

Técnicas de interferometría de ruido ambiente con DAS para caracterización del terreno

Jorge Canudo^{1,2}, Javier Preciado-Garbayo², Pascual Sevillano², Jesús Subías¹, Miguel Gonzalez-Herraez³, Hugo F. Martins⁴, Beatriz Gaité-Castrillo⁵, Jose B. Bravo-Monge⁵, Irene De Maria⁶, Miguel Rodriguez-Plaza⁶

¹Grupo 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: jcanudo@unizar.es

²Aragón Photonics Labs

³Universidad de Alcalá de Henares

⁴Instituto de Óptica, CSIC

⁵Instituto Geográfico Nacional

⁶Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)

Resumen

La tecnología DAS permite la caracterización precisa del subsuelo mediante interferometría de ruido ambiente, generando mapas de velocidad de propagación donde se observan las relaciones de dispersión del medio que rodea la fibra. Estas relaciones revelan la estructura y composición de las capas superficiales del terreno.

Introducción

La exploración del subsuelo es una herramienta fundamental en el análisis geológico del terreno, ya que permite obtener información clave sobre la composición del sustrato y los procesos que lo afectan. Además, resulta útil como método preventivo para la detección temprana de posibles fallos en infraestructuras existentes. Tradicionalmente, esta exploración se realiza mediante técnicas basadas en fuentes sísmicas activas y redes extensas de sensores puntuales [1]. Aunque eficaces, estas metodologías presentan limitaciones en entornos urbanos debido a restricciones logísticas y normativas. Para afrontar este desafío, se han desarrollado enfoques que aprovechan fuentes pasivas de ruido sísmico, como la actividad humana, para extraer información del medio. Este conjunto de técnicas se conoce como Interferometría de Ruido Ambiente (ANI, por sus siglas en inglés). La ANI ha demostrado buenos resultados en la estimación de velocidades de propagación de ondas sísmicas superficiales, a través del cálculo de la función de Green entre pares de estaciones [2]. Sin embargo, una tomografía de alta resolución requiere una red densa de estaciones de medición. En este contexto, la tecnología de Sensado

Acústico Distribuido (DAS) surge como una alternativa no invasiva, capaz de ofrecer alta resolución espacial y amplios alcances de medida. El sistema DAS utiliza cables de fibra óptica estándar como sensores, enviando pulsos de luz a través de ellos y captando la luz retrodispersada a lo largo del trayecto. En los últimos años, la aplicabilidad de los algoritmos de ANI a datos obtenidos mediante DAS ha sido validada con éxito, incluso en entornos urbanos [3]. En el presente estudio, se ha monitorizado una fibra óptica instalada junto a una vía ferroviaria, aplicando un algoritmo completo de ANI para generar mapas de velocidad de dispersión del terreno. Estos mapas pueden ser integrados posteriormente con un análisis multicanal de ondas superficiales para construir modelos detallados de velocidades y estructura del subsuelo.

Metodología

Los datos del sistema DAS se han subdividido en paquetes de 1 minuto de duración. En primer lugar, se ha aplicado un filtrado en ambos dominios, temporal y espacial, restringiendo el rango de frecuencias de interés a [0.5, 15] Hz y la longitud de onda detectada a [50, 2000] m. A continuación, se ha calculado la transformada FK mediante la transformada de Fourier en dos dimensiones. En este dominio, las líneas rectas que pasan por el origen representan velocidades de propagación constantes, lo que permite filtrar por velocidades de manera sencilla. Se ha restringido el rango de velocidades permitidas al intervalo [100, 2000] m/s, donde se sitúan comúnmente las señales sísmicas superficiales. Una vez filtrados los datos, se han aplicado normalizaciones en dominio temporal y en dominio frecuencial, de modo que la contribución de

todas las fuentes de ruido sea uniforme. Para el dominio temporal, se ha empleado un algoritmo propio que divide la señal original por su envolvente normalizada. En dominio de frecuencias, el rango de interés se ha normalizado a amplitud 1, mientras fuera del rango de trabajo las amplitudes se apodizan a 0 con un coseno cuadrado.

Una vez se ha preprocesado el paquete de datos, se ha seleccionado un canal de la fibra que será empleado como referencia. Se ha calculado la correlación cruzada entre el canal de referencia y los sucesivos 50 canales, resultando en un mapa de correlación, donde se aprecian las señales que se propagan por la superficie. Para incrementar la SNR, se calculan un total de 1440 mapas de correlación que se apilan mediante Phase-Weighted Stacking [4], permitiendo que aquellos mapas con mejor SNR pesen más en el apilado y, por tanto, reduciendo el tiempo total necesario para obtener un mapa de correlaciones con buena SNR. La Figura 1 muestra el mapa de correlaciones obtenido para el canal 450, donde se aprecian de manera clara las distintas señales propagadas. Con él, es posible obtener un mapa de velocidades de dispersión mediante la técnica de slant-stacking [5]. Para ello, se recorre un rango de velocidades predefinido buscando señales en el mapa de correlaciones con dicha velocidad, de modo que, si estas señales están presentes, la suma final sea coherente, promediándose a cero en caso contrario. Los máximos del mapa de dispersión final revelan las relaciones de dispersión del terreno en el que se encuentra la fibra, tal y como se observa en el mapa final de la Figura 2.

Conclusiones

Se ha demostrado que la tecnología DAS permite obtener información geológica del terreno que rodea la fibra mediante el análisis del ruido sísmico

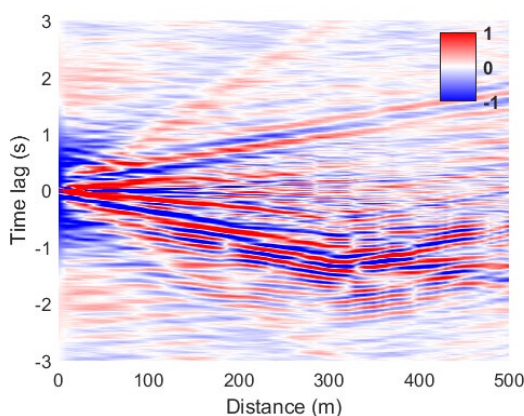


Figura 1. Mapa de correlaciones del canal 450

presente en el medio. A pesar de la baja intensidad de las señales detectadas, gracias a los distintos filtrados y normalizaciones de la técnica, ha sido posible recuperar las señales propagadas por el terreno y con ellas las relaciones de dispersión del medio en el que se encuentra desplegada la fibra. Los resultados obtenidos pueden ser empleados para estimar los perfiles verticales del subsuelo sin necesidad del uso de fuentes sísmicas activas, lo que supone un avance significativo en la monitorización de infraestructuras y la caracterización geológica del terreno.

REFERENCIAS

- [1]. KRAWCZYK, C.M., STILLER, M., BAUER, K., NORDEN, B., HENNINGES, J. IVANOVA, A., HUENGES, E. 3-D seismic exploration across the deep geothermal research platform Groß Schönebeck north of Berlin/Germany. *Geothermal Energy*. 2019, 7(1), 15.
- [2]. CHEN, Y., SAYGIN, E. Empirical Green's Function Retrieval Using Ambient Noise Source-receiver Interferometry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2020, 125, 2.
- [3]. EHSANINEZHAD, L., WOLLIN, C., RODRIGUEZ-TRIBALDOS, V., SCHWARZ, B., KRAWCZYK, C.M. Urban subsurface exploration improved by denoising of virtual shot gathers from distributed acoustic sensing ambient noise. *Geophysical Journal International*. 2024, 237(3), 1751-1764.
- [4]. SCHIMMEL, M., PAULSEN, H. Noise reduction and detection of weak, coherent signals through phase-weighted stacks. *Geophysical Journal International*. 1997, 130(2), 497-505.
- [5]. PARK, C.B., MILLER, R.D., XIA, J., IVANOV, J. Multichannel analysis of surface waves (MASW)-active and passive methods. *The Leading Edge*. 2007, 26(1), 60-64.

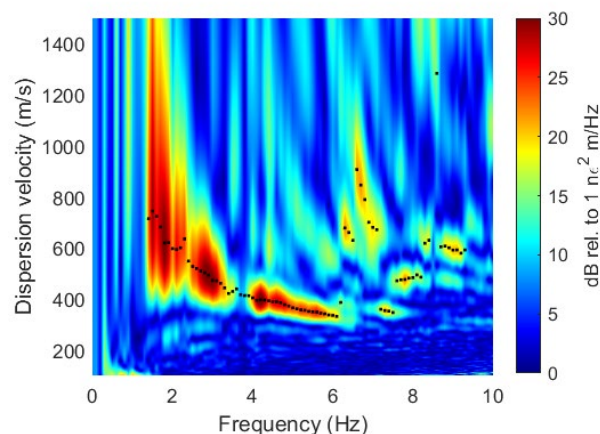


Figura 2. Mapa de dispersión del canal 450