

Laser en fibra de efecto Brillouin para interrogación remota de múltiples redes de difracción de Bragg colocadas en serie.

Brillouin fiber laser for remote interrogation of multiple fiber Bragg gratings in series.

Ángel ULLÁN⁽¹⁾, María A. QUINTELA, Luis RODRIGUEZ, Antonio QUINTELA, Jose M. LOPEZ-HIGUERA

1. Grupo de Ingeniería Fotónica (GIF), Universidad de Cantabria, Av. Los Castros s/n.
Persona de contacto: A. Ullan (angel.ullan@unican.es).

RESUMEN:

En este artículo se presenta un sistema sensor de temperatura basado en un laser de efecto Brillouin en fibra óptica. La onda Stokes generada tras el proceso de scattering se hace resonar en una cavidad laser que combina ganancia Brillouin y amplificación por fibra de Erblio y su potencia se analiza mediante la técnica de detección heterodina. Se consigue interrogar 3 redes de difracción situadas a 50 km de la unidad de procesado con una potencia de bombeo de 7.5 mW.

Palabras clave: Laser, Brillouin, sensor, temperatura, FBG, sensado remoto

ABSTRACT:

A temperature sensing system based on a Brillouin fiber laser is presented. Erbium amplification and Brillouin gain are combined in order to make the Stokes radiation resonate in the cavity. The laser output is analyzed by means of heterodyne detection. 3 fiber Bragg gratings are interrogated at 50 km away from the processing unit employing 7.5 mW as pump signal.

Key words: Laser, Brillouin, sensor, temperature, FBG, remote sensing

1.- Introducción

El campo de sensado remoto está experimentando un gran auge en los últimos años, despertando el interés de muchos investigadores. Aplicaciones como la monitorización de estructuras de ingeniería civil, oleoductos y gaseoductos, así como la predicción de maremotos desde la costa, entre otras, están provocando que se realice un gran esfuerzo de investigación científica para incrementar tanto la distancia de sensado como el número de sensores en la red [1-3]. El dispositivo más utilizado para sensado remoto son las redes de difracción de Bragg en fibra (FBG, por sus siglas en inglés) [4]. Estos dispositivos son ideales para esta tarea gracias su gran capacidad de multiplexación, su resistencia a

ambientes hostiles, su alta sensibilidad, su inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, su facilidad de empaquetamiento y su bajo coste. Una de las aplicaciones actuales que requieren una monitorización de la temperatura en ciertos puntos de la estructura es el cableado de distribución de energía eléctrica que conecta las estaciones eólicas marinas con la estación costera más cercana. Generalmente se trata de distancias entre 10 y 40 km, y la presencia de “puntos calientes” en la red de cable es muy perjudicial para la eficiencia y durabilidad de la misma.

En este artículo se presenta un sistema sensor que utiliza una nueva técnica de interrogación para media y larga distancia, haciendo uso de un laser de fibra basado en efecto

Brillouin, donde la señal laser se genera en la propia línea de sensado, y donde los propios sensores actúan como espejos para la cavidad laser. Este sistema podría utilizarse para controlar la temperatura en tiempo real de los puntos críticos de una estructura como la mencionada anteriormente. Los resultados experimentales obtenidos en nuestro laboratorio verifican la validez y capacidad de la misma.

2.- Principio de funcionamiento

Esta técnica de interrogación se basa en un laser en fibra de efecto Brillouin donde el medio activo es la propia fibra que conecta la unidad de procesado con los dispositivos sensores, en este caso FBGs. Concretamente hemos utilizado 50 km de fibra monomodo estándar Draka del tipo ColorLock con una atenuación de 0.189 dB/km a 1550nm. En la figura 1 se muestra un esquema del montaje experimental utilizado. Introduciendo una señal de bombeo generada por un laser sintonizable HP8168F (TLS, por sus siglas en inglés) cuya anchura de línea es de 100 kHz y amplificada por un amplificador de fibra de Erblio (EDFA, por sus siglas en inglés), se consigue inducir en la fibra el proceso de scattering Brillouin, espontaneo en un principio y estimulado después. Tras el scattering Brillouin espontáneo, se genera una señal contra-propagante y desplazada en frecuencia un valor ν_B conocido como Frecuencia Bri-

llouin. Esta nueva señal comienza a circular por la cavidad en sentido contra-propagante al bombeo, lo que posibilita que se produzca el proceso de scattering Brillouin estimulado (SBS, por sus siglas en inglés). Cuando la ganancia Brillouin por SBS y la ganancia obtenida en el EDFA consiguen compensar las pérdidas por vuelta de la cavidad, se genera en ésta una línea laser. Esta línea se encuentra a una distancia en frecuencia ν_B de la radiación de bombeo. Como se puede observar en la figura 2 obtenida con un BOSA (Brillouin Optical Spectrum Analyzer) que tiene una resolución de 10 MHz (0.08 pm) [5], la distancia entre el bombeo y la línea de Stokes para esta fibra es de 85 pm (10.74 GHz) cuando el TLS emite a 1543 nm.

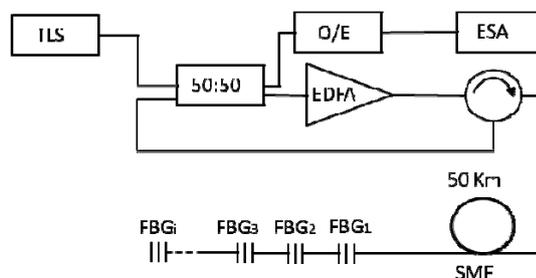


Fig. 1: Esquema del montaje experimental utilizado. O/E: convertidor óptico-eléctrico.

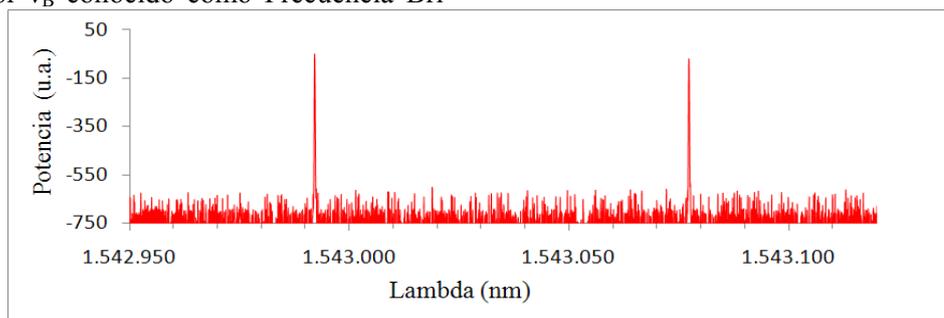


Fig. 2: Espectro del laser de bombeo y la componente Stokes generada por scattering Brillouin.

El análisis de la radiación laser se hace mediante la técnica de detección heterodina, es decir la señal laser se bate con un porcentaje de la señal de bombeo, en este caso utilizamos un 50% y se analiza en el dominio eléctrico mediante un analizador de espectros eléctricos (ESA, por sus siglas en inglés). Es importante recalcar que la diferencia en fre-

cuencia entre la señal de bombeo y la línea Stokes generada es constante (e igual a ν_B) lo que nos permite llevar a cabo este tipo de detección. La figura 3 muestra el batido de ambas señales capturado con el ESA. Como ya sabíamos por el análisis con el BOSA, la frecuencia Brillouin para esta fibra es 10.74 GHz. También podemos observar que la

potencia del batido, que determinará la relación señal a ruido (SNR, por sus siglas en inglés) es de aproximadamente 40 dB.

Uno de los mayores problemas para interrogar FBGs a larga distancia mediante la técnica tradicional es el ruido introducido por scattering Rayleigh. Mediante la detección

heterodina este ruido queda relegado a frecuencias bajas, alrededor de 0, mientras que nuestra señal laser se encuentra a la frecuencia ν_B , en la región de microondas. Esto nos permite obtener una relación señal a ruido mucho más alta, consiguiendo así interrogar a distancias más grandes.

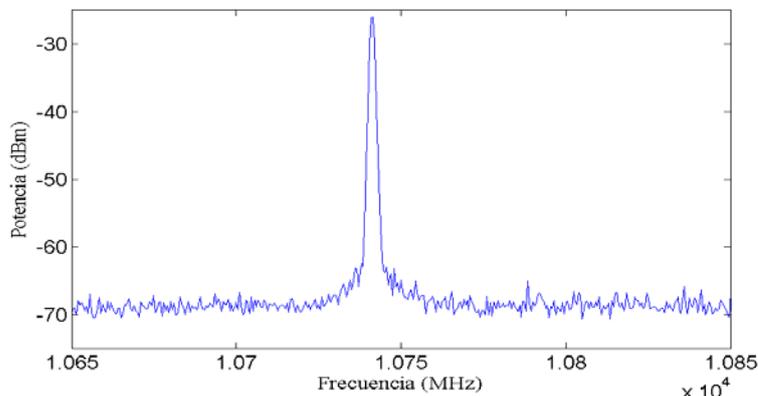


Fig. 3: Señal de batido entre el laser de bombeo y la componente Stokes del scattering Brillouin .

Una vez generado el laser de efecto Brillouin, lo utilizamos para interrogar los FBGs. Para ello hacemos un barrido del laser de bombeo en la región de cada FBG. Cuando la longitud de onda de la onda Stokes generada cae dentro de la banda de reflexión del FBG, tendremos emisión laser para esa componente, y observaremos el pico de su batido con el TLS en el ESA a la frecuencia ν_B . La poten-

cia de este pico es integrada obteniendo así un valor para cada paso del barrido en longitud de onda. Cuando ésta se encuentre fuera de la banda de reflexión, la onda Stokes se atenuará y no observaremos nada en el ESA. De esta forma podemos localizar la posición exacta del FBG así como su anchura espectral.

3.- Resultados experimentales

El sistema se puede utilizar para sensar un número ilimitado de FBGs colocados en serie (siempre que sus bandas de reflexión no se solapen) y en diferentes puntos del canal, sin embargo, por razones de disponibilidad los experimentos han sido realizados colocando 3 FBGs al final de una bobina de fibra de 50

km según el montaje de la figura 1. Hemos realizado la detección de los 3 FBGs cuyas bandas de reflexión en condiciones normales están centradas en 1543.2, 1550.8 y 1557.6, y sus anchuras son 0.8, 0.9 y 0.6 nm respectivamente. La figura 4 muestra los resultados obtenidos. La potencia de bombeo utilizada ha sido de 1mW a la salida del TLS y de 7.5 mW a la salida del EDFA.

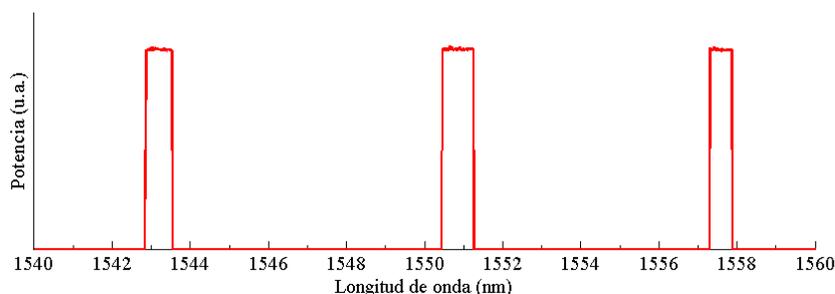


Fig. 4: Potencia detectada en el ESA en función de la longitud de onda.

Como se puede observar, la potencia del pico de batido entre la componente Stokes y la señal de bombeo se anula cuando su longitud de onda se sitúa fuera de las bandas de reflexión de los FBGs, pudiendo así conocer la posición exacta de cada uno de ellos en cada barrido del TLS. Para verificar la capacidad como sensor de temperatura de nuestro sistema colocamos uno de los FBG, concretamente el primero centrado en 1543.2 nm, en una cámara climática y lo sometimos a un ciclo de temperatura entre -10°C y 40°C. Los

resultados obtenidos, mostrados en la figura 5, presentan un desplazamiento lineal de la banda de reflexión de la red de 21pm/°C, lo que concuerda con los datos previos obtenidos para FBGs con este tipo de empaquetamiento, en el que los dispositivos se recubren con un material que aumenta su sensibilidad a la temperatura frente a los FBG en fibra desnuda. Teniendo en cuenta que el paso en el barrido en longitud de onda ha sido de 10 pm, esto se traduce en una resolución de 0.47°C.

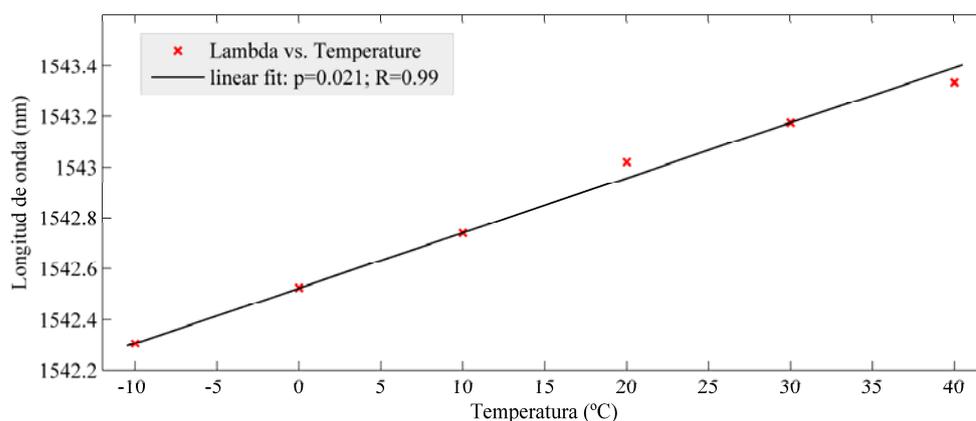


Fig. 5: Desplazamiento del centro de la banda de reflexión del FBG con la temperatura.

4.- Conclusión

Se ha presentado y demostrado experimentalmente un sistema sensor de temperatura simple y de fácil implementación basado en un laser de efecto Brillouin en fibra óptica. El sistema es capaz de detectar un número ilimitado de FBGs distribuidos a lo largo del canal sin necesidad de incorporar dispositivos ópticos de conexión adicionales. Se ha realizado la detección de 3 FBGs situados a 50Km de la unidad interrogadora con una SNR de 40 dB y una resolución de 0.47°C utilizando una potencia de bombeo de 7.5 mW.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por los proyectos TEC2007-67987-C02 y TEC2010-20224-C02 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Referencias

[1] S. DIAZ, S. ABAD, M. LOPEZ-AMO, "Fiber-optic sensor active networking with distributed erbium-doped fiber and Raman

amplification," *Laser Photonics Rev.* Vol. 2, No. 6, pp. 480-497 (2008).

- [2] T. SAITOH, K. NAKAMURA, Y. TAKAHASHI, H. IIDA, Y. IKI and K. MIYAGI, "Ultra-long-distance [230 km] FBG sensor system," *Proc. of SPIE* Vol. 7004, 70046C-1-4 (2008).
- [3] J. HU, C. ZHIHAO, X. YANG, J. NG and C. YU, "100 km long distance fiber Bragg grating sensor system based on Erbium-doped fiber and Raman amplification," *IEEE Photonics Technol. Lett.* Vol. 22, No.19, pp. 1422-1424 (2010).
- [4] J. M. LOPEZ-HIGUERA. *Handbook of optical fibre sensing technology*, (Wiley & Sons, 2002).
- [5] C. HERAS, J. SUBIAS, J. PELAYO, F. VILLUENDAS and F. LOPEZ, "Subpicometer wavelength accuracy with gain-switched laser diode in high-resolution optical spectrometry," *Optics Express*, Vol. 16, No. 14, pp. 16658-16663 (2008)