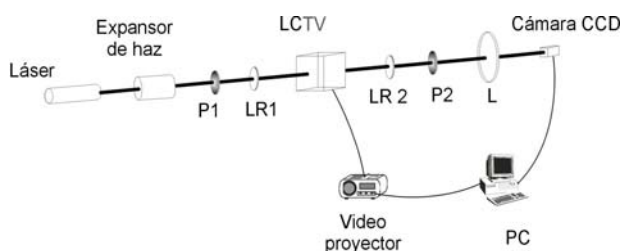


Figura 4: Diseño del modulador que desacopla la modulación de amplitud de la de fase. Para expandir el haz se utiliza la combinación de un filtro espacial con un "pinhole". P1 y P2 son los polarizadores. LR1 y LR2. Láminas retardadoras; L es una lente convergente.

Para alcanzar la configuración de ángulos deseada se cuenta con modelos teóricos^[5,6] que nos permiten simular la respuesta del SLM.

IV. Resultados

Para simular la respuesta del SLM se construye una nueva imagen compleja cuyo módulo es la unidad y su fase es el filtro POF. Luego se realiza la transformada inversa de Fourier, donde se obtienen dos imágenes en el plano complejo (parte real e imaginaria). Por último se

observa el módulo al cuadrado de la resultante. Esta operación corresponde a medir la intensidad de luz en la imagen final.

En la Figura 5 se compara la simulación y la respuesta del SLM observada para el modo desacoplado con longitud de onda $\lambda=457\text{nm}$, lo que da una respuesta del modulador de aproximadamente 1.8π .

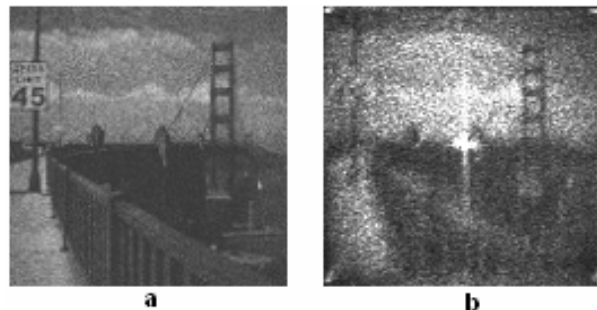


Figura 5: a) Módulo cuadrado de la transformada de Fourier del POF. b) Resultado experimental con el modulador. El punto blanco en el centro es el orden cero de difracción de la red que tiene el LCSLM

En la comparación que surge de la simulación con el resultado, la reconstrucción de la escena presenta detalles muy marcados, que se corresponde con lo esperado por la técnica utilizada para la realización del holograma.

El objetivo de separar las imágenes con el agregado de una fase lineal como fue descrito en la sección II, se alcanzó con éxito como se observa en las Figuras 6 y 7.

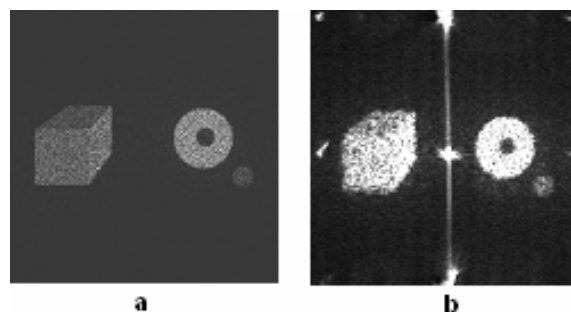


Figura 6: Simulación a) y resultado experimental b) para visión estereoscópica, sumando una fase lineal.

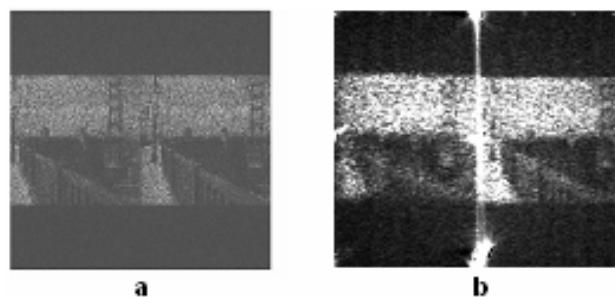


Figura 7: Simulación a) y resultado experimental b) utilizando dos vistas de una imagen con muchos detalles

Así mismo se logró una reconstrucción de la escena con una calidad equivalente al método POF sin fase lineal agregada.

Teniendo en cuenta el procedimiento descrito para lograr la reconstrucción de la imagen con visión estereoscópica, se utilizaron distintas fuentes de luz para iluminar al modulador. Esto corresponde al requerimiento de que, llegado el momento pueda lograrse una reconstrucción de la imagen a color pleno utilizando una composición RGB. En nuestro caso esto se podría realizar con tres longitudes de ondas: 457nm azul, 514nm verde (ambas del un láser de Argón) y 633nm rojo (provenientes de un láser de He-Ne).

La mejor respuesta del modulador corresponde al color azul; para el rojo la modulación llega a valores de 1.2π , como máximo. El resultado de la reconstrucción utilizando un láser de He-Ne ($\lambda = 633\text{nm}$) se muestra en la Figura 8.

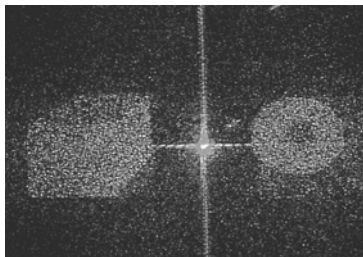


Figura 8: Resultado experimental obtenido con un láser de He-Ne ($\lambda=633\text{nm}$).

Comparando las reconstrucciones del mismo holograma para las distintas longitudes de onda, (Figuras 6.b y 8) se observan diferencias. El tamaño de la granulosidad debida a la alta coherencia o grano de speckle, es directamente proporcional a la longitud de onda de la fuente, por este motivo es de esperar que el efecto se haga más notorio para el rojo. En futuros trabajos se espera solucionar este inconveniente utilizando fuentes menos coherentes, como un diodo láser o un led.

V. Conclusiones

Se ha demostrado que el método de un paso consistente en agregar una fase aleatoria a la escena de entrada, permite obtener un holograma solo de fase que contiene información bastante completa de la escena. Esto evita la necesidad de un método iterativo, que requiere excesivos recursos computacionales para obtener un resultado similar.

A su vez resultados concluyentes en la utilización de la suma de fase lineal para lograr la visión estereoscópica, nos hace pensar que este método tiene la posibilidad de una futura implementación en la televisión tridimensional.

Dado que se pretende una visión estereoscópica color, se debe asegurar una buena reproducción en los tres colores primarios (rojo, verde y azul). Debido a que la respuesta en fase de los moduladores depende de la longitud de onda empleada, se implementó la técnica en las dos longitudes de onda extremas (azul y rojo), obteniéndose una respuesta muy buena para el azul y una bastante buena para el rojo. Se puede concluir que el formato elegido para el holograma, consistente en el sistema red cuadrada mas los hologramas con una fase lineal sumada, muestra una respuesta muy buena a los efectos de separar las escenas. A su vez se observa un

orden central de difracción que no es excesivamente luminoso.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Claudio Iemmi por sus fructíferos comentarios. Este trabajo fue parcialmente realizado con subsidios de UBA (EX215) y ANPCYT (PICT12333).

Referencias

- [1] Toshiba Develops Flatbed 3D Display, 18 abril, 2005. http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20050418/103839/
- [2] Kyongsik Choi, Hwi Kim, and Byoungho Lee, Optics Express, **12**, 21, 5229 (2004).
- [3] 2-D Holograms make 3-D Holograms: <http://www.technologyreview.com> , Noviembre 2004
- [4] M. Capeluto, C. La Mela, Caracterización de Pantallas de cristal liquido para su uso como moduladores de fase o amplitud. Laboratorio 6-7, Laboratorio de Procesado de Imágenes, Departamento de Física, FCEyN, UBA (2001)
- [5] A. Márquez, C. Iemmi, I. Moreno, J. Davis, J. Campos, M. Yzuel, Opt. Eng. **40**, 2558-2564 (2001).
- [6] A. Márquez, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, Junio 2001.