

Dispersion characteristics of the optical waveguides for photonics applications

Pedro Pablo Rocha García (1), Oleksiy Shulika (2)

1 [Ingeniería en comunicaciones y electrónica, Universidad de Guajuato] | Dirección de correo electrónico: [pedopablorochag@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingerías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [shulika@yandex.com] (Candara o pts. Color blanco 50%)

Resumen

Se presenta una caracterización de guías de onda de acuerdo a sus propiedades de dispersión usando una técnica de interferometría de luz blanca. Se usa un analizador de espectros ópticos para el análisis del espectro óptico en la salida del interferómetro y así medir el índice de refracción del material en el rango de 400 a 700 nm aproximadamente. La técnica utiliza un interferómetro Michelson, el cual consta de dos brazos, en uno de ellos se pone el material a caracterizar y el otro se compone de un espejo montado en una base de traslación micrométrica para variar su longitud de camino óptico y así analizar unas series de interferogramas del espectro y medir la longitud de onda de equalización en función del desplazamiento del espejo.

Abstract

We present a characterization of waveguides by their dispersion properties using a white light interferometry technique. We use an optical spectrum analyzer for the analysis of the interferometer output spectrum and after that we measure the refraction index of the material in the rage from 400 to 700 nm approximately. The technique utilizes a Michelson interferometer which has two arms, in one of them we put the material and the other one is made with a mirror positioned in a movable micrometric base for change the optical path length and so analyzing a series of spectral interferograms for measuring the equalization wavelength as a function of the displacement of the mirror.

Palabras Clave

Luz blanca; Interferometría espectral; Analizador de Espectros ópticos; Interferómetro Michelson; Índice de refracción.

INTRODUCCIÓN

Justificación

Muchas aplicaciones prácticas requieren el empleo de gran variedad de formas de onda de pulsos. Pulsos flat-top (rectangulares), triangulares y parabólicos son usados en los procesamientos de señales ópticas, sistemas ópticos de velocidad ultra rápida y en óptica no lineal [1]. El punto clave en estas aplicaciones son las propiedades de dispersión de las guías de onda. Se propone en éste trabajo implementar un estudio de las características de dispersión de unas guías de onda con el propósito de crear condiciones necesarias para la formación de éstos tipos de pulsos.

Antecedentes

La dispersión cromática (DC) de una fibra se expresa en ps/(nm*km), representando el retraso o el incremento de tiempo (en ps), para una fuente con anchura espectral de 1 nm que viaja en 1 kilómetro de fibra. Esto depende del tipo de fibra, y limita el bit rate o la distancia de transmisión para una buena calidad de servicio.

El ensanchamiento que sufren los pulsos de luz, denominado dispersión, es un factor crítico que limita la calidad de la transmisión de la señal sobre enlaces ópticos. La dispersión es una consecuencia de las propiedades físicas del medio de transmisión, particularmente la dependencia del índice de refracción de la frecuencia de radiación.

Las fibras monomodo, usadas en redes ópticas rápidas, están sujetas a la dispersión cromática (DC) que causa un ensanchamiento de los pulsos de luz según la longitud de onda, y a la dispersión de modo de polarización (PMD) que provoca un ensanchamiento el pulso según la polarización. Un ensanchamiento excesivo provocará una superposición de los pulsos y errores en la decodificación. Una red que transmite a 10 Gbps tiene 16 veces más tolerancia a la dispersión a la dispersión cromática que una que trabaja a 40 Gbps. Éste dato permite hacernos una idea de la limitación que supone la DC en sistemas de alta velocidad. Las redes ópticas tienen una DC

máxima acumulada hasta la cual el sistema funciona correctamente. Para mantener DC dentro de los límites de cada red es necesario utilizar equipos de compensación de DC. Estos equipos permiten eliminar la limitación por DC en las redes ópticas.

De estas consideraciones simples se puede ver que la dispersión cromática de las fibras ópticas establece un límite para la velocidad de transmisión de datos y la distancia de transmisión, además de los efectos no lineales. [2] Por tal motivo, se propone implementar las caracterizaciones de las fibras ópticas con el fin de comparar las propiedades de las mismas.

Marco teórico

Métodos para medir la dispersión cromática.

Hay muchas técnicas desarrolladas para la medición de la dispersión cromática. Las técnicas más convencionales incluyen el método de tiempo de vuelo y el método interferométrico. El método de tiempo de vuelo mide diferentes intervalos de tiempo de llegada o cambio de fase en la salida de la fibra para diferentes longitudes de onda. La mayoría de los sistemas de medición comerciales usan la técnica de cambio de fase para medir la dispersión en longitudes largas (>1 km) de fibra. La resolución de la técnica de cambio de fase es determinada por el ancho de banda del sistema de detección y la resolución del método de medición del tiempo de vuelo depende de la diferencia tiempo de retardo más pequeña resoluble. [3]

Para una fibra óptica de longitud corta, la medición por el método interferométrico es usada. La medición por el método interferométrico puede proporcionar una el equivalente a una resolución de 0.1 ps la cual es suficiente para la medición de fibras menores a 5 m pero éste método no puede ser aplicado por fibras mas largas. [4]

Método de interferometría de luz blanca.

La interferometría de luz blanca está basada en una fuente de luz blanca en combinación de un interferómetro Michelson o March-Zehnder y es considerada como una de las mejores herramientas para medir la dispersión e índice de refracción para diferentes materiales ópticos. Los métodos de interferometría de luz blanca nos

ayudan a obtener mediciones de dispersión de grupo, así como de dispersión de alto orden de alta precisión de varios elementos ópticos dentro de un rango ancho de espectro [5].

La interferometría de luz blanca generalmente también utiliza dos métodos, un método temporal y un método espectral, dependiendo en donde la interferencia es observada en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, respectivamente. El método temporal involucra la medición del tiempo de vuelo de los pulsos ópticos dentro de una muestra. Un método para medir el retraso de grupo introducido por un material óptico consiste en poner una muestra en un brazo del interferómetro y evaluar el cambio temporal del pico de la correlación cruzada del interferograma. Como la longitud de onda central es variada, el retraso de grupo relativo de las diferentes componentes en frecuencia es observado directamente [6]. Alternativamente, la fase espectral de ancho de banda completo de la fuente de luz blanca puede ser obtenida en una sola medición por una transformada de Fourier de la correlación cruzada del interferograma [7]. Las características de dispersión de la muestra bajo estudio pueden ser obtenidas simplemente diferenciando la fase del espectro obtenida.

El método espectral está basado en la observación de las franjas de interferencias (espectro canalizado) espectralmente resueltas [8] e involucra la medición del periodo de las franjas espectrales en la vecindad de un punto de fase estacionario [8] que aparece en el interferograma espectral grabado cuando la diferencia de camino de grupo óptico (OPD) entre los dos haces en el interferómetro es cercana a cero. La limitante principal de éste método es alcanzada por materiales gruesos o fuertemente dispersivos debido a que bajo estas condiciones las franjas de interferencia espectrales las cuales están muy lejos del punto de fase estacionario son difíciles de resolver. Afortunadamente, la medición de la dispersión y del índice de refracción de grupo de un material dado esta todavía en la vecindad de un punto de fase estacionario si uno lo mueve en pasos sucesivos a diferentes longitudes de onda [9].

MATERIALES Y MÉTODOS

Método experimental

Primero consideramos la configuración de un interferómetro Michelson no dispersivo. La OPD Δ_M entre haces en la salida del interferómetro está dada por:

$$\Delta_M = 2(L - l), \quad (1)$$

Donde L y l son las longitudes de camino óptico de los haces en el aire en el primer y segundo brazo del interferómetro, respectivamente. Cuando una fuente de luz blanca es usada, un interferograma espectral puede ser grabado en la salida del interferómetro con el periodo espectral de modulación $\Lambda(\lambda)$ dado por:

$$\Lambda(\lambda) = \lambda^2 / \Delta_M \quad (2)$$

Donde λ es la longitud de onda y consideramos que $\Delta_M \geq 0$. Si la OPD ajustada en el interferómetro es pequeña, entonces tenemos un periodo espectral de modulación grande, el cual es infinito para un interferómetro balanceado $L = l = L_0$.

Vamos a considerar después que una muestra de grosor t y de índice de refracción $N(\lambda)$ es insertada en del primer brazo del interferómetro Michelson mostrado en la fig. 1. La OPD $\Delta_M(\lambda)$ entre los haces del interferómetro está dado en este caso por

$$\Delta_M(\lambda) = 2(L - l) - 2t[n(\lambda) - 1] \quad (3)$$

El periodo de modulación espectral correspondiente esta dado por Ec. (2) en el cual la OPD Δ_M es remplazada por la OPD de grupo Δ_M^g dada por

$$\Delta_M^g(\lambda) = 2(L - l) - 2t[N(\lambda) - 1] \quad (4)$$

Donde $N(\lambda)$ es el índice de refracción de grupo definido como

$$N(\lambda) = n(\lambda) - \lambda \frac{dn(\lambda)}{d\lambda} \quad (5)$$

Cuando el caso de material grueso o altamente dispersivo es considerado, las franjas de interferencia espectral tienen el periodo más largo en la vecindad del punto de fase estacionaria [8] para el cual la OPD de grupo es cero a una longitud de onda específica λ_0 , la longitud de onda de eualización [10], satisface la relación

$$\Delta_M^g(\lambda) = 2(L - l) - 2t[N(\lambda) - 1] = 0 \quad (6)$$

Ec. 6 da por la posición del espejo $L = L(\lambda_0)$ para la cual la longitud de onda de ecualización λ_0 está resuelta en el interferograma espectral resuelto la relación:

$$L(\lambda_0) = l + t[N(\lambda_0) - 1]. \quad (7)$$

Si nosotros introducimos al espejo un desplazamiento $\Delta L(\lambda_0) = L(\lambda_0) - L_0$ como desplazamiento del segundo espejo del interferómetro dispersivo desde la posición del espejo del interferómetro Michelson balanceado no dispersivo, podemos obtener la simple relación

$$N(\lambda_0) = 1 + \Delta L(\lambda_0)/t, \quad (8)$$

Permitiendo medir directamente el índice de refracción de grupo $N(\lambda)$ como función de una longitud de onda λ_0 para una muestra de grosor conocido t . [5]

Podemos estimar el grueso máximo y mínimo de una muestra [5] de la cual queremos medir su índice de dispersión grupal medida por el método. Si la medición está restringida a un rango de longitud de onda desde λ_{min} a λ_{max} , el grosor mínimo t_{min} está dado por el cambio de desplazamiento mínimo $\Delta L_{min} = [\Delta L(\lambda_{0min}) -$

$\Delta L(\lambda_{0max})]_{min}$ con el cual la curva de la dispersión de grupo es medida

$$t_{min} = \Delta L_{min}[N(\lambda_{0min}) - N(\lambda_{0max})] \quad (9)$$

Similarmente, el grosor máximo t_{max} esta preferiblemente dado por el máximo desplazamiento L_{max} el cual puede ser ajustado en el interferómetro:

$$t_{min} = \Delta L_{max}/[N(\lambda_{0min}) - 1] \quad (10)$$

Arreglo experimental.

Primero se construyó un interferómetro Michelson balanceado con la ayuda de un láser HeNe de 3 W de potencia de salida y a 543 nm. Para balancearlo, se usó cámara CCD en la salida del interferómetro y alineó el interferómetro hasta que se observó con la ayuda de la cámara un periodo de interferencia grande con unas franjas bien definidas. Después, se procedió a construir el arreglo de la imagen 1, cambiando el láser HeNe por una lámpara de luz blanca, se utilizó una lámpara de halógeno thorlabas OSL1 y una guía de luz líquida LLG0338-6 para guiar la luz en la salida de lámpara hacia una lente biconvexa para

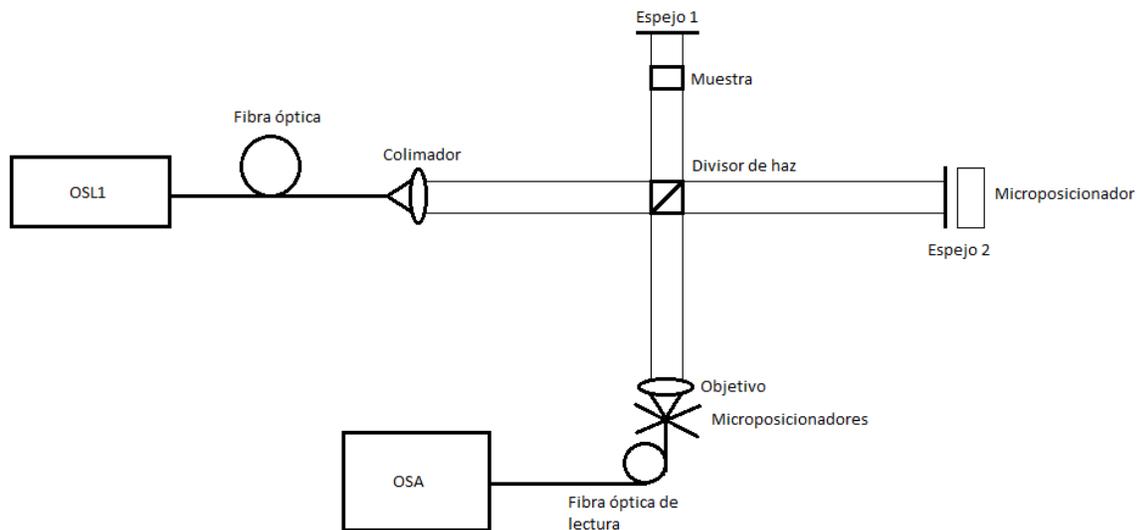


IMAGEN 1: Arreglo experimental de un interferómetro Michelson usando un analizador de espectros ópticos para grabar el espectro en la salida del interferómetro.

colimar la luz y así acoplarla en el interferómetro. Se volvió a utilizar la cámara CCD para volver a alinear el interferómetro y observar con la ayuda de la cámara el patrón de interferencia de la luz blanca. Después se inserta el cristal del cual se va a medir la dispersión y se acopla el OSA en la salida del interferómetro con la ayuda de una fibra multimodo thorlabs m18L01. Ya con el cristal en el brazo 1, se mueve el espejo 2 con la ayuda del microposicionador hasta que se resuelven las franjas de interferencia de acuerdo a la teoría y se desplaza el espejo con pasos de 10 μm para grabar los espectros en el OSA y se calculan los diferentes índices de refracción para cada longitud de onda con su respectivo desplazamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primero se logró construir el interferómetro con el láser HeNe y se alineó el interferómetro hasta que se obtuvo un periodo de interferencia grande como se muestra en la imagen 2.

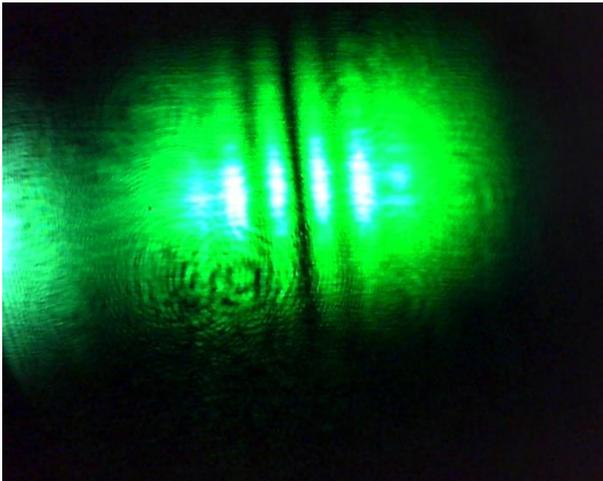


IMAGEN 2: Franjas de interferencia de un interferómetro Michelson.

Después se cambió el láser por una fuente de luz blanca, pero lamentablemente no se pudo obtener un periodo de interferencia como se muestra en la imagen 3.



IMAGEN 3: Salida del interferómetro Michelson de luz blanca.

CONCLUSIONES

Lamentablemente no se pudieron obtener los resultados deseados debido a que no se obtuvo interferencia en la salida del interferómetro Michelson de luz blanca, esto es debido a que la lámpara de halógeno tiene una coherencia espacial muy corta y es muy difícil obtener interferencia con éste tipo de fuentes, sin embargo, se puede solucionar haciendo pasar la luz por un pinhole de un diámetro menor o igual a 100 μm [11].

AGRADECIMIENTOS

Gracias al comité organizador de los Veranos UG y a la Universidad de Guanajuato por el apoyo económico y de instalaciones durante ésta estancia y a mi asesor el Dr. Oleksiy Shulika por apoyarme a lo largo de este proyecto con sus conocimientos y experiencia.

REFERENCIAS

- [1] Igor A. Sukhoivanov, Sergii O. Iakushev, Oleksiy V. Shulika, Antonio Díaz, Miguel Andrés. "Femtosecond parabolic pulse shaping in normally dispersive optical fibers" Optics Express 17769, Vol. 21, No. 15, Julio 2013, DOI:10.1364/OE.21.017769.
- [2] Agrawal, G. (2002). Fiber-optic communication systems (3th Ed.). New York; Wiley.

- [3] F. Koch, S. V. Chernikov, J. R. Taylor, Opt. Commun. 175 (2000) 209.
- [4] Jung-Hye C., Yong-Tak L. "A novel chromatic dispersion measurement method in frequency domain using a multi-wavelength optical pulse train generated by Fabry-Perot laser diode". Optics communications 206(2002) 1-6.
- [5] P. Hlubina, D. Ciprian, L. Knyblová. "Direct measurement of dispersion of the group refractive indices of quartz of crystal by white light spectral interferometry" Optics Communications 269 (2007) 8-13.
- [6] W. H. Knox, N. M. Pearson, K. D, Li, C. A. Hirliman, Opt. Lett. 13 (1988) 574.
- [7] M. Beck, I. A. Walmsley. Opt. Lett 15 (1990) 492.
- [8] C. Sáinz, P. Jourdain, R. Escalona, J. Calatroni, Opt. Comm. 110 (1994) 381.
- [9] H. Delbarre, C. Przygodzki, M. Tassou, D. Boucher, Appl. Phys. B 70 (2000) 45.
- [10] P. Hlubina, Opt. Comm. 193 (2001) 1.
- [11] T. Fuji, M. Arakawa, T. Hattori, H. Nakatsuka "A white-light Michelson interferometer in visible near infrared regions" Review of scientific instruments (1998) Vol. 69 No. 8