

Recibido: 08.10.2021 • Aceptado: 03.10.2021

Palabras clave: Cámara, holografía, microscopía óptica.

Imágenes con cámara de un solo píxel

ARMANDO SANTOS AMADOR

paradoja1177@gmail.com

RAÚL EDUARDO BALDERAS NAVARRO

raul.balderas@uaslp.mx

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN COMUNICACIÓN ÓPTICA, UASLP

MA. AUXILIADORA ARAIZA ESQUIVEL

aralizama@uaz.edu.mx

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, UAZ

La obtención y almacenamiento de imágenes tridimensionales (3D) es de interés en diferentes disciplinas de ciencias e ingenierías. Para lograrlo, la información óptica que emana de un objeto es grabada o capturada por un dispositivo o sensor para posteriormente recrear y analizar el objeto original. Esta técnica en particular se conoce como holografía y tiene sus orígenes en 1947, fue una invención del físico húngaro Dennis Gabor por la que fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1971.

La holografía es una técnica de imagen 3D que se divide en dos etapas: registro y reconstrucción. En la primera, una fuente de luz y la información óptica proveniente de un objeto inciden en la zona activa de un medio de registro y con ello toda la información del objeto es codificada en éste mediante franjas a diferentes frecuencias (holograma). En la segunda etapa, el medio de registro es iluminado con la fuente de luz utilizada en la etapa de registro y el objeto original es finalmente reconstruido (figura 1).

Con la llegada de computadoras y dispositivos de registro digital, los medios sensibles de registro fueron reemplazados por sensores de imágenes, gracias a ello surgió la técnica de holografía digital, la cual se basa en el uso de algoritmos computacionales para describir la luz propagada por un objeto y así obtener su reconstrucción tridimensional. En la actualidad se desea extender la holografía digital en regiones del espectro

electromagnético más allá del visible; en particular, en las regiones de infrarrojo. Aunque la operación de sensores de luz sería más costosa, por ello se ha introducido el uso de las llamadas cámaras de un solo píxel que, a diferencia de las cámaras CCD o CMOS, representan una ventaja en el costo; así como su operatividad en la región infrarroja (Edgar, Gibson y Padgett, 2019).

¿Qué es una cámara de un solo píxel?

Con el creciente uso de cámaras de video y dispositivos celulares, los sensores de imagen han aumentado cada vez más su resolución o cantidad de megapíxeles, una característica que usualmente se utiliza como métrica en la calidad del dispositivo y es muy usada para su publicidad y promoción. En las disciplinas científicas los sensores de imagen más utilizados son las cámaras CCD y CMOS, cuyas estructuras están compuestas por arreglos de píxeles que permiten obtener imágenes

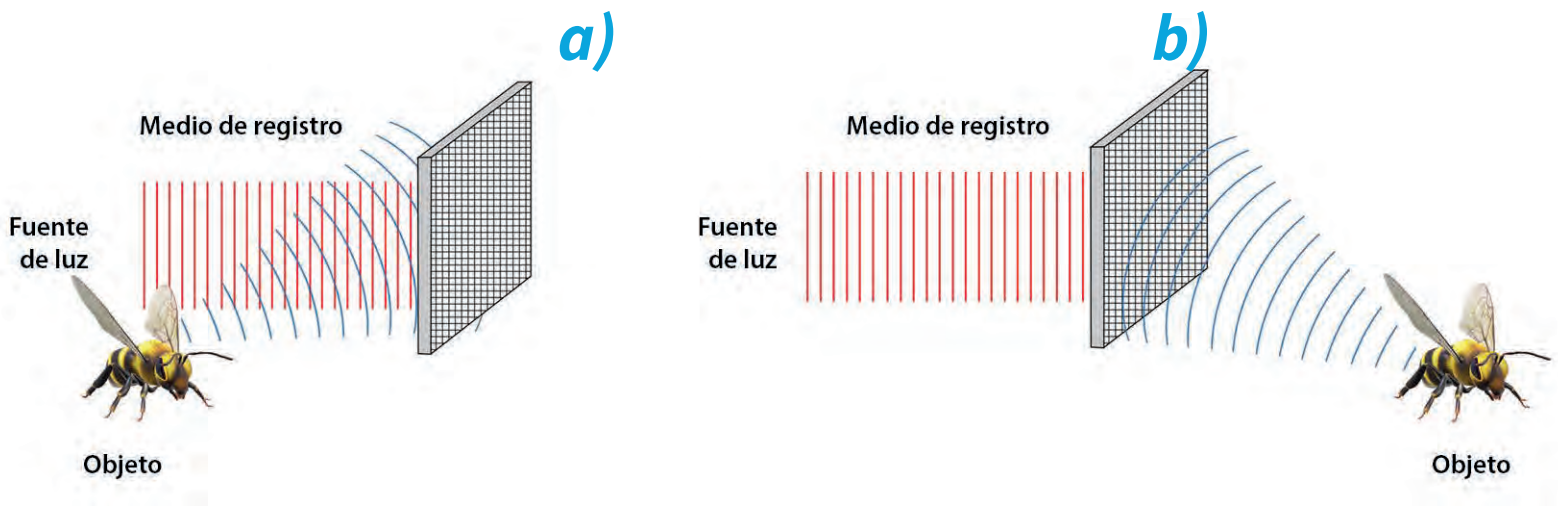


Figura 1. Técnica holográfica. a) Registro de holograma y b) reconstrucción del objeto original (imagen).

La holografía es una técnica de imagen 3D que se divide en dos etapas: registro y reconstrucción

en diferentes regiones del espectro, las más comunes son aquellas que trabajan en la región visible. Cuando el fenómeno analizado se encuentra fuera del espectro visible, es necesario utilizar cámaras especializadas cuyo costo es más elevado.

Una cámara de un solo píxel es un dispositivo que permite registrar imágenes de un objeto en escena mediante el uso de un detector de un solo píxel, es decir, con un sensor de un millón de veces más pequeño que el utilizado en un celular cuya cámara es de un megapíxel. Las principales diferencias entre los sensores de imagen y las cámaras de un solo píxel son el principio de operación, el tamaño del sensor y el costo, este último es un factor muy importante en el desarrollo de experimentos científicos. Las cámaras de un solo píxel surgen como una propuesta a bajo costo frente a los sensores de imagen y que además son capaces de operar en un rango espectral más amplio que el de las cámaras CCD y CMOS, es una buena alternativa de imagen en las que estas últimas resultan ser costosas o imprácticas.

¿Cómo funciona una cámara de un solo píxel?

A diferencia de los sensores de imagen utilizados en cámaras CCD y CMOS, que mapean una a una las intensidades de un objeto en escena en tiempo real, las cámaras de un solo píxel obtienen imágenes mediante dos procesos no simultáneos: muestreo y reconstrucción. En la etapa de muestreo, un objeto es iluminado con una fuente de iluminación cuya forma (estructura) es bien conocida y la luz resultante de tal proyección se lleva información consigo de muchos lugares a la vez, el resultado de tal proyección es medido con un detector de un solo píxel y la respuesta en intensidad es registrada a través de una computadora. Este proceso se repite y cambia en cada medición la información de la máscara enviada en la fuente de iluminación; el número de máscaras enviadas al objeto es el cuadrado de la resolución elegida para la cámara de un solo píxel. En la etapa de reconstrucción, mediante un algoritmo computacional, cada coeficiente de intensidad medido es pesado por la información proyectada en el objeto en el mismo orden en que fueron registrados. El resultado final es un mapa de intensidad (imagen) del objeto puesto en escena, las regiones claras y oscuras indican un aumento o disminución en la iluminación de la escena capturada, respectivamente (figura 2).

Cámaras de un solo píxel



Es un dispositivo que permite registrar imágenes de un objeto en escena mediante el uso de un detector de un solo píxel, es decir, con un sensor de un millón de veces más pequeño que el utilizado en un celular cuya cámara es de un megapíxel.



Este tipo de cámaras trabajan más lento, pero tienen la ventaja de tener un espectro electromagnético de operación más amplio (desde el rojo hasta el ultravioleta).



Obtienen imágenes mediante dos procesos no simultáneos: muestreo y reconstrucción.



Otra ventaja es que obtienen imágenes afectadas con ruido generado por la iluminación de fondo y opera en ambientes escasos de luz.



También han demostrado su capacidad para obtener imágenes a través de medios dispersivos, característica que puede ser explotada en las áreas de biología y medicina.



En el IICO-UASLP, se ha iniciado la investigación del desarrollo de técnicas de procesamiento de señales basadas en cámaras de un solo píxel (utilizando un fotodiodo de silicio), en su aplicación en holografía digital, quizás en un futuro no muy lejano nos informen sobre los avances obtenidos.

Santos, Balderas y Araiza (2022). *Universitarios Potosinos*. pp.1-7.

¿Por qué usar una cámara que trabaja más lento? Las cámaras convencionales CCD o CMOS son rápidas; sin embargo, existen casos en donde una cámara de un solo píxel tiene la ventaja de tener un espectro electromagnético de operación más amplio (desde el ultravioleta, hasta el infrarrojo), así que es una buena alternativa de sistema de imagen en estos escenarios.

¿Cómo se obtienen imágenes tridimensionales?

La cámara de un solo píxel, mediante el procedimiento descrito anteriormente, permite reconstruir únicamente imágenes de intensidad (o amplitud) del objeto en esce-

na. Para la obtención de una imagen 3D es necesario el uso de la técnica de holografía. La cual se basa en añadir una fuente de iluminación extra e incidirla junto a la información del objeto en un detector de un solo píxel. Este proceso, a diferencia del anterior, permite obtener las intensidades del objeto muestreado tomando en cuenta la fuente de iluminación de la técnica de holografía. Con la aplicación de un algoritmo computacional y el emparejamiento de cada coeficiente medido con la máscara de iluminación usada, se genera un holograma de la escena. Mediante cómputo y usando una descripción de la propagación de luz de forma inversa, la información

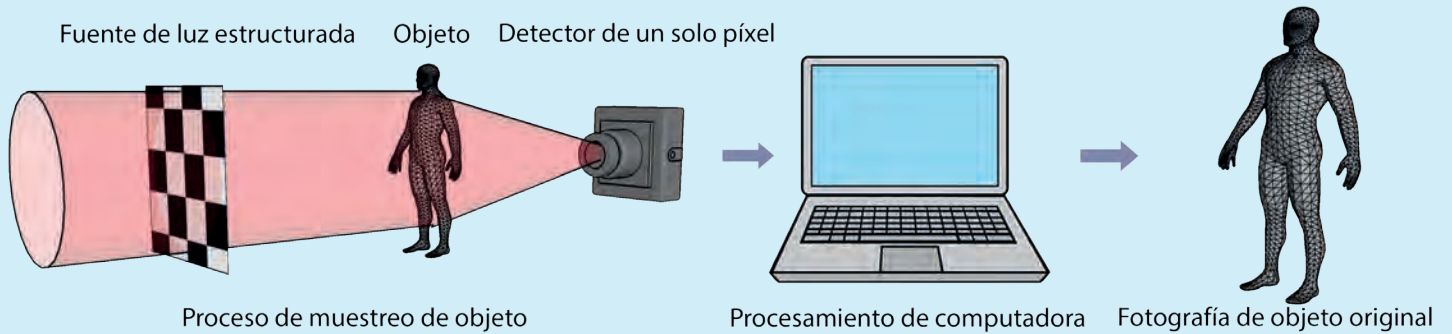


Figura 2.

Metodología de la cámara de un solo píxel. De izquierda a derecha: se ilumina el objetivo con un frente de onda artificial conformado por un conjunto de patrones bidimensionales (matriciales) y enfocados en un fotodetector. Los datos registrados en dicho detector se digitalizan y procesan para recuperar la imagen del objeto (Santos-Amador, 2021).

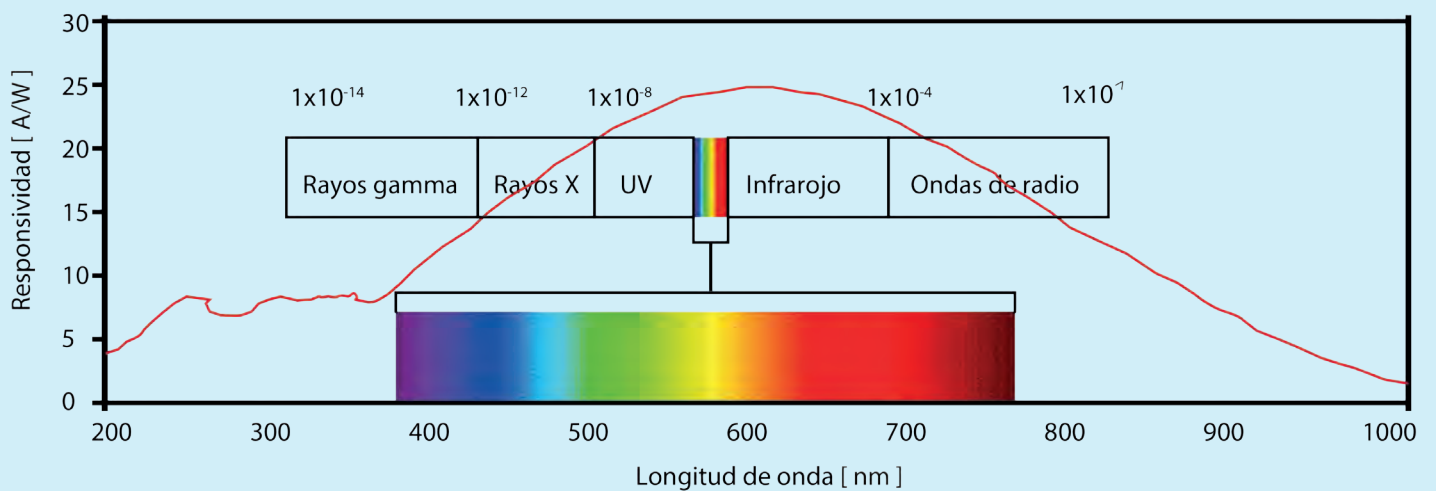


Figura 3.

Rango electromagnético de detección de un detector del solo píxel (silicio) empleado en este trabajo (Santos-Amador, 2021).

tridimensional o fase del objeto es reconstruida. Las imágenes tridimensionales reconstruidas en este trabajo fueron obtenidas mediante la combinación de la técnica de holografía y el uso de la cámara de un solo píxel.

¿Cuáles son los beneficios de esta tecnología?

Como se señaló líneas antes, las cámaras de un solo píxel, a diferencia de los sensores de imagen CCD y CMOS, pueden operar en un rango espectral más amplio; lo cual se ve directamente reflejado en el costo, debido a que el dispositivo permite obtener imágenes en donde se requiere el uso de cámaras especializadas y, por lo tanto, más costosas. Por ejemplo, si se requiere una medición en el infrarrojo, visible y ultravioleta, es necesario adquirir cámaras sensibles a esas bandas espectrales. Por su parte, la cámara de un solo píxel tiene la capacidad de obtener imágenes en las mismas regiones del espectro sin la necesidad de adquirir equipo extra (figura 3).

Otra característica de las cámaras de un solo píxel es que obtiene imágenes afectadas con ruido generado por la iluminación de fondo y opera en ambientes escasos de luz. Además, estudios de Tejahuerce *et al.* (2014) han demostrado su capacidad para obtener imágenes a través de medios dispersivos, característica que puede ser explotada

en las áreas de biología y medicina, en particular en la medición de muestras a través de algún tejido o piel.

La combinación de esta tecnología con la de holografía digital permite obtener imágenes tridimensionales de objetos en un gran rango espectral de manera no invasiva y no destructiva. Con estas reconstrucciones es posible obtener parámetros tales como el índice de refracción o las dimensiones de la muestra, lo que resulta de mucho interés para una caracterización completa de la misma. Además, aplicado a otras técnicas como la de microscopía, permite el análisis de dichas muestras a escalas microscópicas (Santos-Amador, 2021).

Trabajo experimental

En el Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), se ha implementado una cámara de un solo píxel para la obtención de imágenes de objetos tridimensionales aplicando las técnicas de holografía digital y microscopía. Con ello ha sido posible la obtención de las dimensiones e índices de refracción en algunas muestras biológicas a escala microscópica de manera no invasiva y no destructiva. Los resultados encontrados ofrecen la misma información cuantitativa que los obtenidos con

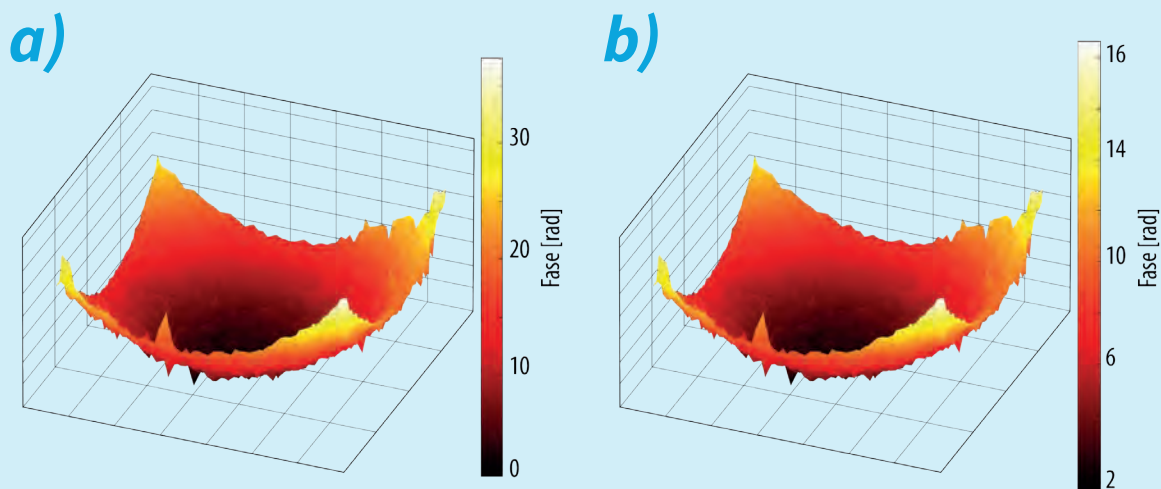


Figura 4. Imagen de fase correspondientes a: a) lente biconvexa área analizada de $3.5 \times 3.5 \text{ mm}^2$ y b) células de epidermis de cebolla área. de $440 \times 220 \text{ }\mu\text{m}^2$.

Es maestro en ciencias aplicadas por la Facultad de Ciencias de la UASLP, en donde actualmente estudia el Doctorado en Ciencias Aplicadas y desarrolla el proyecto "Microscopía de materiales magnéticos".



una cámara CMOS, e indican una buena correspondencia entre ambos sistemas de imagen (figura 4).

Conclusiones

Las técnicas de detección de imágenes complejas son importantes desde el punto de vista de las aplicaciones tecnológicas y científicas. En particular, la holografía digital se potenciará en la medida en que se cuenten con sensores fotónicos accesibles con la capacidad de detección en un rango más amplio del espectro electromagnético. Para tal fin, en los laboratorios de Espectroscopías y Procesamiento de Señales Ópticas del IICO-UASLP, se ha iniciado la investigación del desarrollo de técnicas de procesamiento de señales basadas en cámaras de un solo píxel (en particular, utilizando un fotodiodo de silicio), en su aplicación en holografía digital.

Agradecimientos

Por su invaluable apoyo en la elaboración de este escrito a los doctores Amparo Rodríguez Cobos y Gustavo

Ramírez Flores del Instituto de investigación en Comunicación Óptica de la UASLP.

Agencias de apoyo:

Este trabajo recibió recursos del proyecto Conacyt Ciencia Básica-252867 y de Infraestructura 2019-299552.

Referencias bibliográficas:

- Gabor, D. (1948). A new microscopic principle. *Nature*, 161, pp. 777-778.
- Edgar, M. P., Gibson, G. M. y Padgett, M. J. (2019). Principles and prospects for single-pixel imaging. *Nature Photonics*, 13, pp.13-20.
- Santos-Amador, A. (2021). *Aplicación de las bases Hadamard, coseno y noiselet en microscopía holográfica digital de un solo píxel* [tesis de maestría], Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Repositorio Institucional en Optoelectrónica (RIO), IICO UASLP.
- Santos-Amador, A., Araiza Esquivel, M. A., González, H., Rodríguez Cobos, A., Tejahuerce, E., Martínez Leon, et. al (2021). Phase and amplitude reconstruction in single-pixel transmission microscopy: a comparison of Hadamard, cosine, and noiselet bases. *Applied optics*, 60, pp. 6935-6942.
- Tejahuerce, E., Durán, V., Clemente, P., Irlés, E., Soldevila, F., Andrés, P. y Lancis, J. (2014). Image transmission through dynamic scattering media by single-pixel photodetection. *Optics Express*, pp. 16945-16955.