

Desarrollo y caracterización de un sensor acústico distribuido basado en la técnica de medida C-OTDR

Javier Preciado, David Sanahuja, Carlos Heras, Jesús Subías, Íñigo Salinas

Grupo de Tecnologías Fotónicas (GTF)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: jpreciado@unizar.es

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema DAS (*distributed acoustic sensor*) de fibra óptica basado en la técnica de reflectometría óptica coherente en dominio temporal (C-OTDR), la caracterización de sus prestaciones de alcance y sensibilidad y el análisis de los fenómenos lineales y no lineales que limitan las capacidades del mismo. Este trabajo se ha realizado en colaboración con la empresa APL (Aragón Photonics Labs).

Introducción

Dentro de los sistemas de vigilancia de infraestructuras de grandes longitudes, en los últimos años se han presentado técnicas basadas en reflectometría óptica coherente (C-OTDR) de la difusión Rayleigh. Estos sistemas utilizan la fibra óptica como medio sensor para detectar y localizar pequeñas vibraciones de forma distribuida (DAS) [1] en las proximidades de la fibra, lo que proporciona gran capacidad de detección, precisión en localización de pocos metros y largo alcance, decenas de km. Sin embargo, en la literatura no se encuentra un análisis riguroso de las capacidades de este tipo de técnica en cuanto a alcance y sensibilidad real. Por ello, en este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema DAS basado en C-OTDR, la instalación de pruebas que simula un entorno real de fibra óptica en ducto y el estudio de las capacidades del sistema, incluyendo la limitación por fenómeno no lineal de *Inestabilidad de Modulación* (IM).

Desarrollo Sistema DAS

El esquema básico del sistema DAS desarrollado se presenta en la figura 1, donde un laser de alta coherencia es pulsado y su señal óptica amplificada e inyectada en la fibra. La potencia óptica retroesparcida por la fibra produce un patrón de interferencias debido a la suma coherente de los M frentes de onda generados por difusión Rayleigh a lo largo de la anchura de pulso en cada punto k de la

fibra en función de sus fases Ω_i y amplitudes a_i , según la expresión (1),

$$r_k \exp(j\theta_k) = \sum_{i=0}^M a_i \exp(j\Omega_i) \quad (1)$$

Si la retrodifusión producida por el pulso de luz se mantiene constante en fase, la situación de interferencia producida por la suma coherente de la señal retroesparcida permanece constante. Sin embargo, la modificación de uno o varios elementos por una perturbación de tipo mecánica se traduce, vía coeficiente acusto-óptico y mecano-óptico de la fibra, en un cambio de fase del campo retroesparcido en ese punto concreto, lo que da lugar a una variación en la situación de interferencia. Mediante esta fenomenología, la fibra óptica se convierte en un sensor distribuido que permite detectar y localizar perturbaciones mecánicas en el entorno de la fibra.

Mediante la detección y medida de la condición de interferencia que se tiene para cada tramo de la fibra generado por cada pulso de luz, y por comparación de esta condición de interferencia entre los distintos pulsos inyectados en la fibra, se pueden detectar y localizar perturbaciones con una alta sensibilidad. Las capacidades del sistema (alcance y resolución) dependerán de la coherencia del láser implementado y de la configuración de los pulsos ópticos.

Instalación de pruebas

Para simular la situación real en infraestructuras de fibras en ductos, se ha construido en el exterior del edificio Betancur del campus Rio Ebro un entorno de pruebas con 9 secciones de doble conducto de 3 cm de diámetro situados a profundidades de 0.5, 0.9, 1.1, 1.3 y 1.4 m. Se ubican en una zanja de longitud $L=12$ m y anchura $A=1.2$ m con un prisma de hormigón en su interior a 1.5 m de profundidad de anchura $A_H=0.8$ m y altura $D=0.8$ m, quedando el resto de la zanja rellena de tierra compactada. En la superficie se encuentran dos tipos de suelo, un tramo de tierra y un tramo de asfalto, cada uno de

ellos de longitud mitad de la zanja. Mediante bucles de fibra se permite ensayar la situación de cable enterrado a distancia y profundidad configurable según muestra el esquema de la figura 2.

Resultados experimentales

En la figura 3 se muestran las señales de 5 pulsos consecutivos entre las distancias de 5.9 km y 6.3 km, en situación de intrusión a 6.2 km, sobre una fibra de longitud total de 40 km. Se observan claramente las variaciones de la traza por cambios de fase de los frentes de onda en el punto de estímulo. En la misma figura se muestra en rojo la curva de la máxima diferencia de los 5 pulsos, para mejor localización del punto de intrusión.

Para evaluar los límites de la técnica de medida, el sistema permite configurar parámetros ópticos como anchura de pulso o nivel de amplificación. Entre los límites impuestos por la fibra óptica, destacan dos fenómenos no lineales, *Difusión Brillouin Estimulada* [2] y IM [3]. En general, el primero limita la máxima potencia que es posible inyectar en la fibra. Sin embargo, se ha observado que es la IM quien limita en primer término la máxima potencia útil debido a la pérdida de coherencia del pulso óptico en su evolución por la fibra. La IM depende de la potencia pico del pulso y del ruido del amplificador. En la figura 4 se muestran las trazas correspondientes a pulsos de anchura 400 ns de diferentes potencias. Se observa la pérdida de coherencia, y por tanto de capacidad de sensar, conforme aumenta la potencia. Como novedad, se muestra en la figura 5 la recuperación de la coherencia con la anchura del pulso, debido a la consecuente reducción del ruido del amplificador.

Conclusiones

Se ha presentado un sistema DAS basado en técnica C-OTDR, una instalación de pruebas singular y un análisis del principal fenómeno limitante de la técnica, IM y la estrategia para reducir el mismo.

REFERENCIAS

- [1]. Jaehee PARK and Henry F. TAYLOR. Fiber Optic Intrusion Sensor using Coherent Optical Time Domain Reflectometer.
- [2]. Rongtao Su, Pu Zhou, Haibin Lü, Xiaolin Wang, Cheng Luo and Xiaojun Xu. Numerical analysis on impact of temporal characteristics on stimulated Brillouin scattering threshold for nanosecond laser in an optical fiber.
- [3]. Hugo F. Martins, Sonia Martin-Lopez, Pedro Corredera, Pedro Salgado, Orlando Frazão and Miguel González-Herráez. Modulation instability-

induced fading in phasesensitive optical time domain reflectometry.

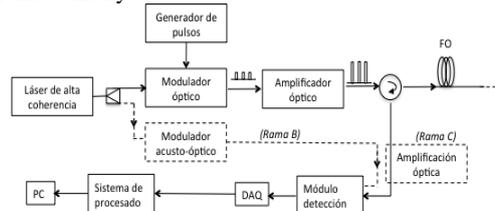


Figura 1: Esquema C-OTDR

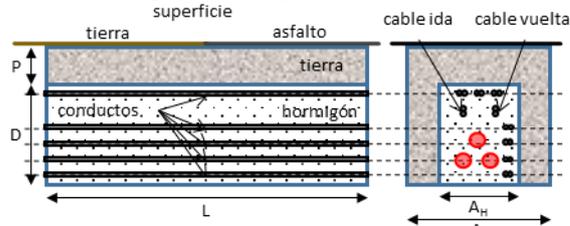


Figura 2: Esquema zanja

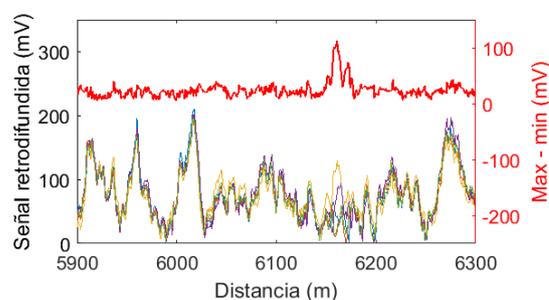


Figura 3: Traza DAS

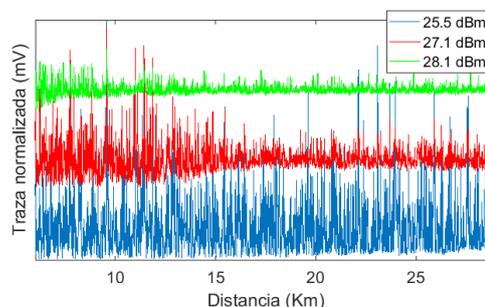


Figura 4: IM según potencia inyectada

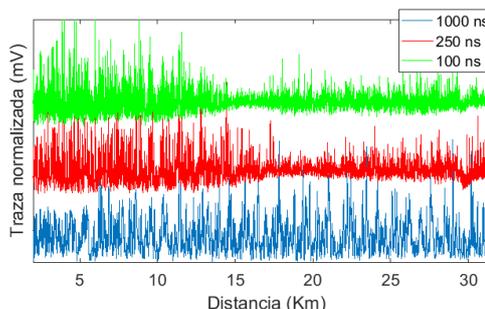


Figura 5: IM según anchura de pulso