

Sistema óptico HSI mediante la conjugación de la pupila con la superficie de un espejo refractor

Luis Arturo Tapia-Alarcón, Martín Alberto Vázquez-Castrejon,
J. Jesús Escobedo-Altorre, Omar Palillero-Sandoval

Centro de Investigación en Ciencias básicas y Aplicadas (CIICAp),
Universidad Autónoma del Estado de Morelos,
México

omar.palillero@uaem.mx

Resumen. En un sistema óptico formador de imágenes con luz incoherente, el estudio de imágenes espectrales es de gran importancia debido al gran contenido de información que se puede obtener de algún objeto en cuestión. Con ayuda de un objeto colocado en la pupila de salida, y siguiendo la teoría de formación de imágenes se muestra el diseño un sistema formador de imágenes que permite observar el espectro óptico de un objeto de prueba, en este caso una abertura circular y un filamento de una lámpara incandescente, mediante la conjugación de la pupila sobre un espejo refractor que, con un sistema mecánico para realizar el escaneo, obtenemos un conjunto de imágenes hiperespectrales.

Palabras clave: Spectral imaging, image processing, optical systems.

1. Introducción

El diseño de sistemas ópticos formadores de imágenes ha visto un desarrollo desde hace tiempo en las técnicas espectroscópicas, como medio de análisis e inspección no invasivo, debido a la posibilidad de obtener información sobre los componentes de una muestra basándose en la absorción de la luz [1-4]. Con el apoyo de las técnicas espectroscópicas del visible/infrarrojo cercano y las técnicas de visión por computadora, ha surgido lo que se conoce como espectroscopia de imágenes [5-7]. Las imágenes hiperespectrales son un mapa de intensidad de luz que se puede extender en una o varias regiones del espectro electromagnético [8]. Las imágenes hiperespectrales son un conjunto de datos tridimensionales de un objeto o muestra, estos datos contienen información espacial y espectral. Al conjunto de datos tridimensional comúnmente se le denomina “cubo hiperespectral”. Los datos de un cubo hiperespectral pueden revelar información oculta, como por ejemplo la composición química o anatómica de un objeto [9]. Las imágenes hiperespectrales a menudo se utilizan para detectar elementos físicos y geométricos. Características tales como color, tamaño, forma y textura. También se puede utilizar para extraer información química y molecular intrínseca (como agua, grasas, proteínas y otros constituyentes) de un producto. Los sistemas de imágenes hiperespectrales o también llamados HSI tienen la capacidad de obtener

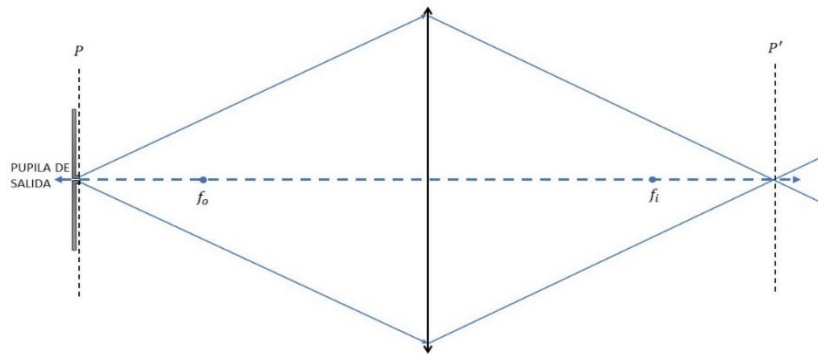


Fig. 1. El objeto en este caso, la pupila de salida, y los puntos de la imagen en P' , corresponden entre sí y pueden intercambiarse.

imágenes de más de 100 bandas espectrales. Los elementos principales de un sistema formador de imágenes espectrales son los siguientes [10]: Fuente puntual de luz, lentes y filtros, sensor de imagen, sistema de barrido, y hardware y software para procesamiento de imágenes.

2. Conjugación de pupila

Se entiende como conjugación de planos cuando el plano P , es el plano P' , tal que los puntos P son imágenes de P' .

En relación con la conjugación de pupila, tomamos la salida de la pupila como el plano P , y a la superficie del espejo refractor como el plano P' , de manera que la pupila es imagen de la pupila que se forma sobre la superficie del espejo difractor.

Teniendo como base la teoría de formación de imágenes, y aplicando el tratamiento matemático para el caso con luz incoherente, se puede describir matemáticamente la obtención de las imágenes hiperespectrales mediante la conjugación de pupila y obedeciendo a la siguiente ecuación:

$$\dots\dots g(x,y) = h(x,y) * O_i(x,y).. , \quad (1)$$

donde $g(x,y)$ corresponde a la imagen, $h(x,y)$ al sistema óptico y $O(x,y)$ la intensidad del objeto.

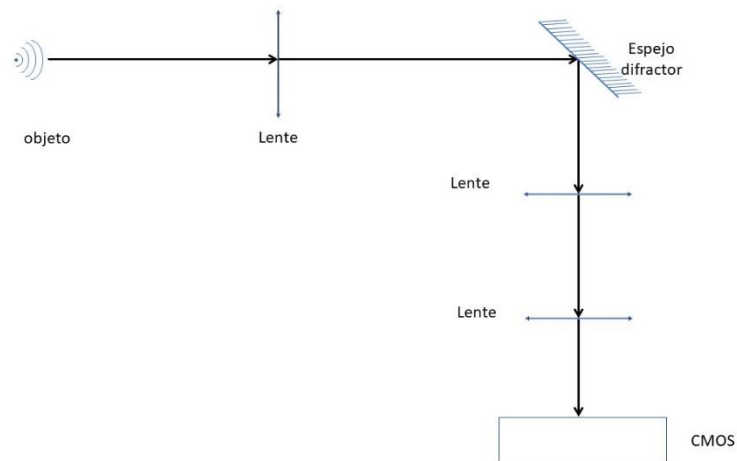


Fig. 2. Esquema del sistema formador de imágenes.

3. Diseño de experimento y resultados

3.1 Diseño de experimento

Con ayuda de un objeto prueba, colocado en la pupila de salida del sistema óptico, se monta un sistema formador de imágenes que permite observar el espectro óptico del objeto. Para este trabajo, se utiliza un espejo que contiene una rejilla sobre su superficie lo cual da a lugar a una conjugación de planos para obtener la formación de imágenes, este método se conoce como conjugación de la pupila.

- El sistema se probó utilizando una apertura circular en el plano del objeto, para simular una fuente cuasi-puntual.
- Posterior a la pupila se colocó una lente para colimar los rayos de luz provenientes de ella.
- En seguida con el haz de luz colimada de colocó un espejo difractor de forma cóncava.
- Finalmente, con el reflejo de la luz ya difractada se monta un sistema de lentes telescópico y se forma la imagen sobre el detector CMOS.

Un sistema mecánico realiza el escaneo en el plano imagen, la cantidad de imágenes obtenidas pertenecen a imágenes hiperespectrales.



Fig. 3. Resultados de la segmentación de frecuencias de la luz emitida por LED.

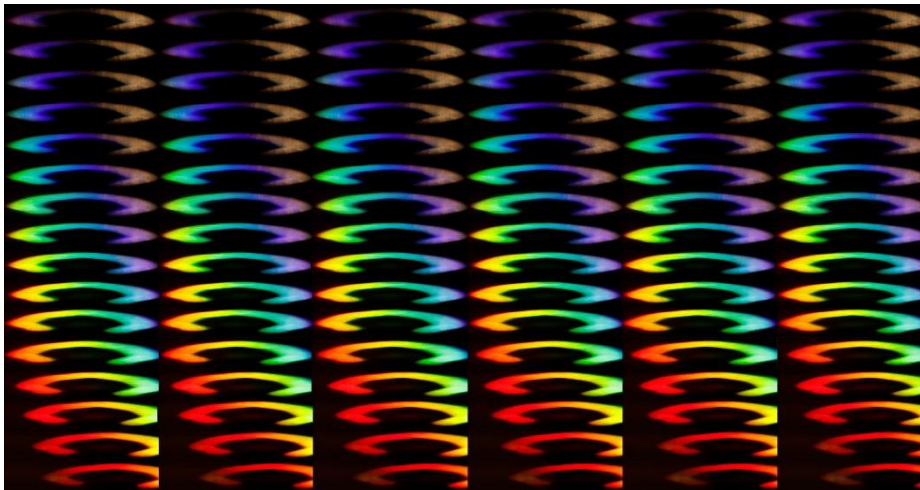


Fig. 4. Segmentación frecuencial del filamento incandescente.

3.2 Resultados

Las primeras pruebas se realizaron con un LED blanco, al cual se le colocó una pupila enfrente de manera que se pudiera simular una fuente cuasi-puntual, de esta prueba logramos obtener un set de imágenes donde se observa la transición de las frecuencias del espectro óptico en las que emite el LED, se puede apreciar claramente como en las zonas más frías del espectro emite con mayor intensidad, pero en la zona del espectro rojo, se aprecia en menor medida.

Se volvió a realizar el procedimiento, pero se sustituyó el LED por un foco incandescente, el cual nos permitió observar un mayor rango de frecuencias del espectro mucho mejor definidas y con más intensidad en su filamento, lo que nos permitió corroborar como el sistema es capaz de obtener una gran cantidad de imágenes a lo largo de todo el espectro óptico que emite un objeto.

4. Conclusiones

Con un sistema formador de imágenes se puede tener una gran cantidad de imágenes en el ancho del espectro de la luz visible, como se puede observar en el filamento del foco incandescente, inclusive la configuración, no cambiaría mucho si se desea medir infrarrojo cercano y el UV.

Esta técnica permite realizar análisis de imágenes espectrales que contienen una gran cantidad de información en áreas como los son el estudio de muestras biológicas o químicas, para así conocer su estado, defectos o incluso si están contaminadas con algún agente externo.

Referencias

1. ElMasry, A.G., Sun, D.W.: Principles of Hyperspectral Imaging Technology. *Hyperspectral Imaging Food Qual. Anal. Control*, pp. 3–43 (2010). doi: 10.1080/10408398.2010.543495.
2. Du, C.J., Sun, D.W.: Learning Techniques Used in Computer Vision for Food Quality Evaluation: A Review. *J. Food Eng.*, 72(1), pp. 39–5, (2006). doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.11.017.
3. Goodman, J.W.: *Introduction to Fourier Optics*. (1996)
4. Fowles, G.R., Lynch, D.W.: *Introduction to Modern Optics*, 36(8) (1968)
5. Zavala-De Paz, J., Isaza, C., Mosquera-Mosquera, J., Anaya-Rivera, E., Rizzo-Sierra, J., Palillero-Sandoval, O., Escobedo, J.: Non-Invasive Methodology for the Study of Wound Healing Process Using Spectral Images. *IEEE Latin America Transactions*, 18(4), pp. 687–695 (2020). doi: 10.1109/TLA.2020.9082211.
6. Isaza, C., Mosquera, J.M., Gómez-Méndez, G.A., Rizzo-Sierra, J.A., Palillero-Sandoval, O.: Development of an Acousto-Optic System for Hyperspectral Image Segmentation. *Metrology and Measurement Systems*, 26(3), pp. 517–530 (2019) doi: 10.24425/mms.2019.129576.
7. Inoue, T., Hirai, A., Itoh, K., Ichioka, Y.: Compact Spectral Imaging System Using Liquid Crystal for Fast Measurement. *Optical Review*, 1(2), pp. 205–207, (1994). doi: 10.1007/s10043-994-0205-x.
8. Levenson, R.M.: Spectral Imaging Perspective on Cytomics. *Cytometry Part A*, 69(7), pp. 592–600 (2006). doi: 10.1002/cyto.a.20292.
9. Qiao, J., Wang, N., Gariépy, C., Prasher, S., Ngadi, M.O.: Pork Quality and Marbling Level Assessment Using a Hyperspectral Imaging System. *Journal of Food Engineering*, 83(1), pp. 10–16 (2007). doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.010.