

ESTUDIO DEL SCATTERING PRODUCIDO POR DIFUSORES ACÚSTICOS MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS FINITAS EN EL DOMINIO DE TIEMPOS

PACS: 43.35.Cg

Redondo Pastor, Javier; Picó Vila, Rubén; Roig Sala, Bernardino
Escuela Politécnica Superior de Gandía. Universidad Politécnica de Valencia
Carretera Nazaret-Oliva s/n. Grao de Gandía. Valencia. Spain
Tel: 962 849 300
Fax: 962 849 313
E-Mail: fredondo@fis.upv.es

ABSTRACT

The development of numerical methods allows nowadays obtaining simulations that can be used for a deep understanding of physical phenomena. The progressive increase in calculation speed has intensified the development of time domain applications by means of the Finite Differences in the Time Domain (FDTD) method. In 1966 Yee made the first proposal of use of that method in order to solve scattering problems in the field of electromagnetism. In this work we present a series of simulations obtained by means of FDTD which illustrates time domain effects in the reflection over sound diffusers.

RESUMEN

El desarrollo de los métodos numéricos permite en la actualidad conseguir simulaciones que sirven de gran utilidad para la comprensión de fenómenos físicos. El aumento progresivo de la rapidez de cálculo ha incrementado el desarrollo de las aplicaciones temporales por medio del método de diferencias finitas en el dominio temporal (Finite Differences in the Time Domain: FDTD). En 1966 Yee planteó por primera vez el uso de este método para resolver problemas de scattering en electromagnetismo. En el presente trabajo se presentan una serie de simulaciones obtenidas mediante FDTD que ilustran los efectos temporales en la reflexión sobre difusores acústicos.

INTRODUCCIÓN

El método de diferencias finitas en el dominio de tiempos FDTD, acrónimo de “finite-difference time-domain”) fue propuesto por Yee en 1966 [1] con el propósito de estudiar fenómenos de scattering para ondas electromagnéticas. Desde entonces diferentes autores han utilizado el método en diferentes ámbitos de la física y en particular en el ámbito de la acústica destacando algunas aplicaciones en diferentes ámbitos de la acústica [2-3]. No obstante son mucho más conocidos otros métodos numéricos con los elementos finitos (Finite Element Methods - FEM) o los elementos de contorno (Boundary Element Methods - BEM). Sin embargo en la mayoría de los casos estos métodos son utilizados en el dominio frecuencial, siendo en general relativamente complicado trabajar en el dominio de tiempos. La principal ventaja del método de diferencias finitas es la sencillez de programación incluso en el caso de considerar formas geométricas relativamente complejas. Para mayor brevedad no se presentan

aquí los fundamentos del método. El lector interesado puede consultar una revisión general del método en [4] donde se particulariza el método que nos ocupa al caso de los instrumentos musicales o consultar la página web [5] donde adicionalmente se pueden descargar algunas animaciones obtenidas mediante el método que nos ocupa.

En lo que se refiere a difusores acústicos, a finales de la década de los 90 se hizo un exhaustivo estudio de parámetros de caracterización de la dispersión provocada por difusores acústicos. Cabe destacar el trabajo recopilatorio de Hargreaves et al [6]. No obstante en dichos trabajos solo se considera el comportamiento frecuencial de dichas estructuras, por una parte por el desconocimiento sobre características temporales, y por la otra por la dificultad en la obtención de medidas tanto en experiencias como en simulaciones. Es de destacar como excepción a estas líneas de trabajo la propuesta por Momertz y Vorlander en su artículo [7] que finalmente ha dado pie a la aparición de un estándar de medida de la dispersión acústica de superficies (ISO/DIS 17497-1). En dicho artículo se presentaban dos métodos de caracterización de difusores atendiendo a las características temporales de la señal.

La comentada no consideración de los efectos temporales nos ha motivado para utilizar un sistema de simulación con el fin de estudiar el comportamiento en el dominio de tiempos del sonido al ser reflejado por una superficie.

ESQUEMA DE LAS SIMULACIONES

Se han considerado un total de cuatro superficies diferentes:

- a) Cilindro
- b) Difusor de Schöeder de residuo cuadrático (QR). Rango de trabajo 300-1000 Hz
- c) Conjunto de listones equiespaciados
- d) Superficie plana de referencia

En todas las simulaciones, para evitar reflexiones espúreas sobre el límite de la zona de integración se ha utilizado un PML [8] o contorno perfectamente absorbente (véase figura 2). La excitación consiste en una wavelet de Ricker [9] dadas sus características tanto en frecuencia como en dominio de tiempos.

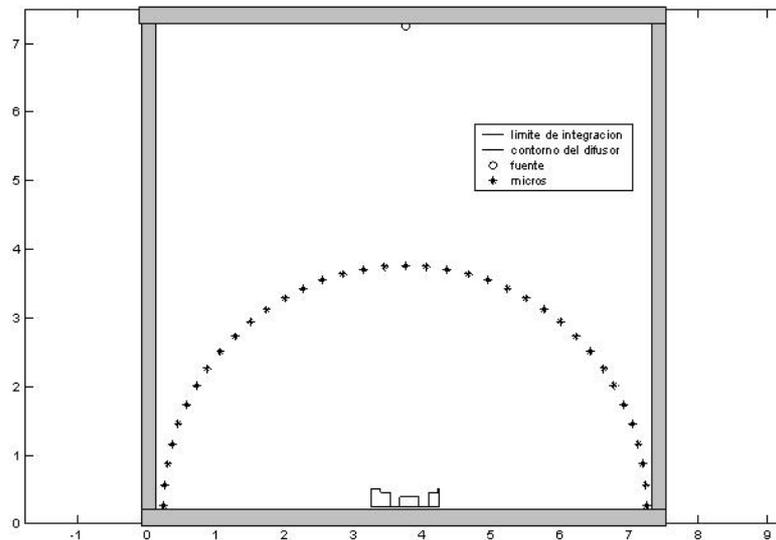


Figura 1. Esquema de una de las simulaciones realizadas (difusor tipo QR). Se ilustran tanto las posiciones de medida (micrófonos) como la posición de la excitación (fuente) así como el contorno absorbente PML (véase texto).

La zona de integración consiste en tres mallas al tresbolillo (una malla para la presión sonora, otra malla para la velocidad de partícula en la dirección x , y finalmente una malla para la velocidad de partícula en la dirección y). La distancia entre puntos de cada malla es de 1 cm, por lo que cabe esperar resultados validos hasta los 4000 Hz. Como ya se ha comentado, para

mayor brevedad no se citan aquí los detalles sobre la técnicas de simulación empleadas. El lector interesado puede consultar por ejemplo la referencia [5].

RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 2 se presentan algunas simulaciones de la reflexión del sonido sobre diferentes superficies, incluyendo difusores acústicos. Estas simulaciones ilustran el potencial de la técnica FDTD para el estudio en el dominio de tiempos de las reflexiones sobre superficies irregulares.

2a)

2c)

Figura 2. Nivel de presión sonora (referencia arbitraria) reflejado por una serie de superficies. a) Superficie plana: Se puede visualizar la difracción de borde. b) Cilindro: El sonido es esparcido en todas las direcciones posibles pero no se observa dispersión temporal. c) difusor de Schröder de tipo residuo cuadrático: Nótese como no sólo provoca dispersión espacial sino también dispersión temporal.

2b)

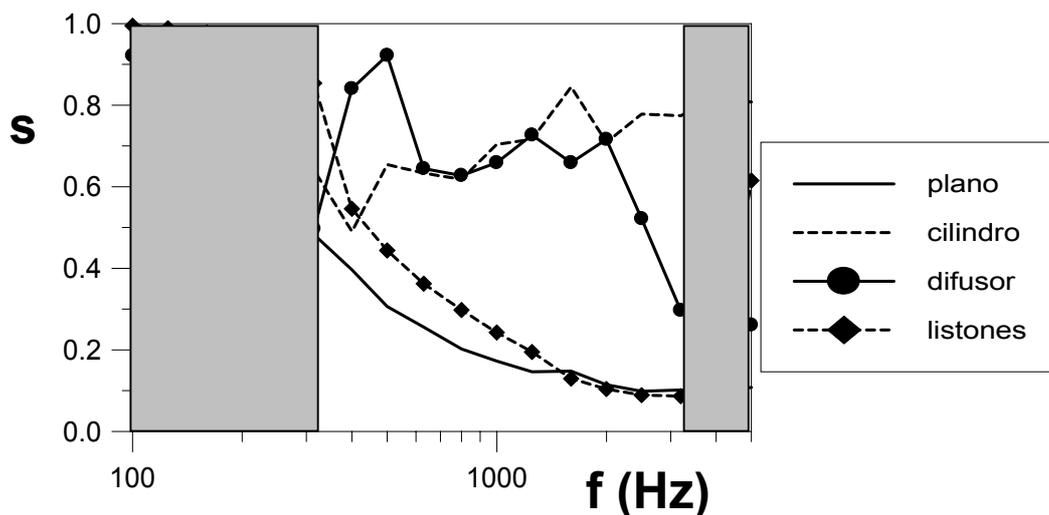


Figura 3. Coeficiente de scattering (s) frente a la frecuencia de las cuatro superficies consideradas. Se pueden distinguir dos zonas (baja frecuencia y alta frecuencia, en gris en la figura) en que los resultados no coinciden con lo esperado (ver texto).

Con el fin de verificar la corrección de las simulaciones se ha calculado el coeficiente de scattering (s) en tercios de octava según la norma AES [10]. Los resultados obtenidos se ilustran en la figura 3. Puede observarse que a bajas frecuencias, por debajo de unos 300 Hz

los listones equiespaciados proporcionan una dispersión del sonido mucho mayor que la superficie plana e referencia. Esto es debido a errores de cálculo de las diferencias finitas a baja frecuencia. De nuevo se observa un comportamiento incoherente en las simulaciones en el valor obtenido a 5000 Hz para los listones equiespaciados. No obstante dicha frecuencia no puede ser considerada con el tamaño de malla elegido (1 cm). En el resto del rango frecuencial considerado se observan resultados coincidentes con lo esperado. El cilindro proporciona una dispersión más o menos homogénea, con un leve aumento con la frecuencia achacable al hecho de aumentar el ancho de banda a medida que aumenta la frecuencia considerada. Por el contrario en caso del difusor se observa una mayor eficiencia dentro de su rango de trabajo (300 a 1000 Hz).

CONCLUSIONES Y AGRADECIMIENTOS

En conclusión podemos señalar que las diferencias finitas en el dominio de tiempos permiten simular correctamente la dispersión en reflexión proporcionada por superficies irregulares en general y difusores acústicos en particular, dentro de un rango de frecuencias, simulando de manera incorrecta el comportamiento tanto a bajas frecuencias como a altas frecuencias. Se puede prever que una adecuada combinación de simulaciones con diferentes tamaños de malla permitiría ampliar el rango frecuencial a estudiar.

El presente trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT Mat2003-04068).

REFERENCIAS

- [1] K.S. Yee, Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media; IEEE Transactions on Antennas Propag., Vol 14, 302-307, 1966
- [2] J. Lovetri, D. Mardare and G. Soulodre, Modeling of the seat dip effect using the finite-difference time-domain method, J. Acoust. Soc. Am., 100, 2204 (1996).
- [3] T. Van Renterghem, D. Botteldooren Numerical Simulation of the Effect of Trees on Downwind Noise Barrier Performance. Acta Acustica united with Acustica. Vol. 89 (2003) 764 – 778
- [4] J. Redondo, R. Picó, B. Roig, "Simulation of the sound propagation inside a wind instrument by means of the Finite-Difference Time-Domain Method". Proceedings in European Acoustics Association Symposium, Guimeraes (2004).
- [5] <http://personales.gan.upv.es/~fredondo/>
- [6] Tristan J. Hargreaves, Trevor J. Cox, Y. W. Lam, Peter D'Antonio. Surface diffusion coefficients for room acoustics: Free-field measures. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 108, No. 4, October 2000
- [7] Vorländer M., Mommertz E., Definition and Measurement of Random-incidence Scattering Coefficients, Applied Acoustics 60 (2000), p. 187-1999.
- [8] X. Yuan, D. Borup, J. W. Wiskin, M. Berggren, R. Eidens, S. Johnson, Formulation and Validation of Berenger's PML Absorbing Boundary for the FDTD Simulation of Acoustic Scattering; IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control, Vol 44, No. 4, 816-822, July 1997
- [9] J.B. Schneider, C.L. Wagner, S.L. Broschat, Implementation of transparent sources embedded in acoustic finite-difference time domain grids, J. Acoust. Soc. Am. Vol 133, No. 1, 136-142, January 1998
- [10] AES information document for room acoustics and sound reinforcement systems — Characterization and measurement of surface scattering uniformity. Audio Engineering Society. (2001)