

Diseño de un sistema de control activo local del ruido

García Bonito, J., Elliott, S.J. y Boucher C.C.

ISVR, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK

INTRODUCCION

El tamaño de la zona de silencio creada en las proximidades de una fuente acústica (altavoz) utilizada para cancelar la presión de un campo acústico primario en la posición de un micrófono de error aumenta cuando el micrófono de error se aleja de dicha fuente acústica [1]. Si dicho sistema de control activo local se instalara en el apoyacabezas de un asiento de pasajeros, el sensor debería estar colocado cerca de los oídos del pasajero. Sin embargo, esta disposición limita la movilidad de la cabeza o puede ser incómodo. Por esta razón, para generar zonas de silencio de una extensión apropiada, el micrófono de error se debe colocar a una distancia tal que puede limitar los movimientos de la cabeza de la persona. La definición de la posición relativa entre el altavoz de un sistema de control activo local y el micrófono de error es un problema fundamental a la hora de estudiar la eficiencia acústica del sistema. David y Elliott [2], por ejemplo, han investigado el uso de un micrófono de error en el plano del diafragma de un altavoz para producir una zona de silencio semiesférica a bajas frecuencias que se extienda en la parte frontal del altavoz. Sin embargo, este sistema no es efectivo a altas frecuencias. En [3], dichos investigadores presentaron un método basado en un 'micrófono virtual' para proyectar las zonas de silencio a una distancia deseada sin la necesidad de colocar un micrófono de error físico en dicho punto.

En este artículo presentamos resultados teóricos que ilustran la importancia de la posición del sensor de error y la manera de solventar el problema de situar las zonas de silencio cerca de los oídos del pasajero sin interferir con los movimientos de su cabeza. Estos resultados teóricos se han utilizado para inspirar la construcción de un prototipo de control activo local del ruido implementado en el apoyacabezas de un asiento de pasajeros en el que se han realizado mediciones de las zonas de silencio realmente obtenidas.

La figura 1 muestra el diagrama de bloques de un sistema mono-canal con un micrófono virtual. La presión acústica a una determinada frecuencia (denotada por un fasor) en la posición del micrófono físico se puede expresar como

$$p_a = p_{p_a} + Z_a q_s \quad (1)$$

donde p_{p_a} es la presión del campo acústico primario (presión acústica a cancelar) en dicha posición, Z_a es la impedancia acústica de transferencia desde la fuente secundaria a la posición del micrófono físico y q_s es la velocidad de volumen de la fuente secundaria. Análogamente, la presión acústica en la posición del 'micrófono virtual' se puede expresar como

$$p_v = p_{p_v} + Z_v q_s \quad (2)$$

siendo p_{p_v} la presión acústica primaria en ese punto y Z_v la correspondiente impedancia acústica de transferencia. A bajas frecuencias la variación espacial del campo acústico primario es pequeña y, por tanto, se puede suponer que $p_{p_a} \approx p_{p_v}$. Sin embargo, las impedancias acústicas Z_a y Z_v pueden ser muy diferentes. En estas circunstancias, la presión en el micrófono virtual puede ser estimada a partir de la medida del micrófono físico usando la siguiente expresión [3],

$$\hat{p}_v = p_a - (Z_a - Z_v)q_s \quad (3)$$

La presión estimada en el micrófono virtual, \hat{p}_v , puede ser cancelada por la acción de la fuente secundaria usando únicamente la medida obtenida por el micrófono físico. Por lo tanto, conociendo Z_a , Z_v y q_s , la señal

del micrófono físico, p_a , puede ser procesada electrónicamente como se ilustra en la figura 1, para dar la presión \hat{p}_v , la cual puede ser cancelada por un controlador. Esto produciría una zona de silencio alrededor del micrófono virtual.

ESTUDIO TEORICO DE LA EXTENSION DE LA ZONA DE SILENCIO

La figura 2 muestra tres posibles planteamientos de un sistema local de control activo en el que la fuente secundaria se ha modelizado como una esfera con un segmento vibrando y la cabeza del pasajero se ha modelizado como una esfera rígida [4]. En estas simulaciones, la amplitud y la fase del segmento activo se han ajustado para cancelar la presión en un punto determinado. Esta figura representa las zonas de silencio generadas en un campo difuso cuando la presión acústica es cancelada en un micrófono físico (+) colocado en dos posiciones distintas (a) y (b) y un micrófono virtual (*) situado cerca de la cabeza del pasajero, (c). Se observa que el sistema (a) garantiza la máxima atenuación en el oído del pasajero pero limita su movilidad considerablemente. Los sistemas en (b) y (c), por el contrario, tienen el micrófono físico en una posición que no interfiere con los movimientos del pasajero. Si bien a bajas frecuencias, $kL = 0.2$ (donde k es el número de onda y L es la distancia especificada en la figura 2), el sistema (b) produce zonas de silencio más grandes cerca de la cabeza difractante, para valores de $kL = 1$, sólo el sistema virtual (c) es capaz de posicionar la zona de silencio cerca de la cabeza sin limitar su movilidad. Para un altavoz de diámetro 0.1 m, los valores de kL corresponden a frecuencias de excitación de aproximadamente 100 Hz para $kL = 0.2$ y 500 Hz para $kL = 1$. Estos resultados sugieren que un sistema con micrófono virtual es capaz de proyectar las zonas de silencio en un rango de frecuencias mayor que un sistema basado en un micrófono físico a la vez que permite libertad de movimientos de la cabeza del pasajero.

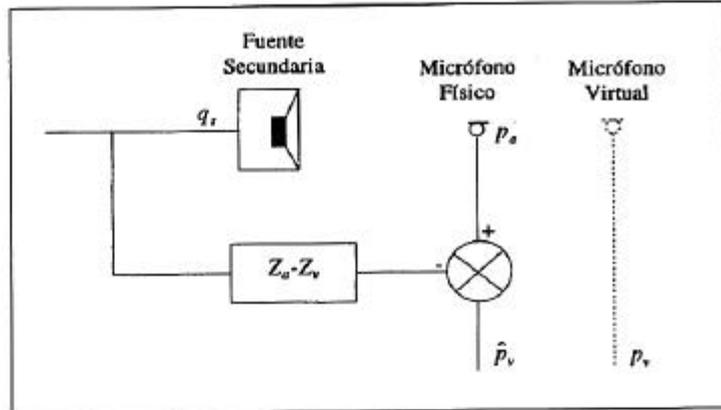


Figura 1: Diagrama de un sistema de control activo local con micrófono virtual.

MEDICIONES EN UN SISTEMA ACTIVO LOCAL CON MICROFONOS VIRTUALES

Con el fin de realizar medidas de las zonas de silencio que se pueden generar con un sistema de control activo local práctico, se construyó el conjunto mostrado en la figura 3 [5]. La figura muestra un apoyacabezas con dos altavoces de 100 mm de diámetro montados en un asiento de pasajeros y un maniquí con micrófonos en los oídos. El conjunto de la figura 3 fue colocado en una cámara anecoica con un altavoz primario (fuente del ruido a cancelar) situado a 2 m. del respaldo del asiento y enfocado hacia él. La fase y amplitud de los altavoces secundarios fueron ajustadas para cancelar la presión primaria en las posiciones de dos micrófonos virtuales colocados cerca de los oídos del maniquí. El control se realizó en tiempo real utilizando un controlador activo multicanal. La señal de excitación del altavoz primario fue generada por el mismo controlador, de tal manera que la frecuencia de las señales de alimentación de los altavoces secundarios y primario siempre coincidía. La identificación del camino electro-acústico desde los altavoces secundarios a los micrófonos físicos y virtuales se realizó con la cabeza del maniquí centrada en el apoyacabezas. Estas funciones de transferencia fueron utilizadas por el algoritmo de control para cancelar las señales de error (presión en las posiciones de los micrófonos virtuales) para cualquier otra posición del maniquí. La figura 3 muestra la atenuación medida en los oídos del maniquí al aplicar control activo para dos frecuencias de excitación (160 Hz y 480 Hz) y diferentes posiciones laterales (dirección y) del maniquí. Hay que resaltar que estas curvas no se podrían haber obtenido si los micrófonos físicos hubiesen estado cerca de la cabeza del maniquí ya que los desplazamientos laterales no serían posibles. Los resultados muestran que la máxima atenuación se obtiene en la posición del micrófono virtual, es decir, a 2 cm de los oídos.

CONCLUSIONES

El uso de micrófonos virtuales en un sistema de control activo local del ruido ha sido estudiado con un modelo teórico y medido con un prototipo implementado en el apoyacabezas de un asiento de pasajeros. Los resultados sugieren que el uso de esta estrategia en un sistema de control activo local es apropiada para aquellas situaciones prácticas en las que se desea atenuar el ruido alrededor de la cabeza de un pasajero hasta una frecuencia de 500 Hz.

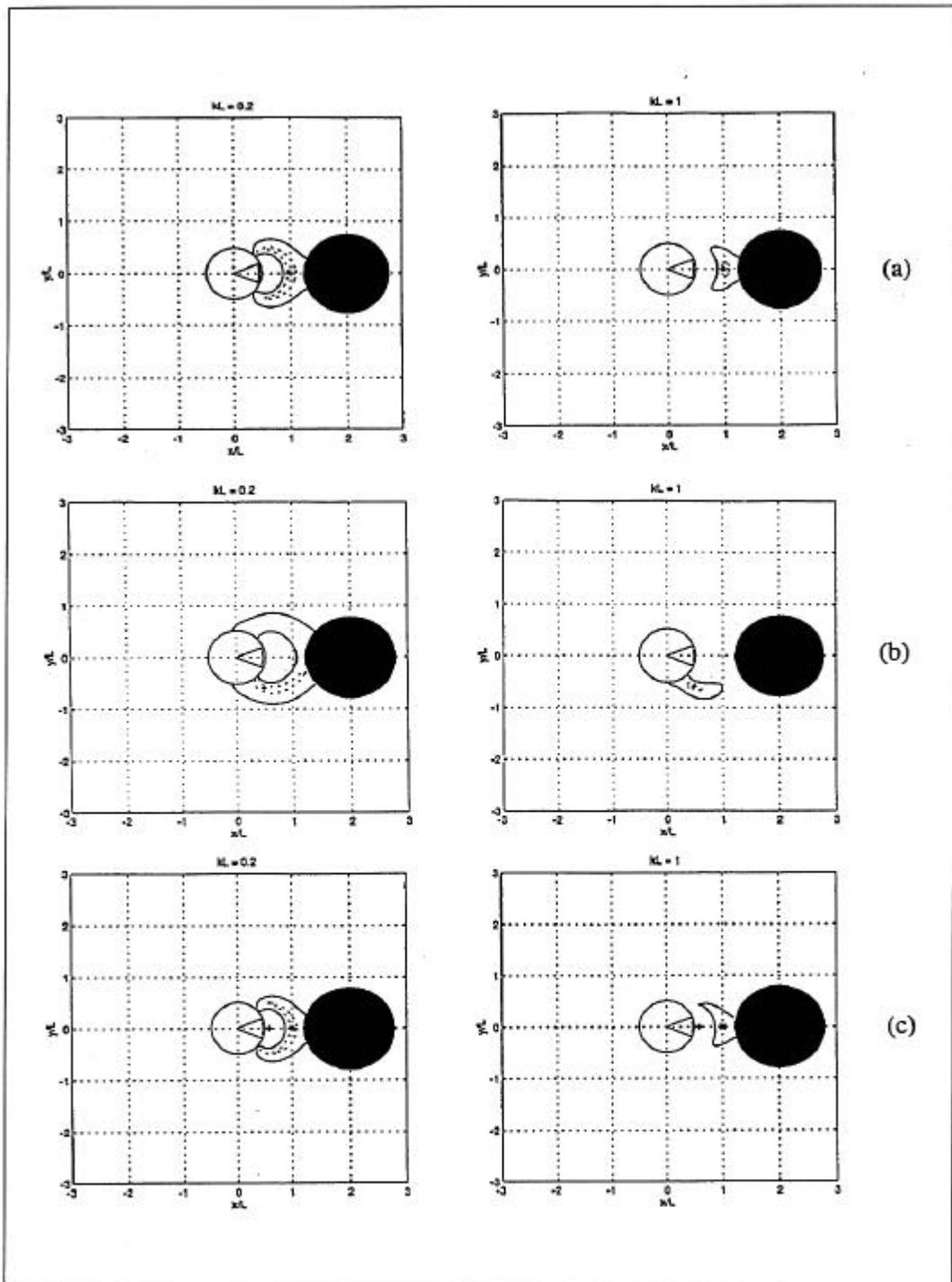


Figura 2: Zonas de silencio con atenuación de 10 dB (línea continua) y 20 dB (línea discontinua) producidas al superponer un campo acústico primario difuso y el campo acústico debido a una fuente secundaria de forma esférica con un segmento activo de 45° y radio $L/2$, cancelando la presión en un micrófono físico "+" colocado en 2 posiciones distintas (a) y (b), y en un micrófono virtual "*", (c). La esfera difractante (color negro) tiene un radio de $11L/15$ donde L es la distancia entre el centro de la fuente secundaria y la posición del micrófono virtual en (c). El micrófono físico en (a) y (b), "+" , se encuentra en $(xL, yL) = (1, 0)$ y $(0.5, -0.5)$ respectivamente y en (c) está situado en $(xL, yL) = (0.6, 0)$. El micrófono virtual en (c), "*" , se localiza en $(xL, yL) = (1, 0)$

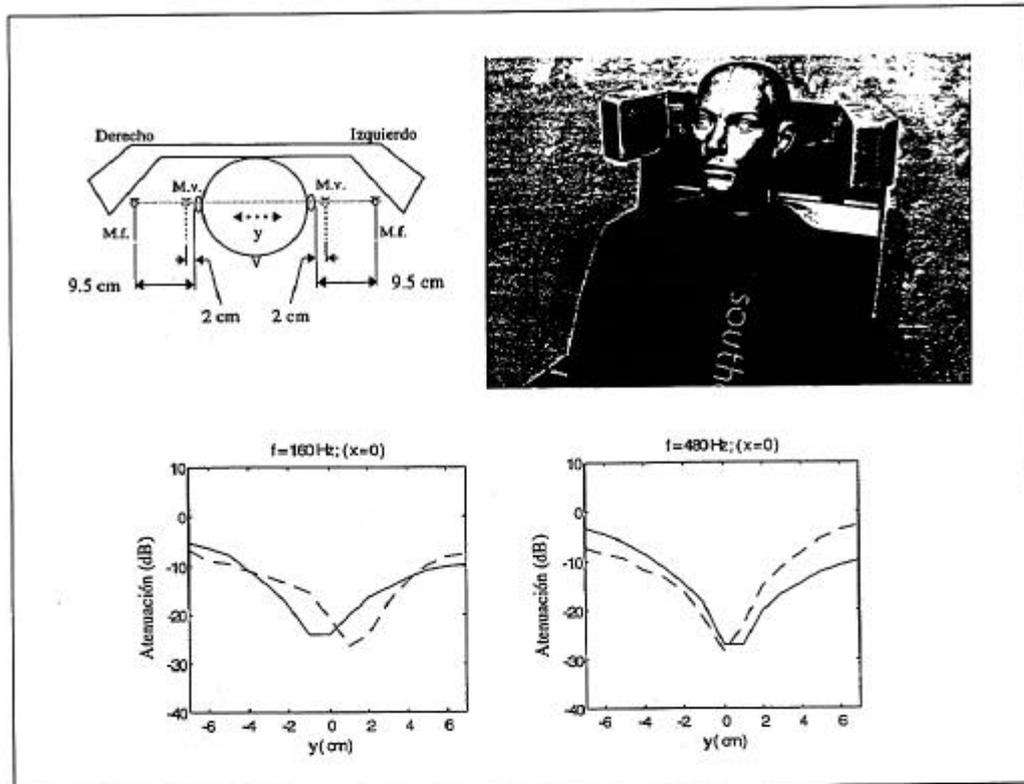


Figura 3: Medición de la atenuación conseguida a 160 Hz y 480 Hz en el oído derecho (línea continua) y el oído izquierdo (línea discontinua) tras ajustar los dos altavoces del sistema de control activo local (ver fotografía superior derecha) para cancelar la presión acústica primaria en las posiciones de los dos micrófonos virtuales (M.v.) para diferentes posiciones laterales del maniquí. Los micrófonos físicos se denotan como M.f. El campo acústico primario utilizado en estas mediciones es una onda plana propagándose en la dirección perpendicular al eje y.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la fundación 'La Caixa' y la CIRIT (Generalitat de Catalunya).

REFERENCIAS

- [1] Joseph, P., Elliott, S.J. y Nelson, P.A., J. Sound and Vib. 1721(5), 605-627 (1994)
- [2] David, A. y Elliott, S. J., Applied Acoustics, 41, 63-79 (1994)
- [3] Elliott, S. J. y David, A., 1st International Conf. on Motion and Vibration Control, Yokohama (1992)
- [4] García Bonito, J. y Elliott, S. J., JASA vol 98(2), Pt1, 1017-1024 (1995)
- [5] García Bonito, J., Elliott, S. J. y Boucher, C. C. (Presentado a JASA)