

PROCESO PARA HACER UN HOLOGRAMA DIGITALMENTE

H. R. Fajardo^a, M. Araiza E.^b, S. Guel S.^a, J. I. de la Rosa V.^b, G. Miramontes^b

^a Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO), A. Obregón 64, Col. Centro, C.P. 78000, San Luis Potosí, S. L. P.,

^b Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Lab. De PDS, López Velarde No 821, Col. Centro, C. P. 98068, Zacatecas, Zac., araizama@cantera.reduaz.mx

RESUMEN:

Los hologramas generados por computadora (HGC's) tienen algunas ventajas importantes sobre los hologramas ópticos, como son: bajo costo, objetos con o sin existencia física y son relativamente sencillos de fabricar. Sin embargo, se ha observado que algunas personas no conciben la idea de como se elaboran este tipo de hologramas. Buscando superar este inconveniente, en este trabajo se presenta el proceso de elaboración (con sumo detalle) y se comprueban algunas de sus características. La finalidad de este trabajo es hacer una introducción a los HGC's, que facilite entender el procedimiento de fabricación. No se presentan nuevos resultados.

1. INTRODUCCIÓN

En el siglo pasado se dieron a conocer grandes avances, tales como la holografía en 1947 por Denis Gabor, los hologramas digitales en 1966 por R. Brown y A. Lohmann¹, el láser y las computadoras entre otros. Los hologramas ópticos tienen muchas aplicaciones (en documentos de seguridad, memorias holográficas, tarjetas de crédito, medicinas, etc.) pero su costo es alto. Con los hologramas digitales se minimizan notablemente los gastos, ya que el proceso de grabado de los hologramas ópticos de Fourier se simula. El algoritmo utilizado simula el patrón de interferencia de la transformada de Fourier de dos ondas que coinciden en un mismo punto y al mismo tiempo, este patrón es almacenado en un dispositivo (llamado holograma). Posteriormente, se recupera de alguna manera toda la información contenida en éste, es decir, se recupera la amplitud y la fase del frente de onda original simulado.

Los hologramas digitales presentan una buena opción para introducirse en la holografía. El objetivo del presente trabajo es que el lector vaya conociendo poco a poco lo sencillo que es hacer un holograma por computadora. El presente trabajo está organizado de la siguiente manera, en la sección 2 se presenta la técnica de codificación de los hologramas digitales tipo detour¹. En la sección 3 se explica el proceso digital, como programar y graficar el patrón de interferencia obtenido. En la sección 4, se presenta el mecanismo de obtención del holograma al tamaño real, es decir el proceso de fabricación. En las secciones 5 y 6, se presenta el sistema de reconstrucción y las pruebas de laboratorio, respectivamente. Por último en la sección 7 se dan las conclusiones.

2. TECNICA DE CODIFICACIÓN

El elemento mínimo de un holograma óptico es una celda, así como en una imagen digital (bidimensional) es un píxel, esto es, un holograma óptico tiene un tamaño de $N \times N$ celdas. Cada celda contiene información de la interferencia de dos frentes de onda, es decir, la amplitud y la diferencia de fases. Para simular cada una de las celdas del holograma óptico se utiliza el diseño de celda mostrado en la Figura 1. Esta celda codifica la amplitud y la fase por separado, de un frente de onda.

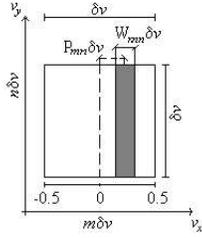


Figura 1. Celda: elemento mínimo de un holograma digital.

Cada celda es identificada por un par de coordenadas $(m\delta v, n\delta v)$, que contienen un rectángulo cuyo ancho $W_{mn} = (m\delta v, n\delta v)$ y posición P_{mn} codifican la amplitud A_{mn} y la fase φ_{mn} de una función $U_{mn} = A_{mn} \exp(i\varphi_{mn})$, la cual es la transformada de Fourier (TF) del objeto (imagen bidimensional) $u(x, y)$. Una vez calculada la amplitud de transmitancia de la celda e igualada con la transformada de Fourier inversa del objeto, se obtienen las ecuaciones que relacionan la amplitud y la fase con el ancho del rectángulo y su posición dentro de la celda:

$$W_{mn} = \frac{\sin^{-1}(A_{mn})}{\pi} \quad (1)$$

$$P_{mn} = \frac{\varphi_{mn}}{2\pi} \quad (2)$$

3. PROCESO DIGITAL

La Fig. 2 muestra un objeto (imagen digital) $u(x, y)$ de $N \times N$ píxeles, obtenida por medio de algún paquete de dibujo por computadora o bien una imagen analógica escaneada. El valor de cada uno de los elementos de la matriz del objeto es uno o cero.

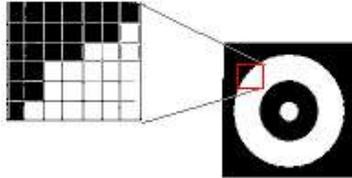


Figura 2. Objeto bidimensional de $N \times N$ píxeles.

Se calcula la TF del objeto U_{mn} . El frente de onda $U_{mn} = U(m, n)$, es una matriz de números complejos que puede expresarse en amplitud y fase: $U_{mn} = A_{mn} \exp(i\varphi_{mn})$. Los valores de la amplitud y de la fase del frente de onda se guardan en matrices separadas, para posteriormente trabajar con dichas matrices. Para poder codificar la amplitud, ésta se normaliza a ceros y unos. Una vez obtenidos estos datos se calcula el ancho y la posición de los rectángulos, utilizando las Ecs. (1) y (2), teniendo en consideración la celda de la Fig. 1. Los datos así calculados se guardan en las matrices W_{mn} y P_{mn} (según correspondan). Con lo cual ya se puede graficar el patrón de franjas calculado.

Por ejemplo, para graficar un patrón de franjas de 8×8 pulgadas, de un holograma de 256×256 celdas, la celda tendría un tamaño de $\delta v = 8in/256 = 0.03125in$. También es necesario definir un contador (l, k) , que se vaya incrementando según se avance en la matriz de celdas del holograma. (Ver Fig. 3)

Para graficar el rectángulo de la celda (1,1), se pone el contador igual a (1,1), y se le indica a la computadora que se coloque en esta celda en el centro, esto es: $0.5\delta v$. Se toman los primeros datos de las matrices que contienen el ancho y posición del rectángulo, es decir $W(1,1)$ y $P(1,1)$, y se procede a graficar el rectángulo de ancho $W(1,1)$ y cuyo centro esta $P(1,1)$ veces a la derecha o izquierda del centro de la celda (esto último dependerá del signo que tenga el dato almacenado en el elemento de la matriz $P(1,1)$). Una vez graficado el rectángulo de la celda (1,1) del holograma, se incrementa el apuntador, apuntando a la siguiente celda $(l+1, k)$, y se grafica el rectángulo de la celda $(l+1, k)$ igual que como se indico al inicio de este párrafo. Se continúa así hasta terminar de graficar todos los rectángulos de las celdas. El patrón de franjas calculado se imprime. (Ver fig. 3.)

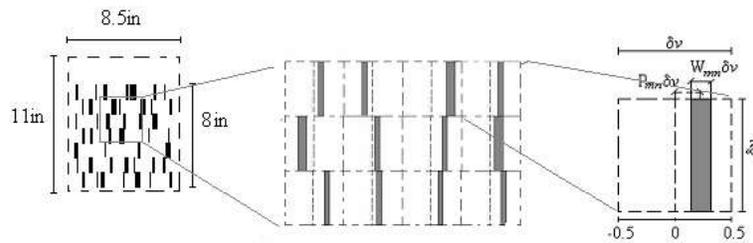


Figura 3. Hoja tamaño carta con la simulación de un holograma, el tamaño de la celda no se grafica solamente la ranura (o rectángulo) dentro de la celda.

4. PROCESO DE FABRICACIÓN

Una vez graficado el patrón de franjas así obtenido, este se reduce fotográficamente a un tamaño tal que la transparencia obtenida difracte la luz convenientemente. En este proceso intervienen: el tiempo de exposición, la abertura del diafragma, la altura a la que es tomada la fotografía y la iluminación que se da al patrón impreso. Lo anterior se puede ver en la Fig. 4(a). En el proceso de revelado, se hace pasar la película fotográfica por una solución, la cual revelara la imagen, después de dos minutos se pasa a una solución para el proceso de revelado. Posteriormente se deposita en el fijador unos minutos y por último en el agua. La Fig. 4 muestra el equipo utilizado en el proceso de fabricación. La transparencia obtenida es el holograma en su tamaño real.

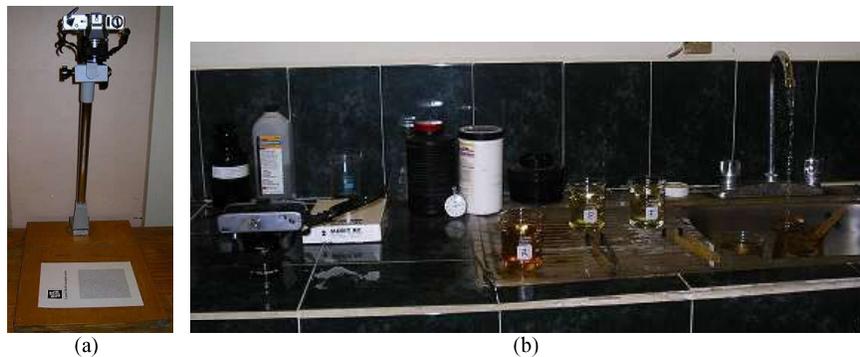


Figura 4. a) Equipo empleado en la foto reducción (cámara fotográfica y base para fijar la altura de la cámara a la que se tomara la foto-reducción del patrón impreso) y b) en el revelado.

5. SISTEMA DE RECONSTRUCCIÓN

La Fig. 5 muestra el sistema óptico utilizado en la reconstrucción. El holograma es enmarcado para que solamente incida luz a través de él. El holograma colocado en el sistema óptico, se ilumina con un frente de onda coherente, para reconstruir el frente de onda original en el plano de reproducción (plano de la imagen), esto con la ayuda de una lente.

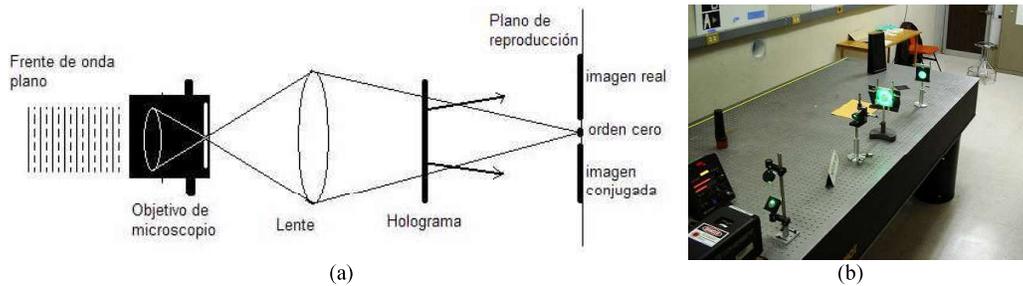


Figura 5. a) Sistema óptico. b) Fotografía del sistema óptico

6. PRUEBAS DE LABORATORIO

Las imágenes reconstruidas en las Figs. 6(b), 7(b) y 8(b), se obtuvieron aplicando el procedimiento propuesto. Pero las imágenes reconstruidas en las Figs. . 6(c), 7(c) y 8(c), cuando estaban el proceso digital se multiplicó por factor de fase tal que es posible obtener estos resultados. En las imágenes reconstruidas en la Fig. 6 se utilizó el objeto de la Fig. 6(a). Para obtener la Fig. 6(c), en el proceso digital se multiplica la transformada de Fourier del objeto por un factor de fase, esto es, se aplica el teorema del cambio para recuperar la imagen con un desplazamiento en alguna de las direcciones o en ambas².

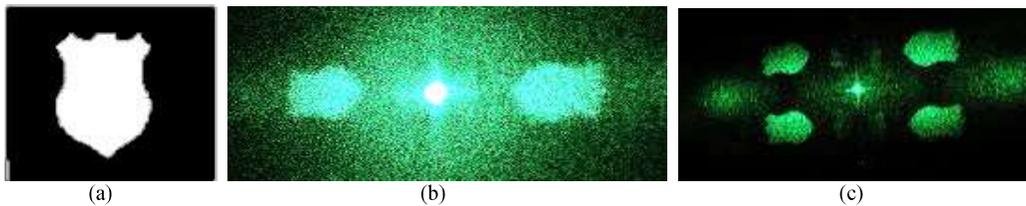


Figura 6. a) Objeto, b) imagen reconstruida, c) imagen reconstruida, cuyos datos del holograma fueron multiplicados por un factor de fase.

En las imágenes reconstruidas de la Fig. 7, se utiliza el mismo objeto bidimensional, con amplitud y fase (fase aleatoria asignada) en la Fig. 7(b) y de sólo amplitud en la Fig. 7(c). Los resultados obtenidos en la Fig. 8 son los mismos que en la Fig. 7, utilizando el negativo del objeto de la Fig. 7.

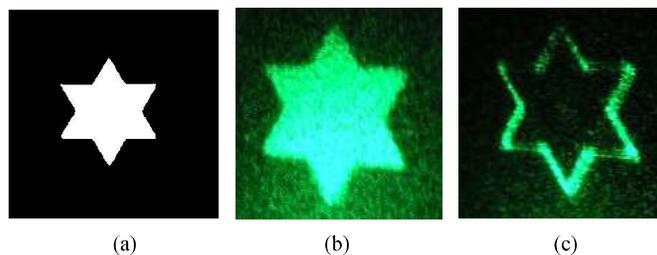


Figura 7. a) Objeto, b) imagen reconstruida cuyo objeto tiene amplitud y fase aleatoria, c) imagen reconstruida cuyo objeto es sólo amplitud.

7. CONCLUSIONES

Como se puede ver es posible simular un holograma óptico, de una forma muy sencilla. Y como se dijo anteriormente, no se pretende dar nuevos resultados, sino ayudar de alguna manera a las personas interesadas, a que conozcan de una forma rápida y fácil lo más básico en la generación de hologramas digitales. En la actualidad hay diferentes tipos de hologramas generados por computadora, con diferentes aplicaciones. El tipo de holograma digital utilizado en el proceso de fabricación presentado, es conocido como tipo *detour*³. Cabe señalar que el procedimiento puede cambiar de acuerdo al tipo de holograma que se quiera generar.

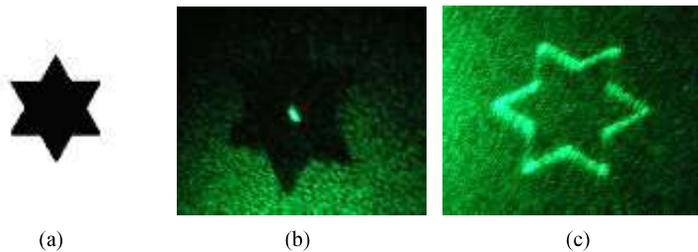


Figura 8. Utilizando el negativo del objeto de la Fig. 7, se repiten los experimentos

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a ^aCONACYT (México) y a ^bPROMEP por el financiamiento parcial a este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. B. R. Brown and A.W. Lohmann, "Complex spatial filtering with binary masks," *Appl. Opt.* 5, (1966), pp. 967-969 .
2. M. A. Araiza, et al, "Desplazamientos de imágenes con hologramas generados por computadora," *Rev. Mex. de Física* 46, (2000), pp.300-303.
3. A. W. Lohmann, "How to make computer holograms," Report of "Holography 71," Boston, April 14 -15, 43 - 49 (1971).A. W. Lohmann, "How to make computer hologramas", *Holography 71*, Boston, 1971, pp. 43 -49.