

Reconstrucción Holográfica Digital en Tiempo Real

J.G. Velásquez-Aguilar, M. Arias-Estrada, A. Zamudio-Lara
jgpeva@uaem.mx, ariasm@inaoep.mx, azamudio@uaem.mx

Resumen

En este proyecto, se pretende llevar a cabo el procesamiento de hologramas digitales, con la finalidad de realizar la reconstrucción tridimensional de objetos mediante la extracción de la información que los hologramas proporcionan. Se pretende que el algoritmo de procesamiento sea implementado bajo una arquitectura paralela para incrementar la velocidad de procesamiento. Se utilizarán objetos de tamaño microscópico. Los hologramas serán generados por el sistema óptico e introducidos a través de un sensor CMOS a un FPGA (Field Programmable Gate Array). Los resultados serán desplegados en una pantalla.

1. Introducción

La holografía es una técnica óptica ampliamente utilizada para almacenar y reconstruir información de amplitud y fase de un frente de onda [1]. Anteriormente, los hologramas eran grabados en materiales fotosensitivos y el proceso de reconstrucción era iluminando el holograma con un haz de referencia. Sin embargo, el procesar los materiales fotosensitivos es lento relativamente, ocasionando problemas de tiempo. En holografía digital (HD), la reconstrucción se hace numéricamente utilizando imágenes holográficas [2, 3]. La HD permite analizar características como la profundidad focal y cambios de fase [4], esto posibilita la generación de imágenes tridimensionales.

Muchos métodos de reconstrucción numérica han sido explorados [5, 6 y 7]. Sin embargo, debido a que el procesamiento de imagen implica grandes recursos de cómputo, suele ser una tarea excesiva para computadoras convencionales.

El incremento en la capacidad de los chips FPGA y los avances en optimización de algoritmos para procesamiento proporcionan una solución viable para aplicaciones en tiempo real en el área de procesamiento de imagen. El uso FPGA soluciona el retraso en tiempo de los resultados obtenidos en los sistemas interferométricos convencionales.

2. Motivación

Existen diversos artículos teóricos y experimentales sobre algoritmos de reconstrucción tridimensional de objetos a partir de su holograma, la mayoría de ellos se han enfocado en proponer y mejorar técnicas, reducir errores, etc. Poco se ha explorado en el sentido del procesamiento en tiempo real de este tipo de técnicas. Se utiliza en la mayoría de los casos una computadora para realizar la reconstrucción.

Dispositivos como microscopios tridimensionales, proporcionan reconstrucción a través de computadoras dedicadas al procesamiento. Lamentablemente, el costo de estos equipos es muy elevado. En diversos sectores tal como el industrial, a menudo se requiere sensar objetos en lugares muy reducidos, por lo que, el uso de estos dispositivos no es viable.

Una alternativa para realizar este tipo de trabajos es con tecnología que permita realizar el procesamiento en tiempo real de la información, que sea flexible y de bajo costo relativamente, esto se puede realizar mediante el uso de FPGA's.

3. Objetivos

El objetivo general del proyecto es realizar la reconstrucción tridimensional de objetos microscópicos en base a hologramas digitales, realizando el procesamiento de imágenes en tiempo real.

Los objetivos particulares son:

- Implementación de un sistema óptico adecuado para la obtención de los hologramas digitales.
- Extracción de la información tridimensional proporcionada por los hologramas.
- Reconstrucción del objeto en tiempo real.

4. Metodología

Para llevar a cabo la implementación del sistema, se realizarán las siguientes tareas:

- Selección e implementación del sistema óptico.

- Implementación de una arquitectura para el procesamiento, basada en un FPGA.
- Banco de pruebas de reconstrucción.

5. Avances de la Investigación

Hasta este momento, el proyecto se ha desarrollado trabajando con objetos transparentes, bajo la idea de obtener una secuencia de hologramas mediante la rotación del objeto, lo que permitirá obtener la forma tridimensional del objeto y reconstruirlo mediante un algoritmo implementado en el FPGA. Se está trabajando paralelamente en dos aspectos:

Por una parte, se han realizado pruebas para la obtención de hologramas con gran sensibilidad, para ello se está utilizando un arreglo interferométrico de Mach-Zehnder. Dado que los objetos a reconstruir serán de tamaño microscópico, necesitamos frecuencias altas para observar pequeñas variaciones en la superficie del objeto.

Se cuenta con un sensor CMOS cuyo tamaño de píxel es de $3.2\mu\text{m} \times 3.2\mu\text{m}$ y tiene una región activa de $6.55\text{mm} \times 4.92\text{mm}$. Para detectar un cambio en la superficie del objeto se necesitan al menos 4 píxeles. Dadas las características de nuestro sensor, el cambio más pequeño que podemos detectar es de $12.8\mu\text{m}$. Para alcanzar este grado de sensibilidad, necesitamos que la frecuencia sea:

$$f = 312 \text{ líneas/mm}$$

lo cual es una frecuencia muy alta que requiere de un sistema óptico muy sensitivo. Hasta el momento no hemos obtenido una imagen de buena calidad con esta frecuencia.

Por otro lado, se han estado realizando programas de procesamiento de imagen con el FPGA. Los programas realizados hasta el momento solo procesan un holograma, ya que se han presentado algunos problemas en cuanto a sincronización del procesamiento y la obtención de las imágenes. Aun no se han analizado algoritmos de reconstrucción en el FPGA.

6. Resultados Preliminares

Se obtuvieron patrones de interferencia de un objeto transparente Figura 1. Se realizó el proceso de reconstrucción tridimensional en base a los cambios de fase proporcionados por el interferograma, utilizando MatLab Figura 2.

7. Referencias Bibliográficas

- [1] D. Gabor, "A New Microscopic Principle", *Nature* (London), 161, pp. 777-778, May 1948.
- [2] U. Schnars, "Direct phase determination in hologram interferometry with use of digitally recorded holograms", *Opt. Soc. Am. A.*, 11, 7, July 1994.
- [3] L. Yu and L. Cai, "Iterative algorithm with a constraint condition for numerical reconstruction of a three-dimensional object from its hologram", *Opt. Soc. Am. A.*, 18, 5, May 2001.
- [4] M. Gustafsson, M. Sebesta, B. Bengtsson, S.G.Petersson, P. Egelberg and T. Lenart, "High-resolution digital transmission microscopy – a Fourier holography approach", *Optics and Laser in Engineering*, 41, pp. 553-563, 2004.
- [5] D. X. Zheng, Y. Zhang, J. L. Shen C. L. Zhang and G. Pedrini, "Wave field reconstruction from a hologram sequence", *Optics Communications*, 249, pp. 73-77, 2005.
- [6] T. Zhang and I. Yamaguchi, "Three-dimensional microscopy with phase-shifting digital holography", *Optics Letters*, 23, 15, August 1998.
- [7] F. Dubois, L. Joannes and J. C. Legros, "Improved three-dimensional imaging with a digital holography microscope with a source of partial spatial coherence", *Applied Optics*, 38, 34, December 1999.

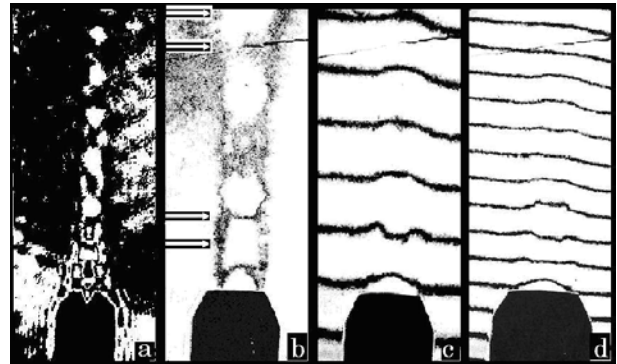


Figura 1. (a) Shadowgrama, (b-d) Interferogramas de haz de referencia reconstruido: (b) con franjas infinitas (c, d) con franjas finitas.

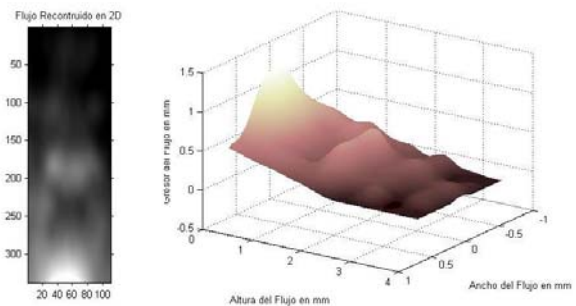


Figura 2. a) Interferograma base. b) Flujo en 2D obtenido del análisis de cambios de fase en el interferograma. c) Flujo reconstruido en 3D.