

IMPLEMENTACIÓN DE UN ANALIZADOR DE ESPECTROS ÓPTICOS CONTROLADO CON UN SOFTWARE DESARROLLADO EN LABVIEW

López Ruiz Sergio (1), Duran Ramírez Iván Arat (2), Vargas Rodríguez Everardo (3), Guzman Chavez Ana Dinora (4)

1 [Licenciatura en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Universidad de Guanajuato, DICIS Irapuato-Salamanca Sede Yuriria] | [s.lopezruiz@ugto.mx]

2 [Escuela de Nivel Medio Superior Centro Histórico León, Universidad de Guanajuato] | [ivan.duranrmz@gmail.com]

3 [Departamento de Estudios Multidisciplinarios, DICIS, Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [evr@ugto.mx]

4 [Departamento de Estudios Multidisciplinarios, DICIS, Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [ad.guzman@ugto.mx]

Resumen

En este trabajo se presenta la implementación de un analizador de espectros ópticos (OSA). El cual está basado en principio de dispersión de la luz por medio de una rejilla de dispersión. La luz dispersada se hace llegar en una cámara CCD, de manera tal que cada longitud de onda incide en pixeles específicos. Para controlar la adquisición de imágenes de la cámara CCD y el cálculo automático de los espectros se desarrolló un programa en LabVIEW. Además, el software desarrollado permitió definir parámetros como número de muestras a ser adquiridas y promediadas para reducir el ruido en el cálculo de los espectros. El OSA implementado cubre parte de la región espectral del visible (VIS) de 400-650 nm.

Abstract

In this work the implementation of an optical spectrum analyzer (OSA) is presented. This is based on the optical dispersion principle which was achieved by means of a dispersive grating. Here the dispersed light arrives at a CCD camera in such a way that each wavelength reach to specific pixels. In order to control the image acquisition with the CCD and to automatically calculate the spectrum a computer program was developed on LabVIEW. Moreover, our developed software allowed the user to define parameters such as the number of samples to be acquired and averaged in order to noise minimization in the calculated spectra. Finally the implemented OSA covers part of the visible (VIS) spectral region from 400-650 nm.

Palabras Clave

Espectro visible; Anchura espectral; Rejilla de dispersión

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los analizadores de espectros ópticos (Optical Spectrum Analyzer, OSA) son instrumentos de medición frecuentemente utilizado para el análisis de señales ópticas. Una de las principales características del OSA es que este permite analizar señales de diferentes aplicaciones como por ejemplo las señales acústicas, las señales de comunicaciones por fibra óptica. Así mismo sirve para realizar medidas de potencia en función de la longitud de onda. Sus aplicaciones incluyen la caracterización de fuentes de luz (fuentes de luz blanca, diodos de emisión de luz (LED) y laser) y su distribución de potencia y pureza espectral (anchura espectral); así como la medida de características de transmisión, reflexión y absorción de componentes ópticos pasivos [1].

Marco teórico

De forma general un espectrómetro comercial se compone de varios componentes básicos. Por ejemplo, en la IMAGEN 1, se presenta el diagrama de un espectrómetro USB2000+(Custom) [2] donde la luz entrante es descompuesta en sus diferentes longitudes de onda por medio de un arreglo de lentes y de una rejilla de dispersión. Las diferentes longitudes de onda son dirigidas a un arreglo de detectores ópticos para posteriormente poder analizar la intensidad de cada una de ellas.

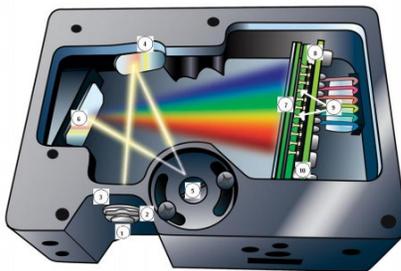


IMAGEN 1: Espectrómetro USB2000 + con componentes

Rejilla de difracción

La rejilla de difracción se utiliza para dispersar la luz; es decir, separar espacialmente la luz de diferentes longitudes de onda [3], esto se puede describir en la ecuación (1):

$$\sin \theta_n = \frac{n\lambda}{g}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Donde n es el orden de difracción, g el espaciado de las rendijas de la rejilla y λ es la longitud de onda de la luz incidente, el ángulo de deflexión depende de la longitud de onda de la luz incidente. Las fuentes de luz convencionales (luz blanca o LED), emiten luz compuesta de muchas longitudes de onda mezcladas. Por medio de una rejilla de dispersión estas longitudes de onda se pueden separar espacialmente y esto implica independientemente si la rejilla se usa en modo de transmisión o reflexión. En términos generales entre mayor sea la longitud de onda el ángulo de deflexión será mayor.

MATERIALES Y MÉTODOS

El OSA desarrollado en el presente trabajo estuvo basado en la cámara CCD (BC106-VIS CCD Camera Beam Profiler, 350-1100 nm de THORLABS) utilizada como detector de luz. Para controlar la adquisición de imágenes se desarrolló un programa en LabVIEW 2017 (de National Instruments). En nuestro programa se implementó la interfaz y todo el código necesario para realizar las funciones del OSA. En este programa desarrollado también usamos el módulo TLBC1 para establecer la comunicación serial de la PC con la cámara BC106-VIS. Cabe mencionar que el software, Thorlabs Beam en su versión 5.1 puede ser empleado como apoyo para la obtención de datos para después procesarlos en Matlab en su versión R2013a sin embargo con LabVIEW ofrece una gran flexibilidad para desarrollar un sistema automático de control/adquisición de datos. Para llevar a cabo este trabajo se utilizó el espectrómetro USB200+(custom) 200-1100 nm como referencia para calibrar nuestro OSA.

EL software de nuestro OSA lo trabajamos en un computador portátil Lenovo ideapad 100-14IBY modelo 80MH, utilizando MS Windows 10 como sistema operativo con las siguientes características de hardware:

- Procesador: Intel(R) Celeron(R) CPU N2840 @ 2.16GHz
- Memoria (RAM): 4.00GB

- Tipo de sistema: Sistema Operativo de 64 bits

Los LEDs de prueba que caracterizamos en el proyecto fueron de color blanco, rojo, amarillo, verde y azul.

Para descomponer la luz en sus componentes de longitudes de onda se utilizó el EDU-SPEB1/M Advanced Spectrometer Kit. Utilizando el arreglo con rejilla del manual de usuario del kit [4] el cual se muestra en la IMAGEN 2



IMAGEN 2: Espectrómetro de rejilla, trayectoria del haz.

Donde se agregó la cámara BC106-VIS y un lente convexo para lograr que todas las longitudes de onda correspondientes al espectro visible entrarán en las dimensiones del sensor de la cámara como se muestra en la IMAGEN 3

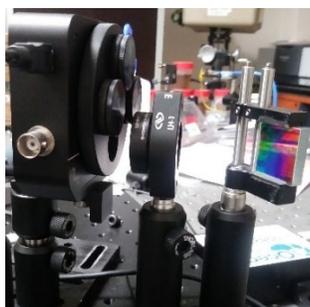


IMAGEN 3: Adaptación del haz al detector de la cámara con un lente convexo

El detector de la cámara BC106-VIS tiene una forma rectangular de 6.6 mm x 8.8 mm con aproximadamente 1.4 mega píxeles. Una vez estando el sistema fijo y teniendo la comunicación cámara-LabVIEW se obtuvieron los datos en forma de matrices de una dimensión de 1023 x 1360 píxeles, entrando a un ciclo donde el número de iteraciones son las muestras tomadas por el programa LabVIEW para generar el espectro, a se le hizo un promediado dato a dato con las iteraciones eliminando ruido y una mejor precisión.

Con cada matriz promedio se identifico el número mayor para conocer su posición en pixel para

posteriormente hacer la asignación de pixel con longitud de onda.

Para hacer dicha asignación se obtuvieron los espectros de cada color con el USB2000+ exportando los datos del Ocean-View a Matlab, en estos datos se identificó el número mayor por color y su posición en longitud de onda. Teniendo la posición en pixel del número mayor y la posición del número mayor en longitud de onda de cada uno de los colores se grafico pixeles contra longitud de onda sin tomar en cuenta el color blanco para buscar una ecuación que tienda a la grafica y con ello hacer la asignación. Recordando que la rejilla cambia el ángulo de deflexión conforme la longitud de onda aumenta.

Del proceso anterior se obtiene una ecuación para relacionar cada pixel con una longitud de onda específica (IMAGEN 4). Una vez que se tiene esta relación se puede realizar un programa que controle la cámara y calcule los espectros. El diagrama a bloques del programa en LabVIEW se muestra en la IMAGEN 5. La adquisición de una muestra de un espectro se realiza en tiempo quasi real.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La IMAGEN 4 se muestra la curva encontrada que describe el valor de cada pixel en longitud de onda y esta dada por las ecuaciones (2) y (3)

$$\theta = ax^2 + bx + c \quad (2)$$

$$\lambda = g \sin(\theta) \quad (3)$$

Donde $a=-9.43353e-9$, $b=2.97727e-4$, $c=0.522735$ y $g=1e6/1200$.

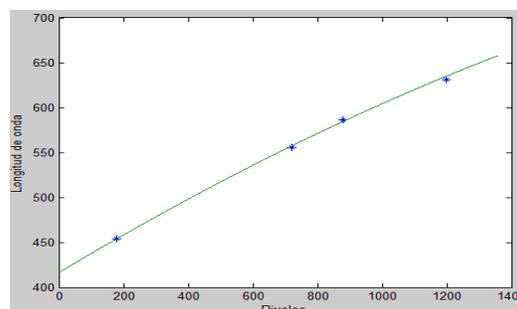


IMAGEN 4: (*) Píxeles donde se localiza el punto de emisión máxima de cada LED medido con nuestro OSA, (-) Ajuste con ecuaciones (2) y (3) de las longitudes de onda donde se localiza la emisión máxima medida con el OSA USB2000+(Custom).

La distribución de las longitudes de onda de la luz dispersada por pixeles no es lineal y este comportamiento es mas visible entre mayor sea la longitud de onda. Por lo que con las ecuaciones (2) y (3) establecemos la relación longitud de onda posición espacial del pixel.

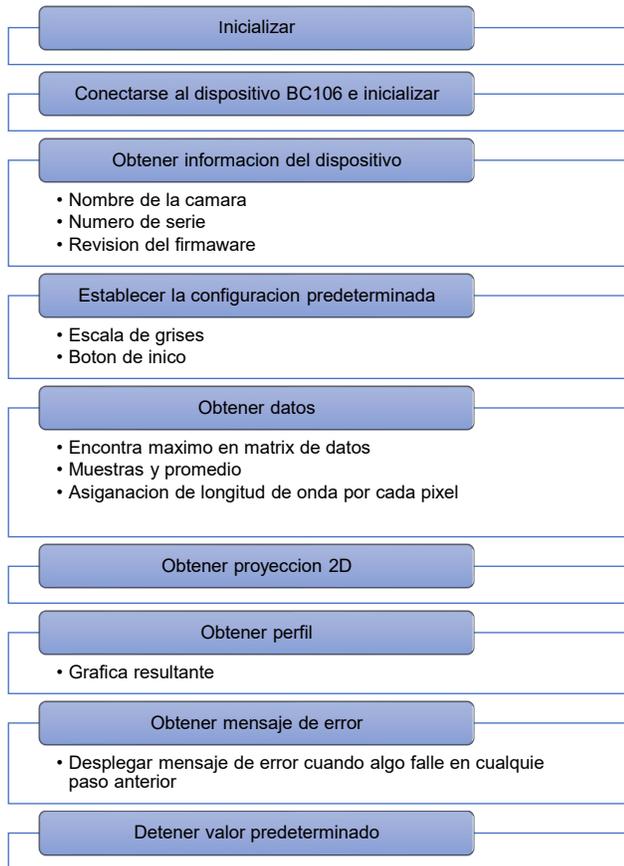


IMAGEN 5: Diagrama a bloques del software desarrollado.

En la IMAGEN 6 se muestra la interfaz del OSA en LabVIEW. Donde P_Max [nm] es la ubicación del punto más alto en longitud de onda en nanómetros, P_Position es la ubicación de punto más alto en pixel y P_Mode es la precisión deseada utilizando el promedio a mayor número de muestras (P_Mode) promediadas mayor precisión y menor ruido, sin embargo, esto aumenta el tiempo de calculo del espectro. En La IMAGEN 7a se muestra una vista en escala de grises; en la IMAGEN 7b se presenta la vista de la imagen a color, los ejes de estas dos imágenes están en pixeles. La IMAGEN

7c muestra el perfil del espectro de la fuente de luz medida. Finalmente en la Figura 7d se muestran algunos datos de las características del espectro medido.

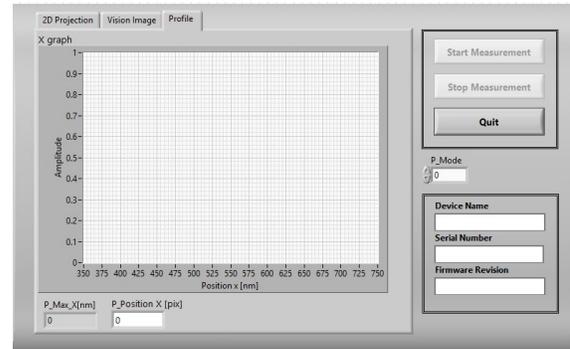


IMAGEN 6: Vista de la interfaz en LabVIEW

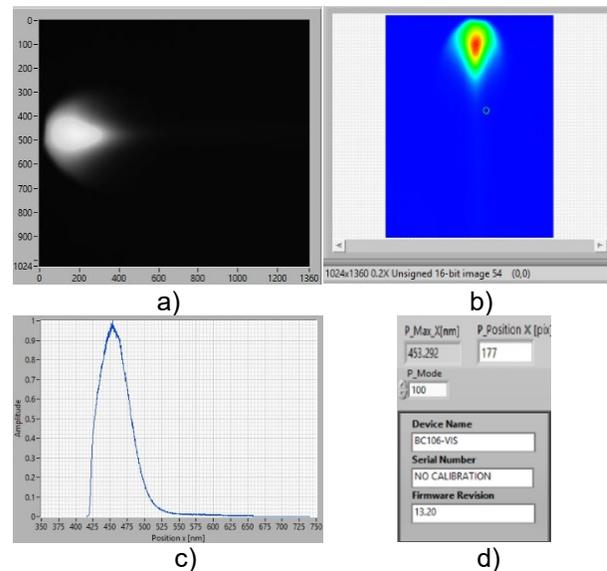


IMAGEN 7: Vista de la interfaz en LabVIEW y sus graficas obtenidas con haz de luz azul.

En la IMAGEN 8 muestra la comparación de los espectros medidos con el espectrómetro USB2000 (líneas de color verde) con el OSA desarrollado en este trabajo (líneas de color azul) Se puede observar en la IMAGEN 8 ambos son similares con excepción de los espectros de los LEDs blanco y azul. Estos cambios espectrales se deben a que las rejillas utilizadas en los dos OSAs son diferentes. Cabe mencionar que típicamente la proporción de luz reflejada por longitud de onda no es constante y

varía entre los diferentes modelos de rejillas. Sin embargo, esto no es un problema, debido a que, para medir el espectro de una muestra sólida, gaseosa o líquida con un analizador de espectros normalmente se mide el espectro de la fuente de luz que se va a usar en la medición (background) y posteriormente se adquieren los espectros de medición y con estos dos se puede calcular el espectro de transmisión y reflexión de la muestra.

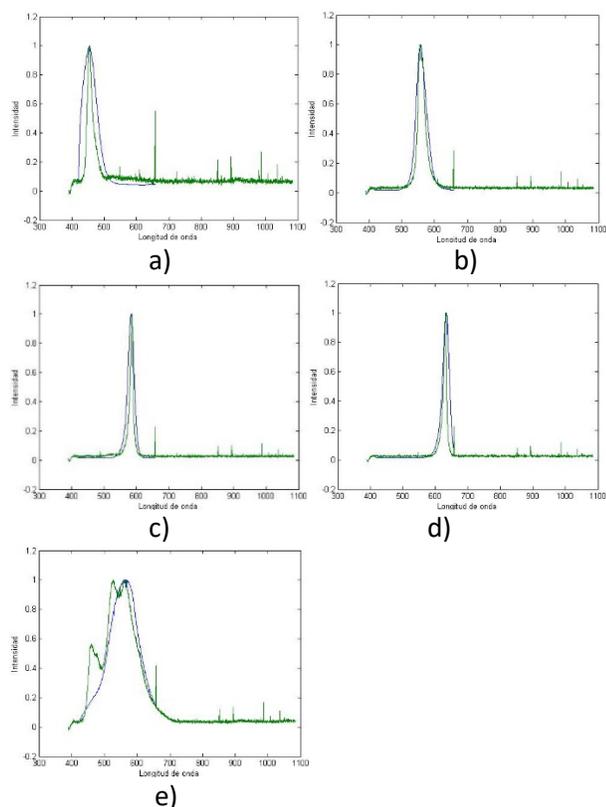


IMAGEN 8: Comparación de espectros del espectrómetro USB2000+ y el OSA LabVIEW, a) azul, b) verde, c) amarillo, d) rojo, e) blanco.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos se demuestra que se puede implementar un analizador de espectros ópticos en el rango visible con LabVIEW y una cámara CCD obteniendo resultados muy cercanos a un espectrómetro comercial, con un error máximo de 3.811 nm. Este error se puede reducir este aumentando el número puntos para

una mejor calibración y mejorar el sistema de dispersión de la luz. En cuanto al desarrollo del software de control se demuestra que se puede implementar de manera eficiente y flexible que nos podría permitir ampliar las capacidades de equipos como un perfilómetro para usarlo como analizador de espectros.

Tabla 1: Comparación de longitudes de onda de los colores utilizando el espectrómetro USB2000+ y el OSA LabVIEW

COLOR	USB2000+	OSA LabVIEW	Error
Azul	453.8900 nm	453.292 nm	0.598 nm
Verde	555.4980 nm	556.742 nm	1.244 nm
Amarillo	586.0090 nm	582.198 nm	3.811 nm
Rojo	631.4870 nm	632.034 nm	0.547 nm
Blanco	558.4190 nm	561.828 nm	3.409 nm

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la universidad de Guanajuato por el apoyo brindado a mi asesor de proyecto el Dr. Everardo Vargas Rodríguez, a mi compañero Iván Arat Duran Ramírez y a M.I Adán flores Balderas. Agradecemos al Dr. J.M. Estudillo Ayala, por facilitarnos el OSA USB2000+ que sirvió como referencia. Así También a todas las personas que me brindaron el apoyo para a realizar este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Analizador de espectros ópticos (introducción). En departamento de tecnología fotónica y biogeniería. Recuperado el 19 de julio de 2018 de http://www.tfo.upm.es/docencia/2006-07/LIBRO_LCOP/Desarrollo_PE1.pdf
- [2] Ocean optics(USB2000+ manual).En oceanoptics.com. Recuperado el 19 de julio 2018 de <http://oceanoptics.com/wp-content/uploads/USB2000-Operating-Instructions1.pdf>
- [3] Newport (Diffraction Grating Physics). En newport.com. Recuperado el 19 de julio de 2018 de <https://www.newport.com/t/grating-physics>.
- [4] Thorlabs,(EDU-SPEB1/M. En thorlabs.com. Recuperado el 19 de julio de 2018 de https://www.thorlabs.com/drawings/b2698e53b2f39952-05D6F5C5-0E2C-4B9F-08F0F04093FF5112/EDU-SPEB1_M-EnglishManual.pdf