

COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TÉCNICAS DE FRAGMENTACIÓN DE FUENTES EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS ACÚSTICOS

PACS: 43.58.Ta

Aramendia, E.; Nagore, I.; San Martin, R.; San Martin, M.L.; Arana, M.
Laboratorio de Acústica. Departamento de Física
Universidad Pública de Navarra.
Campus de Arrosadia
31006. Pamplona. Spain
Tel: 948 169 568
Fax: 948 169 565
E-mail: marana@unavarra.es

ABSTRACT

When predicting noise levels in a receiver point originated by lineal sources, two strategies had been developed. The first lies in to divide the line source in sections of different lengths. The parameter that quantifies the length of the section is the quotient between such length and the distance to the receiver point, named Raster factor. The second lies in to divide all the angular vision-360°-from the receiver point in constant angular steps and takes into account all the contributions of the source lines intercepted by such rays. Both the calculation times and the precision of the results depend on the strategy used. Typical values used by the Raster factor vary from 0.125 to 0.5. Typical values used by constant angular step vary from 1° to 10°. In this work, a detailed comparison between two strategies-both on the computation times and on the precision of the results- will be shown for different urban configurations. As a general conclusion the strategy of Raster factor is better when an agreement between computation time and precision is taken into account.

RESUMEN

En la elaboración computacional de mapas acústicos, las fuentes continuas han de dividirse en fuentes puntuales para evaluar su contribución en el receptor mediante algún tipo de algoritmo. Para este fin, se han desarrollado dos estrategias. La primera divide la fuente lineal en secciones de diferente longitud. El parámetro que cuantifica la longitud de la sección es el cociente entre tal longitud y la distancia al punto del receptor, denominado factor *Raster*. El segundo consiste en dividir todo el todo el ángulo de visión (360°, desde el receptor) en pasos angulares constantes y considera todas las contribuciones de las líneas (convertidas en fuentes puntuales) interceptadas por tales rayos. Los tiempos del cálculo y la precisión de los resultados dependen de la estrategia utilizada. Los valores típicos usados para el factor Raster varían de 0.125 a 0.5. Los valores típicos usados para paso angular constante varían de 1° a 10°. En este trabajo, se lleva a cabo una comparación detallada entre ambas estrategias, tanto para los tiempos de computación requeridos como en la precisión de los resultados para diversas configuraciones urbanas. Como conclusión general la estrategia del factor Raster es mejor cuando se requiere un acuerdo entre el tiempo del cómputo y la precisión de los resultados.

1. INTRODUCCIÓN

En los modelos computacionales para la elaboración de mapas acústicos, para predecir los niveles sonoros en un punto receptor originado por fuentes lineales (tal como las vías de tráfico) se han desarrollado dos estrategias. El primero consiste en dividir la fuente lineal en secciones de diferente longitud y reemplazar, posteriormente, cada sección por una fuente puntual localizada en el centro. El parámetro que cuantifica la longitud de la sección es el cociente entre la longitud de tal sección y su distancia al punto receptor, denominado *factor raster*. El segundo método consiste en dividir toda la visión angular desde el punto receptor (360°) en pasos de incremento angular constante y tomar en cuenta todas las contribuciones de los tramos lineales interceptados, sustituyéndolos nuevamente por fuentes puntuales en su punto medio. Dos de los más conocidos paquetes comerciales [1,2] utilizan, respectivamente, estas estrategias. Tanto los tiempos de cálculo como la precisión de los resultados dependen de la estrategia utilizada y del factor de precisión que le acompaña, es decir, el valor del factor raster y el paso angular adoptado. A veces, curiosamente, una excesiva discretización de la fuente lineal puede producir resultados incorrectos.

2. FRAGMENTACIÓN DE UNA FUENTE LINEAL

2.1. Método del Factor Raster (MFR)

El cociente entre la distancia L_i en el que se ha dividido la fuente lineal y la distancia desde la fuente puntual equivalente al punto receptor, se define como el factor raster (FR). Según la figura 1, este parámetro se puede expresar como:

$$L_i = FR \cdot R_i \quad (1)$$

Si la fuente lineal se discretiza atendiendo estrictamente a esta fórmula, debe implementarse un método con doble iteración. Se puede usar una fórmula conservativa para solventar este problema. Podemos redefinir el FR de acuerdo a:

$$L_i = FR \cdot D_i \quad (2)$$

El valor de L_i obtenido con la expresión (2) es siempre menor que el obtenido con la expresión (1) por lo que este método es más preciso aunque no siga estrictamente la definición de ISO 9613-2 [3]. De acuerdo con este estándar, el valor del FR ha de ser inferior a 0.5. La figura 1 también muestra el método iterativo para dividir la fuente lineal en fuentes puntuales equivalentes.

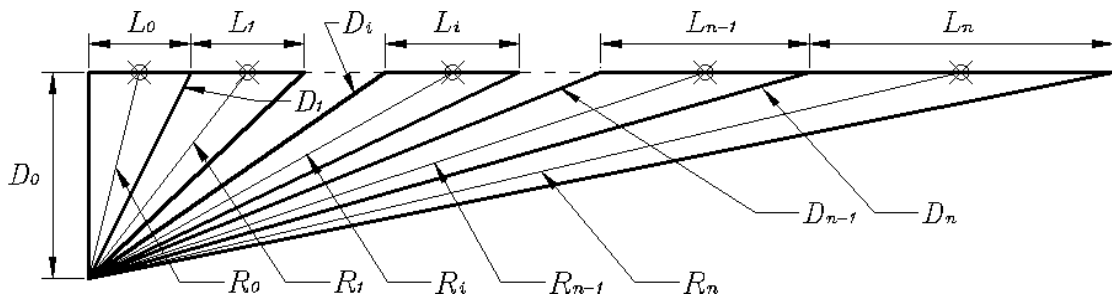


Fig.1. Fragmentación de una fuente lineal en fuentes puntuales equivalentes de acuerdo con MFR

Las formulas que permiten evaluar los valores de D_i y R_i a partir de los valores de D_0 y FR son las siguientes:

$$D_i = \sqrt{D_0^2 + RF^2 \cdot \left(\sum_{j=0}^{i-1} D_j\right)^2} \quad (3)$$

$$R_i = \sqrt{D_0^2 + RF^2 \cdot \left(\left(\sum_{j=0}^{i-1} D_j\right) + \frac{D_i}{2}\right)^2} \quad (4)$$

No es preciso dividir la fuente lineal que se extiende a la izquierda del receptor puesto que, si tal lado es menor que el derecho, las fuentes puntuales obtenidas en el lado derecho se pueden copiar, por técnica especular, al lado izquierdo. El mayor de los tramos (a izquierda o derecha del receptor) se selecciona previamente para garantizar el método. En cualquier caso, estamos considerando el caso, relativamente sencillo, de línea recta.

Se caracteriza la potencia acústica de la fuente lineal por el parámetro λ , con unidades de w/m , es decir, potencia acústica por unidad de longitud. Este valor puede obtenerse de los modelos oficiales que se estén implementando. Está relacionado con el nivel sonoro que produce la fuente lineal infinita (con las variables de densidad de tráfico, velocidad, composición, et.) a la distancia de referencia. Las fuentes puntuales equivalentes tendrán la potencia acústica correspondiente a su longitud de sección de acuerdo con la fórmula:

$$L_{wi} = \lambda \cdot L_i \quad (5)$$

En principio, no es necesario evaluar D_i para calcular la contribución en el punto receptor pero puede ser útil cuando se requiera una más precisa fragmentación de la fuente lineal cuando existan obstáculos (barreras acústicas) y deba utilizarse el denominado *método de proyección*, donde la fuente lineal es previamente dividida en secciones visibles o apantalladas.

Los valores del FR varían comúnmente desde 0.125 a 0.5. Las diferencias debidas al FR en el mapeado acústico de zonas abiertas son, en general, muy pequeñas. No obstante, en casos particulares donde el receptor se encuentra apantallado, tales diferencias pueden llegar a ser significativas. Un valor de 0.5 para el FR (siguiendo las recomendaciones de ISO 9613-2 viene a ser un buen compromiso entre tiempo de cálculo y precisión en el mapeado acústico urbano. Sin embargo, hemos encontrado situaciones (en presencia de obstáculos) donde las diferencias han sido superiores a 2 dB al cambiar el factor raster de 0.5 a 0.1.

2.1. Método del Paso Angular Constante (MPAC)

En este método, rayos con paso angular constante son emitidos desde el receptor en todas las direcciones. De acuerdo con NMPB-96 [4] tal paso angular ha de ser igual o inferior a 10° . Los puntos de intersección entre los rayos y la fuente lineal determinan la ubicación de las fuentes puntuales equivalentes, cuya potencia acústica será función de la longitud de la fuente lineal interceptada. Las fórmulas necesarias en este método son más sencillas de implementar que las vistas en el MFR. La figura 2 muestra el método iterativo correspondiente.

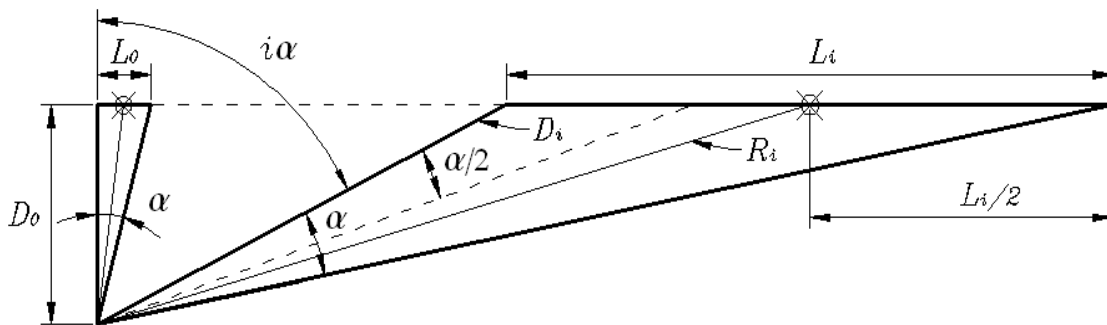


Fig. 2. Fragmentación de una fuente lineal en fuentes puntuales equivalentes de acuerdo con MPAC.

$$L_i = D_0 \cdot \operatorname{tg}[(i+1) \cdot \alpha] - \sum_{j=0}^{i-1} L_j \quad (6)$$

$$D_i = \frac{D_0}{\cos(i \cdot \alpha)} \quad (7)$$

$$R_i = \sqrt{D_0^2 + \left[\left(\sum_{j=0}^{i-1} L_j \right) - \frac{L_i}{2} \right]^2} \approx D_0 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2((i+0.5) \cdot \alpha)} = \frac{D_0}{\cos((i+0.5) \cdot \alpha)} \quad (8)$$

R_i puede expresarse también como:

$$R_i = \frac{D_0}{\cos((i+0.5) \cdot \alpha + \delta_i)} \quad (9)$$

En la figura 3 se puede ver que δ_i es independiente de D_0 . Son usuales los valores entre 1° y 10° para el MPAC.

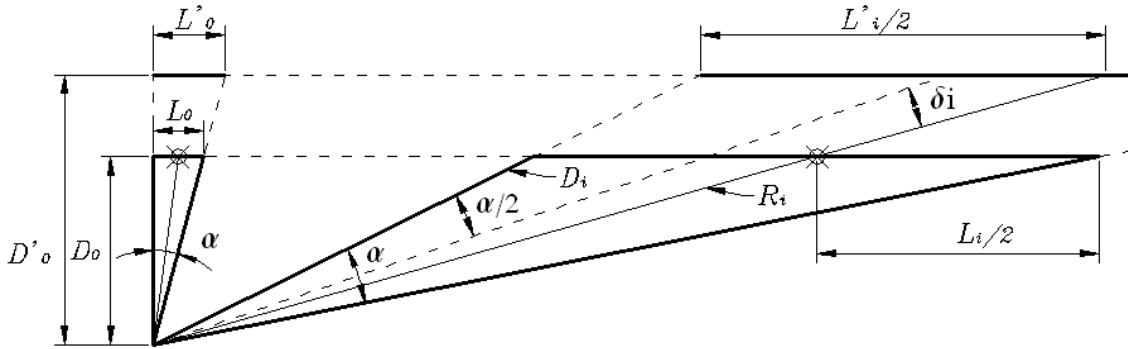


Fig. 3. Independencia, en la discretización, de la distancia ortogonal fuente-receptor

3. MÉTODO EXACTO

Para evaluar los errores debidos a la fragmentación de la fuente lineal (al menos, para la línea recta infinita) evaluaremos el cálculo exacto del Nivel de Intensidad Sonora (NIS) en el punto receptor. Supongamos una fuente lineal infinita con potencia acústica λ por unidad de longitud. Obtendremos el NIS integrando ambos lados del total de la línea.

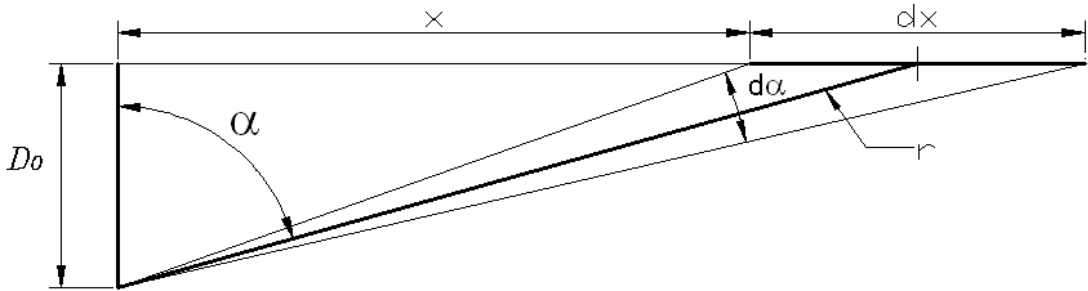


Fig. 4. Método exacto para una fragmentación infinitesimal de la fuente lineal.

$$dI = \frac{\lambda dx}{4\pi r^2} \Rightarrow I_T = 2 \cdot \int_0^\infty \frac{\lambda dx}{4\pi r^2} = 2 \cdot \int_0^{\pi/2} \frac{\lambda \frac{D_0 d\alpha}{\cos^2 \alpha}}{4\pi \frac{D_0^2}{\cos^2 \alpha}} = \frac{\lambda}{4D_0} \Rightarrow NIS = 10 \operatorname{Log} \frac{\lambda}{4D_0 \cdot 10^{-12}} \quad (9)$$

Si la distancia $x \neq \infty$

$$I_T = \frac{\lambda}{2\pi D_0} \cdot \int_0^{\arctg \frac{x}{D_0}} d\alpha = \frac{\lambda}{2\pi D_0} \cdot \arctg \frac{x}{D_0} \Rightarrow NIS = 10 \text{Log} \left(\frac{\lambda \cdot \arctg \frac{x}{D_0}}{2\pi D_0 \cdot 10^{-12}} \right) \quad (10)$$

4. COMPARACIÓN ENTRE MFR Y MPAC

La diferencia entre ambos métodos y el método exacto dependerá de cómo de fina se realice la fragmentación. La comparación entre los dos métodos se llevará a cabo para una línea de tráfico recta infinita. La fragmentación se puede realizar con diferente precisión en ambos métodos, dependiendo de los valores que se tomen para los parámetros FR y PAC. Para ello tomaremos los valores recomendados en las normativas antes citadas: 0.5 para el FR, según ISO 9613-2 y 10° para el PAC según NMPB-96. Como vimos anteriormente, no hay dependencia entre los errores debidos a la fragmentación y la distancia ortogonal fuente-receptor para ambos métodos. La tabla 1 muestra los resultados.

Tabla 1. Errores debidos a la fragmentación para los dos métodos (MFR y MPAC).

Método	Valor del parámetro	Error
Factor Raster (FR)	0.5	0.056 dB
Paso Angular Constante (PAC)	10°	0.595 dB

Cuando el valor del paso angular es 2°, el error cometido por este método es idéntico al correspondiente al MFR con valor del parámetro igual a 0.5.

Compararemos ahora ambos métodos para una carretera finita, con radio de búsqueda de 2 km y una distancia ortogonal fuente-receptor de 10 m. Este radio se usa en los programas de cálculo como el radio de la circunferencia centrada en el receptor de tal forma que no se consideran en el cálculo las fuentes externas a dicho círculo. Las diferencias encontradas entre MFR y MPAC (con respecto al valor exacto) se muestran en la tabla 2. También se muestra el número de secciones en los que ha sido necesario dividir la fuente lineal para cada caso. Los errores se igualan (tomando FR=0.5) cuando el PAC es de 2°. Aunque el error es independiente de la distancia fuente receptor, pero el número de secciones (una vez que los errores coinciden) depende de la distancia fuente-receptor si la carretera es finita, por lo que existe un distancia crítica para la que el número de secciones también se iguala. Para el caso señalado (una distancia de 2 km de radio de búsqueda suele ser más que suficiente) esta distancia es de sólo 10⁻⁴ m. Esto indica que el MFR es mejor, en la práctica, que el MPAC, tanto por los inferiores errores como por el menor número de secciones requeridas en la fragmentación.

Table 2: Comparación entre MFR y MPAC para diferentes valores del parámetro. Errores y número de secciones de la fragmentación (radio de búsqueda: 2 km).

Valor del FR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Error (dB)	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06
Número de secciones	67	33	23	18	15
Valor (grados) del PAC	0,5	1	1.99	2	5
Error (dB)	0,01	0,02	0.06	0,07	0,23
Número de secciones	180	90	46	45	18

5. ERRORES DEBIDOS A VISIBILIDAD Y REDONDEO

Pueden cometerse errores en el cálculo de los niveles sonoros por la fragmentación de las fuentes lineales, tanto debido a cuestiones de redondeo (ante, curiosamente, una excesivamente fina definición de la línea de tráfico) como por los necesarios y previos

algoritmos de visibilidad. Esto es lo que sucede, de hecho y respectivamente, en los programas comerciales citados. La figura 5 muestra el error cometido por uno de los programas (CadnaA) cuando la línea de tráfico está definida con excesiva precisión. Puntos con definición del mm (a la izquierda de la figura) son redondeados a cero. Por otra parte, la figura 6 muestra, gráficamente, el posible error que puede cometer el otro programa (SoundPLAN) en el algoritmo de visibilidad. Para situaciones críticas, el error puede superar (al igual que el ejemplo anterior) los 5 dB.

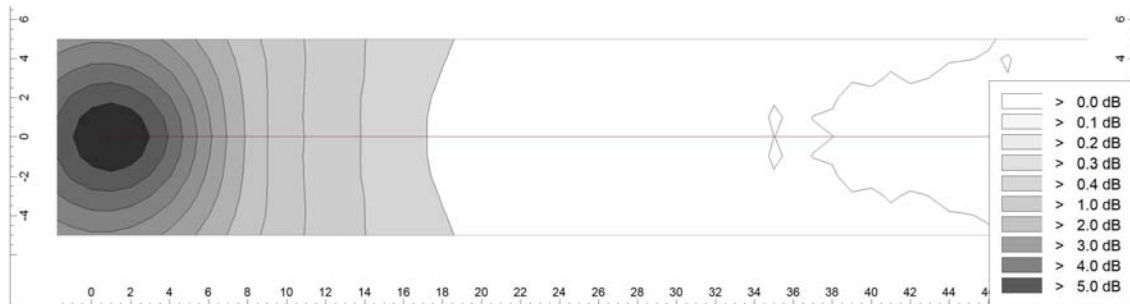


Figura 5. Diferencia de niveles obtenidos en CadnaA, únicamente debidas a un exceso de puntos en la parte izquierda de la polilínea.

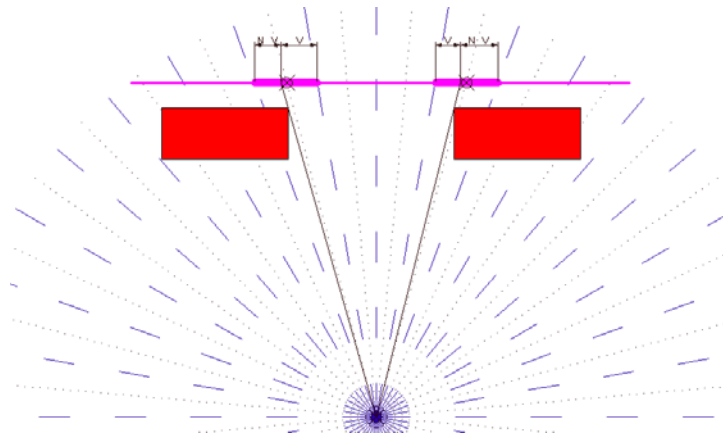


Figura 6. Algoritmo de visibilidad (visible tramo izquierdo; no visible tramo derecho) en SoundPLAN.

CONCLUSIÓN

Existen dos estrategias para la fragmentación de fuentes lineales en fuentes puntuales equivalentes. Ambas estrategias conllevan su error con respecto al cálculo exacto y sus diferencias en tiempo de computación. Por regla general, resulta más preciso el MFR. No obstante, los algoritmos de implementación deben de cuidar los efectos del redondeo y la visibilidad de las fuentes dado que (únicamente debido a este efecto) pueden cometerse errores superiores a los 5 dB en el cálculo de los niveles sonoros.

REFERENCIAS

- [1] CadnaA, DataKustik. Instructions for use, (2005).
- [2] SoundPLAN, Wins–User’s Manual: Technical Acoustics in SoundPLAN, (2005).
- [3] ISO 9613-2: “Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation”, (1996).
- [4] “Bruit des infrastructures routières. Méthode de calcul incluant les effets météorologiques”. NMPB–Routes–96. CERTU, CSTB, LCPC, SETRA. (1997).