

CONTROL SEMI-AUTOMÁTICO DE LOS BRAZOS DE UN INTERFERÓMETRO

Vallejo García, Gustavo Andrés (1), Shulika, Oleksiy (2)

¹[Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Universidad de Guanajuato] | [ga.vallejogarcia@ugto.mx]

²[Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [oshulika@ugto.mx]

RESUMEN

Este proyecto muestra el diseño y desarrollo de un sistema de automatización para el posicionamiento de un brazo en un Interferómetro de Michelson alimentado por una fuente de luz blanca con aplicaciones en caracterización de materiales cristalinos. Mediante el procesamiento de imágenes en tiempo real se detecta el punto de equilibrio del interferómetro. El procesamiento de imágenes se realizó en el software NI LabView al igual que la GUI en la que el usuario puede elegir entre los modos manual y automático, así como diferentes configuraciones del perfil de velocidad para realizar el desplazamiento del microposicionador.

ABSTRACT

This project provides a study of the design and development of a system to automatically position an arm on a Michelson interferometer fed by a white light source with applications on crystalline materials characterization. Balance condition is found through the real-time image processing. The image processing, as well as the GUI, was created on NI LabView. The user can choose between manual or automatic modes as well as the velocity profile and other settings.

PALABRAS CLAVE

Interferómetro de Michelson; Franjas de interferencia; Fuente de luz blanca; Procesamiento de imágenes; Camino Óptico; LabView.

Introducción

Antecedentes

- *Interferencia de dos haces*

La interferencia entre dos haces es la superposición de dos ondas. Cuando las crestas de dos ondas alcanzan el mismo punto de manera simultánea, la amplitud de la onda resultante es la suma de amplitudes de las dos ondas de forma individual. Y de manera inversa, una cresta y un valle que alcancen un punto simultáneamente serán anuladas entre sí. [1]

Una onda de luz puede ser descrita por su frecuencia, amplitud y fase, de lo que depende el patrón de interferencia resultante. Un patrón de interferencia puede ser observable siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones. La luz en un haz tiene que ser temporal y espacialmente coherente con el otro haz en la región en donde las líneas de interferencia serán observadas. Además, las propiedades de polarización de ambos haces tienen que ser compatibles, las irradiancias relativas de ambos haces deben ser de magnitudes similares y finalmente, la diferencia de camino óptico (OPD) tiene que ser menor que la longitud de coherencia (L_c). [2]

La coherencia temporal es inversamente proporcional al ancho de banda espectral de la fuente de luz. Considerando un láser como una fuente idealmente monocromática, su ancho de banda espectral es cero por lo que L_c tiende a infinito. Esto significa que la luz en un haz puede retrasarse relativamente del segundo cambiando su camino óptico y seguirá existiendo interferencia. [3]

Esto no pasa cuando los haces provienen de una fuente de luz blanca puesto que el OPD estará limitado por una L_c de aproximadamente $1\mu\text{m}$.

- *Interferómetro de Michelson*

Un interferómetro es un arreglo óptico que permite observar patrones de interferencia de luz a partir de la superposición de dos o más haces de luz. El interferómetro de Michelson consiste en superponer dos haces de luz provenientes de la misma fuente para observar los patrones de interferencia en una pantalla como se muestra en la imagen 1.

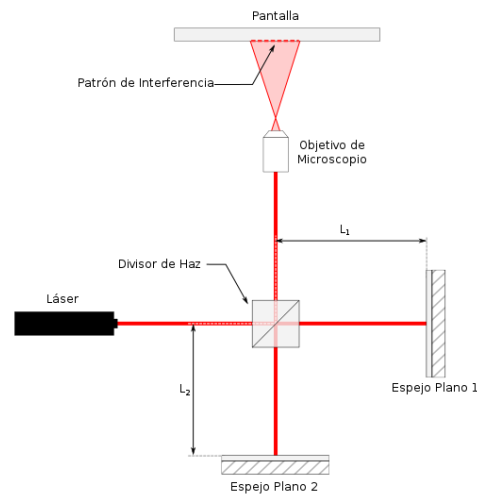


IMAGEN 1: Interferómetro de Michelson con fuente de luz monocromática. [4]

Objetivo General

Desarrollar un sistema (o mejorar uno ya existente) software-hardware para facilitar los experimentos en óptica a través de automatización completa o parcial de los mismos

Justificación

Debido a la corta longitud de coherencia de una fuente de luz blanca, el balanceo de un interferómetro alimentado con este tipo de fuente requiere mucho tiempo y precisión. En este trabajo se propone la implementación de un sistema de semi automatización para optimizar dicho proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este proyecto el primer paso fue armar un interferómetro de Michelson utilizando un láser HeNe de 633nm [5] para facilitar la alineación del interferómetro. Se reemplazó la pantalla por una cámara web Logitech, a la que se le retiró el lente externo y el filtro. El espejo 1 se montó sobre un microposicionador Thorlabs NRT200 para poder controlar el OPL.

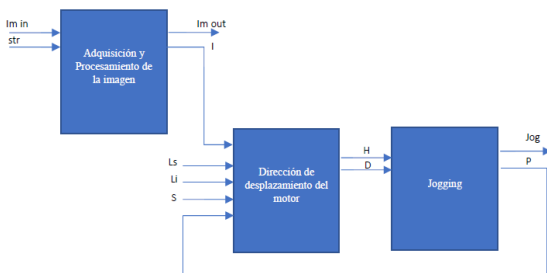
Una vez alineado el interferómetro, se sustituyó el láser por una fuente de luz blanca de halógeno Thorlabs OSL1 cuya salida está acoplada a una guía líquida de luz Thorlabs LLG0338-6. Fue necesario acoplar la luz de salida a un colimador reflectivo para aislar el haz colimado del resto del cono de luz.

Utilizando el controlador ThorlabsBSC101 a través del software APT user, se modificó el OPL en pasos de 0.005mm hasta poder observar las franjas de interferencia.

Una vez encontrado el punto de equilibrio, se realizó la interfaz de control para automatizar el proceso. El diseño fue descrito en el software NI LabView utilizando los módulos de NI Visión Assistant, NI Vision Acquisition y el APT de Thorlabs.

- *Descripción del algoritmo de control*

El protocolo está conformado principalmente por tres bloques: Adquisición y procesamiento de la imagen, Dirección de desplazamiento del motor y *Jogging* como último. En la imagen 3 se muestran las interconexiones entre los bloques.



str: Arrancar programa
Im in: Imagen de entrada
Im out: Imagen de salida
I: Señal de detección de interferencia
Ls: Límite superior de barrido
Li: Límite inferior de barrido
P: Posición del motor
S: Habilitación del protocolo de búsqueda automática de interferencia
H: Habilitación del motor
D: Dirección de desplazamiento del motor
Jog: Avanzar posición
P: Posición del motor

IMAGEN 3: Interconexiones entre los bloques.

En las imágenes 4, 9 y 10 se muestra el algoritmo interno de cada bloque como una representación de máquina de estados finitos (FSM).

- *Adquisición y procesamiento de la imagen*

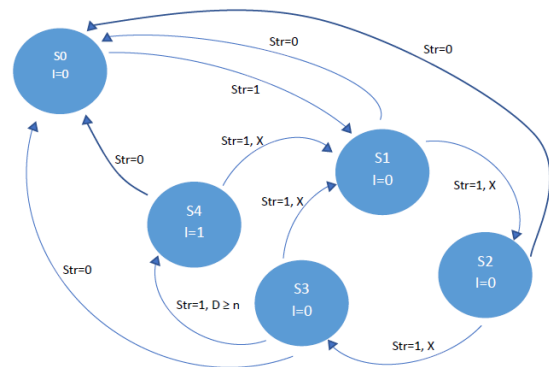


IMAGEN 4. Estructura en FSM para el procesamiento de la imagen.

Como se puede observar en la Imagen 3, este bloque es independiente al resto, pues sus entradas provienen únicamente de señales externas. Cuando se ejecuta el programa, la señal de entrada "str" tiene el valor '1' y permanecerá así hasta que se modifique con el botón de Stop en el panel de control. Se inicializa la obtención de imágenes en tiempo real y mientras "str" valga '1' se ejecutan los estados del S1 al S4. En el estado S1 se captura una imagen a través de la cámara web a una velocidad de 30 FPS. En el estado S2 se extrae el plano de intensidades de la imagen capturada y posteriormente pasa por filtro FFT para obtener una curva suavizada del perfil de línea.

En el estado S3 se obtiene el perfil de línea de una recta trazada de forma horizontal a lo largo de la imagen (Imagen 5). De este perfil se obtiene el valor promedio y la desviación estándar.

Un patrón de interferencia puede describirse matemáticamente con un comportamiento sinusoidal. [6] En este diseño, para asegurar que en la imagen sean franjas de interferencia las que se observan, se requiere que se cumplan dos condiciones: que el número de cruces por el valor promedio sea mayor a 10 y que la desviación estándar sea mayor o igual que 13. Estos Valores se obtuvieron de forma experimental y se muestran en la imagen 6.

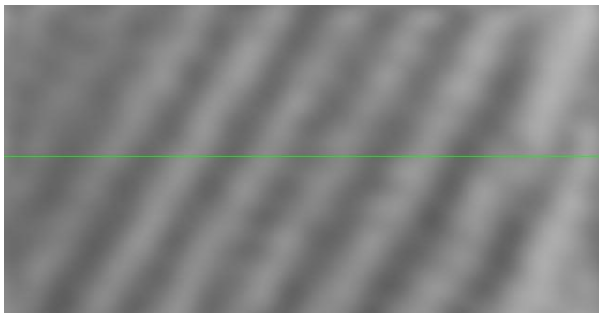


IMAGEN 5: La línea recta color verde es sobre la que se toman los valores de intensidad para obtener el perfil. Franjas de interferencia.

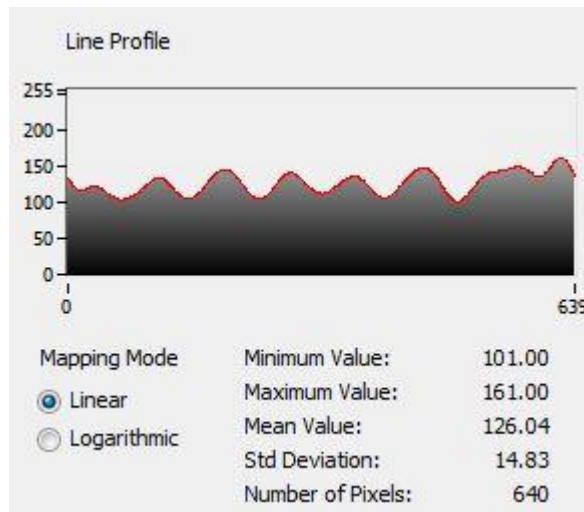


IMAGEN 6: Perfil de línea de un patrón de interferencia.

El número de cruces corresponde al valor que se tiene cuando el período es pequeño pero las franjas son observables y la desviación estándar corresponde a 13 cuando se observan las franjas y la intensidad de la fuente es la mínima necesaria para observar claramente la imagen en la pantalla.

Si se cumplen estas dos condiciones, el próximo estado será S4 en el cuál la señal "I" toma el valor de 1, indicando que se encontró un patrón de interferencia y pasará hacia S1. De lo contrario, de S3 pasa directamente a S1 y se repite el proceso.

- Dirección de desplazamiento del motor

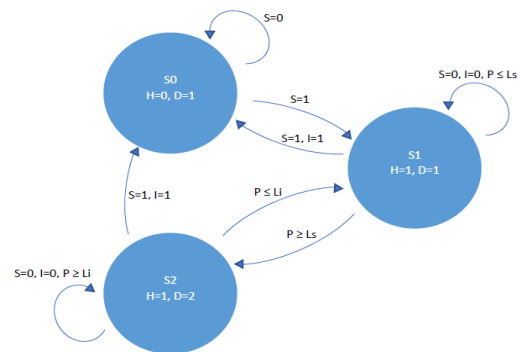


IMAGEN 7: Estructura en FSM para la determinación de la dirección de desplazamiento.

Las señales externas 'Ls', 'Li' y 'S', son proporcionadas por el usuario desde el panel de control. 'P' e 'I' son señales internas. La FSM permanecerá en S0 hasta que el usuario presione el botón "Buscar". En ese momento, 'S' tomará el valor 1. Entonces el protocolo para buscar interferencia de forma automática tendrá inicio. Las salidas 'H' y 'D' serán las que indiquen el comportamiento del *jogging* del motor.

El estado próximo será el S1 y no cambiará hasta que el valor de 'P' sea mayor o igual al valor de 'Ls' o hasta que la señal 'I' tenga el valor 1. Si se cumple la primera condición pasará al estado S2 y nuevamente comparará 'P' pero ahora con 'Li'. Como en el estado S1, si la señal 'I' es igual a 1 significa que se ha detectado interferencia y el próximo estado será S0.

- **Jogging**

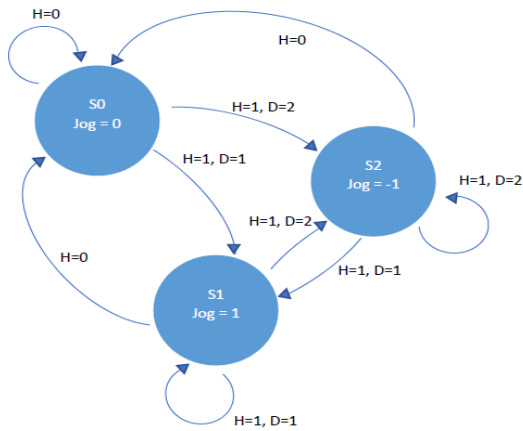


IMAGEN 8: Estructura en FSM para el jogging del motor.

La señal de salida en este bloque es enviada a través del puerto serial directamente al controlador físico del motor.

Mientras que 'H' sea 1, el motor comenzará a desplazarse en la dirección que 'D' le indique de forma automática. El tamaño del paso puede ser ajustado por el usuario en el menú "Settin".

Este bloque se determina el valor de la posición 'P' en la que se encuentra el microposicionador y se envía al bloque de dirección de desplazamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para comprobar el método, se cambió manualmente la longitud del brazo 1 a una distancia desconocida no muy distinta, pero con la que no es observable el patrón de interferencia y se establecieron los límites superior e inferior de 1cm y -1cm respectivamente con pasos de 0.005mm.

El patrón de interferencia se detectó en la posición -2.6220mm. En las siguientes imágenes se muestra el resultado de esta prueba en el panel frontal, así como las imágenes obtenidas.



IMAGEN 9: Franjas de interferencia en el panel frontal.

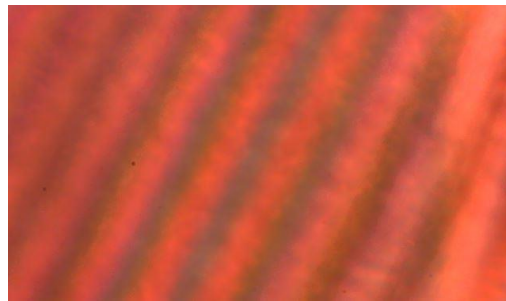


IMAGEN 10: Imagen original obtenida.

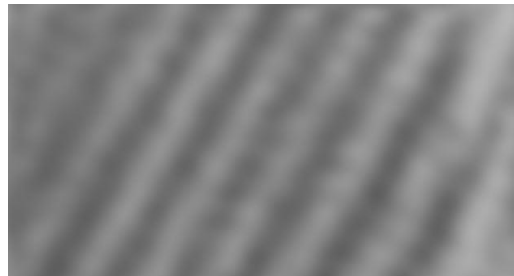


IMAGEN 11: Filtro en transformada rápida de Fourier (FFT).

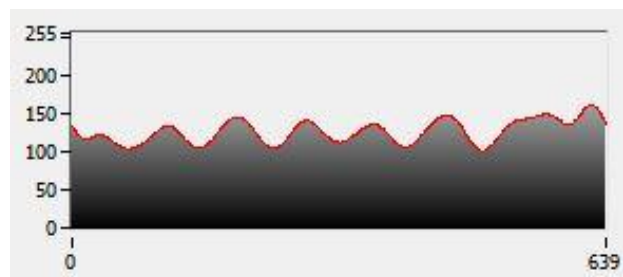


IMAGEN 12: Perfil de línea de la imagen filtrada.

CONCLUSIONES

Se logró balancear el interferómetro de forma automática, sin embargo, este protocolo está limitado a esta tarea y no permite obtener más información sobre el patrón de interferencia el cual posteriormente se deseará analizar.

Como continuación del proyecto, en el futuro se implementará un algoritmo más robusto y con sustento matemático más sólido para poder extraer información detallada sobre el período, cambio de fase, etc. de los patrones de interferencia.

REFERENCIAS

Goodwin-Wyant, 2006. Field Guide to Interferometric Optical Testing (Volume FG10). Bellingham: John E. Greivenkamp, Series Editor (pp.1)

Goodwin-Wyant, 2006. Field Guide to Interferometric Optical Testing (Volume FG10). Bellingham: John E. Greivenkamp, Series Editor (pp.3-4)

Goodwin-Wyant, 2006. Field Guide to Interferometric Optical Testing (Volume FG10). Bellingham: John E. Greivenkamp, Series Editor (pp.5)

Felipecock 2015. Interferómetro de Michelson. Own work.

Pedro Pablo Rocha García 2016. Características de Dispersión de los materiales ópticos para aplicaciones fotónicas. Salamanca. Universidad de Guanajuato.

Kjell J. Gasvik 2002. Optical Metrology (Third Edition). Chinchester. John Wiley & Sons, LTD.