

## TÉCNICAS ÓPTICAS DE COMPRESIÓN DE DATOS HOLOGRAFICOS

Alejandro Velez Zea<sup>1</sup>, Sorayda Trejo<sup>2</sup>, John Fredy Barrera<sup>2</sup>, Myrian Tebaldi<sup>1</sup>, Roberto Torroba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UIDET OPTIMO, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina y Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET La Plata-CIC-UNLP)

<sup>2</sup> Grupo de Óptica y Fotónica, Instituto de Física, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Actualmente, la holografía convencional evolucionó en una técnica opto-digital para el registro de campos ópticos, denominada holografía digital, que aprovecha las ventajas de los sistemas ópticos unidos a la flexibilidad del procesamiento digital [1]. La holografía digital, de la misma manera que la holografía convencional, requiere el conocimiento de la información de la fase y de la amplitud del frente de onda. Esto se logra mediante el registro de la interferencia entre el haz que proviene del objeto y un haz de referencia [2] o múltiples imágenes desplazadas en fase [3].

Como ya mencionamos, un holograma digital contiene información tanto de amplitud como de fase, por lo tanto es evidente que almacenar este tipo de datos implicará un volumen mayor al de una imagen que contiene solo información de amplitud.

Se han desarrollado numerosas técnicas para reducir el volumen de datos holográficos tales como la cuantización [4], el filtrado [5] y algoritmos de compresión con y sin pérdida, es decir reduciendo o no la calidad de los datos [6]. Uno de los algoritmos de compresión de imágenes con pérdidas más utilizados es el del Joint Photography Expert Group (JPEG) [7]. En este algoritmo la reducción del volumen trae aparejada una pérdida de la calidad de la imagen. Por otra parte, una técnica exitosa debería garantizar una máxima reducción del volumen de datos con una mínima pérdida.

En la Ref. [8] se verificó que el algoritmo JPEG no es eficiente cuando se trabaja con imágenes que exhiben ruido aleatorio. Sin embargo, el efecto indeseado del ruido se puede reducir mediante el uso de técnicas de filtrado de la imagen de entrada.

Por otra parte, en la Ref. [9] se encontró que la aplicación del JPEG a hologramas digitales no es la más adecuada dado que la componente de fase del holograma presenta variaciones aleatorias. Asimismo, debemos destacar que ese ruido aleatorio lleva la información necesaria para la reconstrucción del holograma. Es consecuencia, el ruido aleatorio que exhibe la componente de fase no se puede eliminar por procedimientos de filtrado, conspirando en consecuencia contra la eficiencia del método.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una técnica alternativa que sea eficiente para disminuir el volumen de datos holográficos, reduciendo a un mínimo la pérdida de calidad de la información reconstruida. La propuesta está basada en el uso de un sistema óptico virtual para realizar un escalado de los datos del campo óptico obtenido a partir del holograma. Se analizará la capacidad de compresión de nuestra propuesta y se la comparará con el JPEG. Por otra parte, se evaluará la calidad de la información reconstruida. La métrica utilizada para evaluar la calidad de los datos reconstruidos en términos de la reducción del volumen es el coeficiente de correlación (CC) [10].

### Método de escalado óptico y su comparación con el algoritmo de compresión JPEG

Los datos son generados utilizando el arreglo experimental de holografía digital de Fourier fuera de eje de la Figura 1. Sobre la cámara CCD se registró el patrón de interferencia formado entre el haz de referencia y la transformada de Fourier de un objeto

tridimensional difuso. El holograma almacenado en la cámara CCD se muestra en la Figura 2. Posteriormente, se realiza digitalmente la transformada de Fourier del holograma registrado, obteniéndose un orden central y un par de órdenes difractados debido a las franjas de interferencia almacenadas (ver Figura 3). Los órdenes difractados corresponden a la TF del campo del objeto y su complejo conjugado, respectivamente. Luego, se selecciona uno de los órdenes difractados filtrando los términos restantes (como se indica en la Figura 3) y se aplica la transformada de Fourier inversa (IFT), obteniéndose los datos del campo óptico mostrados en la Figura 4. Finalmente, la realización de la TF sobre este campo óptico de datos permite reconstruir el objeto (ver Figura 5).

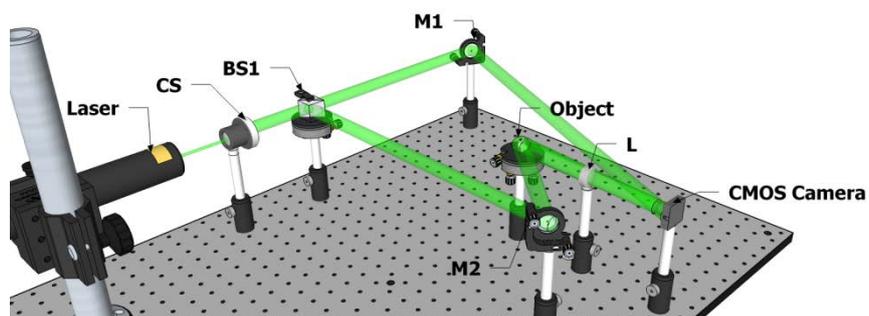


Figura 1: Esquema del arreglo experimental de holografía digital de Fourier fuera de eje (CS: sistema colimador, BS: divisor de haz, M: espejo, L: lente).

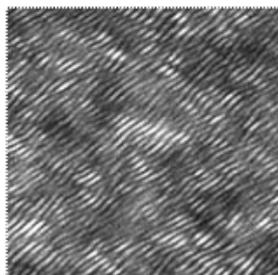


Figura 2: Holograma almacenado en la cámara CCD.

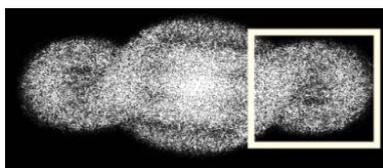


Figura 3: Transformada de Fourier del holograma registrado.

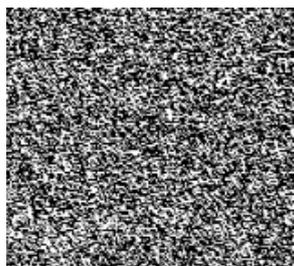


Figura 4: Intensidad del campo óptico obtenido.

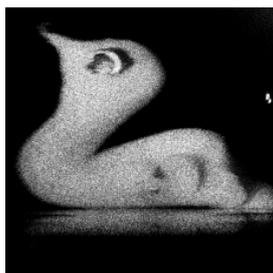


Figura 5: Objeto reconstruido cuando no se emplea ninguna técnica de compresión

Aunque la operación de filtrado mencionada anteriormente reduce el volumen de los datos a ser almacenados, buscaremos una alternativa que nos permita comprimir aún más el volumen. En nuestro caso, los datos del campo óptico mostrados en la Figura 4 serán procesados con la técnica de escalado óptico propuesta. El escalado se basa en la formación de la imagen del campo óptico con una lente convergente con un aumento menor a uno, como se indica en la Figura 6. El escalado sobre el campo óptico se realizará digitalmente. El objetivo de la propuesta es disminuir el volumen de los datos procesados. Dado que ese volumen depende del tamaño del dato filtrado, la magnificación  $M$  debe ser menor que 1. Téngase en cuenta que si la magnificación fuese mayor que uno, se produciría un aumento del volumen. En resumen, en nuestro caso los datos del campo óptico se procesarán con el método de escalado óptico para valores de magnificación entre 0 y 1 [12].

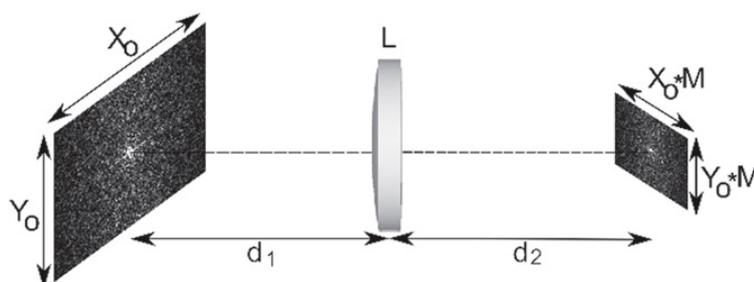


Figura 6: Sistema óptico virtual utilizado para el escalado del campo óptico ( $d_1$ : distancia objeto,  $L$  lente convergente,  $d_2$ : distancia imagen,  $X_0$  y  $Y_0$  tamaño objeto,  $M=d_2/d_1$  magnificación).

El desempeño de la técnica de compresión será cuantificado a través de la evaluación de la diferencia de volumen,

$$\Delta V = V_R - V_C \quad (1)$$

donde  $V_R$  es el volumen del campo óptico sin compresión y  $V_C$  el volumen del campo óptico comprimido. El volumen  $V_C$  es la cantidad de bytes que ocupa el archivo en la memoria de la computadora luego de aplicar el procedimiento de escalado óptico. El volumen será expresado en KB. La misma evaluación se realizará sobre los datos que surjan luego de aplicar la técnica de compresión JPEG.

Como mencionamos anteriormente, las técnicas de escalado óptico y JPEG son técnicas con pérdida, por lo tanto se debe evaluar la calidad de los datos recuperados. En nuestro caso, dicha calidad se determinará mediante el coeficiente de correlación  $CC$  entre los objetos reconstruidos a partir de datos comprimidos y no comprimidos, y definido como:

$$CC = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2\right)}} \quad (2)$$

donde  $m, n$  son las coordenadas de los píxeles,  $A$  la intensidad del objeto reconstruido a partir del campo óptico no comprimido,  $B$  la intensidad del objeto reconstruido a partir de los datos del campo comprimido y,  $\bar{A}, \bar{B}$  son los valores medios de  $A$  y  $B$ , respectivamente.

Para generar el holograma del cisne (Figura 5) se utiliza un láser de estado sólido (DPSS) bombeado por diodo de la marca Laserglow Technologies con una longitud de onda de 532 nm y una potencia de salida de 50 mW. La figura de interferencia se registra usando una cámara CMOS EO-10012M, con un tamaño de píxel de  $1,67 \mu\text{m} \times 1,67 \mu\text{m}$  y una resolución de 3480 píxeles  $\times$  2748 píxeles. El objeto tiene dimensiones de 18 mm  $\times$  24 mm  $\times$  16 mm. La distancia focal  $L$  de la lente es de 200 mm. Luego del proceso de filtrado, se aplica la transformada de Fourier inversa (IFT) sobre los datos, obteniéndose el campo óptico cuya área es de 940 pixels  $\times$  940 pixels.

Para el escalado, los datos del campo óptico se procesaron para valores de magnificación entre 0 y 1. En cambio en el caso del JPEG, el grado de compresión se controlara mediante el factor de calidad (FC) y que puede tomar valores entre 1 y 100. Recordemos que el formato JPEG funciona subdividiendo la imagen de entrada en bloques de 8x8 píxeles. A continuación se aplica una transformada de coseno discreta (DCT) a cada bloque, y se realiza una cuantificación de los componentes de la transformación resultante. Luego, los datos se comprimen adicionalmente mediante la aplicación del método de Huffman [11]. El factor de calidad FC está determinado por el grado de cuantificación de la DCT que es la parte con pérdidas del algoritmo JPEG.

En las Figuras 7 y 8 se presentan las diferencias de volumen  $\Delta V = V_R - V_C$  del campo óptico sin compresión y comprimido en términos del CC, para el escalado óptico y empleando el algoritmo JPEG, respectivamente. Notar que cada punto de la curva de escalado óptico corresponde a una disminución de 0,05 del valor de la magnificación, comenzando en el valor 1, mientras que cada marcador de la curva de compresión JPEG representa una disminución del FC en pasos de 5, comenzando en 100. En las Tablas 1 y 2 se indican las diferencias de volumen, el CC para diferentes valores de la magnificación en el escalado óptico y del factor de calidad FC en el caso del algoritmo de JPEG. La compresión JPEG logra la mayor reducción de volumen en el intervalo FC entre 100 y 45. Notar que una reducción adicional del factor de calidad degrada severamente la calidad del objeto reconstruido para un pequeño aumento en la diferencia de volumen. Por otro lado, el escalado óptico admite una menor pérdida de calidad que la compresión JPEG a altas relaciones de compresión, como se pone en evidencia al observar las Figuras 7 y 8 y las Tablas 1 y 2.

Finalmente, en la Figura 9 a) se muestra la imagen reconstruida sin compresión y en la Figura 9 b) la imagen reconstruida obtenida a partir del campo óptico comprimido empleando el escalado óptico para una magnificación de 0.45. Esta magnificación significa una reducción del 80 % del tamaño en KB del archivo del campo óptico. Además, con respecto al holograma original la compresión resulta para este ejemplo del 96%.

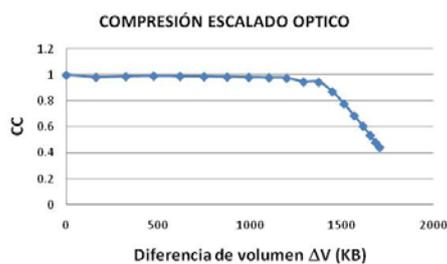


Figura 7: Diferencia de volumen  $\Delta V = V_R - V_C$  en términos del CC para diferentes magnificaciones en el escalado óptico

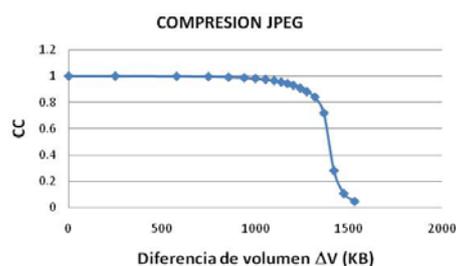


Figura 8: Diferencia de volumen  $\Delta V = V_R - V_C$  en términos del CC para diferentes FC empleando el algoritmo de compresión JPEG

Tabla 1. Diferencia de volumen  $\Delta V = V_R - V_C$  en términos del CC para diferentes magnificaciones en el escalado óptico

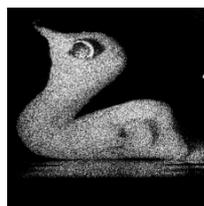
M con escalado óptico	$\Delta V$ (KB)	CC
1	0	1.0000
0.95	162	0.9832
0.9	324	0.9884
0.85	476	0.9927
0.8	620	0.9902
0.75	750	0.9876
0.7	876	0.9849
0.65	994	0.9823
0.6	1104	0.9795
0.55	1200	0.9764
0.5	1292	0.9472
0.45	1374	0.9453
0.4	1448	0.8727
0.35	1512	0.7779
0.3	1567.6	0.6864
0.25	1615.6	0.6056
.2	1655	0.5344
0.15	1684.4	0.4786
0.1	1706.28	0.4408

Tabla 2. Diferencia de volumen  $\Delta V = V_R - V_C$  en términos del CC para diferentes FC empleando el algoritmo de compresión JPEG

FC con JPEG	$\Delta V$ (KB)	CC
100	0	1.0000
95	250	0.9995
90	579	0.9980
85	749	0.9954
80	857	0.9916
75	941	0.9867
70	1001	0.9807
65	1055	0.9733
60	1101	0.9647
55	1139	0.9546
50	1172	0.9433
45	1204	0.9287
40	1241	0.9085
35	1276	0.8809
30	1320	0.8396
25	1368	0.7176
20	1422	0.2791
15	1474.7	0.1048
10	1532.6	0.0447



a)



b)

Figura 9: a) Imagen reconstruida con los datos ópticos sin compresión y b) Imagen reconstruida con el escalado óptico y una magnificación de 0.45

## CONCLUSIONES

En nuestro trabajo se pone de manifiesto que una compresión mediante la técnica JPEG sobre información que contiene ruido no resulta eficiente. Por esa razón, proponemos una alternativa de aplicabilidad en técnicas de holografía digital que ineludiblemente contiene ruido de speckle. A lo largo de la presentación se demuestra que alcanzamos reducciones importantes sin pérdidas significativas de calidad.

## References

- [1] Ulf Schnars, Werner Jueptner Digital Holography. Digital Hologram Recording, Numerical Reconstruction, and Related Techniques, Springer Verlag, Berlin 2005.
- [2] Velez A, Barrera J F and Torroba R 2015 One-step reconstruction of assembled 3D holographic scenes *Opt. Laser Technol.* **75** 146-50.

- [3] Darakis E and Soraghan J J 2007 Reconstruction domain compression of phase-shifting digital holograms *Appl. Opt.* **46** 351-6.
- [4] Mills G A and Yamaguchi I 2005 Effects of quantization in phase-shifting digital holography *Appl. Opt.* **44** 1216-25.
- [5] Cuche E, Marquet P and Depeursinge C 2000 Spatial filtering for zero-order and twin-image elimination in digital off-axis holography *Appl. Opt.* **39** 4070-75.
- [6] Naughton T J, Frauel Y, Javidi B and Tajahuerce E 2002 Compression of digital holograms for three-dimensional object reconstruction and recognition *Appl. Opt.* **41** 4124-32.
- [7] Wallace G K 1992 The JPEG still picture compression standard *IEEE Trans. Consum. Electron.* **38**xviii – xxxiv.
- [8] Shahnaz R, Walkup J F and Krile T F 1999 Image compression in signal-dependent noise *Appl. Opt.* **38** 5560-7
- [9] Darakis E and Soraghan J J 2006 Compression of interference patterns with application to phase-shifting digital holography *Appl. Opt.* **45** 2437-43.
- [10] Trejos S, Barrera J F, Velez A, Tebaldi M and Torroba R 2016 Optical approach for the efficient data volume handling in experimentally encrypted data *J. Opt.* **18** 065702
- [11] Huffman D A 1952 A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes *Proceedings of the I.R.E.* 1098-101.
- [12] Trejos S, Barrera J F, Velez A, Tebaldi M and Torroba R 2016 Optical approach for the efficient data volume handling in experimentally encrypted data *J. Opt.* **18** 065702.