



## Caracterización de Funciones de Transferencia mediante MLS aplicado a Sistemas de Reproducción de Sonido

J. Javier López, Alberto González

Departamento de Comunicaciones. Universidad Politécnica de Valencia.

Email : jjlopez@dcom.upv.es, agonzal@dcom.upv.es

Tel: +34 6 2849300, Fax : +34 6 2849313

### Abstract

A general description of the realistic sound reproduction problem is presented. Multichannel Techniques are proposed and the need of a method for obtaining the transfer function between sources and sensors is showed. The MLS method for impulse response computation is explained and applied in order to obtain those functions. Some laboratory experiments where noise immunity of this method are presented. Some future work in real time systems applied to multichannel sound reproduction is been developed in our research group.

### Introducción

Durante toda la historia del audio y de la acústica, uno de los objetivos más perseguidos, ha sido y sigue siendo, la recreación de un entorno acústico de escucha particular, en otra sala de escucha final con otras condiciones particulares. Este concepto se ha dado en llamar Auralización [9].

Durante 50 años, los sistemas de sonido estéreo han jugado un papel importante en la aproximación a los objetivos mencionados, sin embargo, la sensación conseguida por estos sistemas todavía dista bastante de proporcionar una verdadera inmersión del oyente.

Como alternativa a los sistemas estereofónicos, empezaron a aparecer en los años 70 sistemas de sonido envolvente (surround) que intentan proporcionar una mejor sensación que el estéreo utilizando más canales de reproducción; el sistema Dolby Stereo ha sido durante tiempo la referencia de los mismos. La última innovación en reproducción de sonido multicanal se basa en técnicas de compresión digital de la señal, aprovechando los efectos de enmascaramiento del oído, con el objeto de reducir la cantidad de información digital a almacenar. La mayoría de estos sistemas utilizan 5+1 canales de audio, siendo los más conocidos el Dolby Digital (AC-3), el DTS y el MPEG-2 multicanal

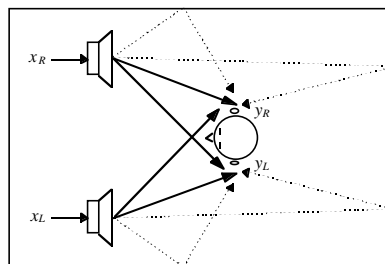
En resumen, podemos decir que los sistemas de sonido envolvente han sido diseñados para mejorar el disfrute de las películas en las salas de cine. Para esta tarea tan limitada (efectos especiales, explosiones, disparos, etc) podemos decir que cumplen su función. Sin embargo, la verdadera sensación de encontrarse en un entorno acústico determinado, de percibir los sonidos en las distintas posiciones del espacio y con los matices precisos, en definitiva, engañar a nuestro cerebro de forma realista, requiere sistemas mucho más complejos capaces de sintetizar de forma precisa campos acústicos en zonas del espacio de escucha.

Estas técnicas de reproducción controlada del sonido en zonas de escucha determinadas (habitualmente los oídos del oyente) usando múltiples altavoces, recibe el nombre de transauralización. Gran cantidad de publicaciones han aparecido en los últimos años, utilizando diversas técnicas, algunas de ellas similares a las empleadas en el control activo de ruido. [6][10]

El objetivo de este estudio consiste en aplicar las técnicas de caracterización de funciones de transferencia basadas en MLS (minimum length sequences) o Secuencias Pseudoaleatorias [1], a la obtención de las funciones de transferencia que aparecen en los sistemas de reproducción de sonido multicanal, entre los altavoces que se emplean y el oído de los oyentes que hay en la sala de escucha.

#### Generalización del problema de la reproducción de sonido

Cuando un oyente se sitúa en un punto determinado de una sala para escuchar un grabación procedente de unos altavoces, a su oído llega la señal de la grabación modificada por la respuesta impulsional de la sala para esa colocación concreta de altavoz y oyente. Además si se trata de un sistema de reproducción estéreo, parte de la señal procedente del altavoz derecho llega también al oído izquierdo del oyente y parte de la del altavoz izquierdo al oído derecho. Este efecto no deseado y que reduce la sensación tridimensional, se conoce como cross-talk. La siguiente figura muestra lo anteriormente comentado.

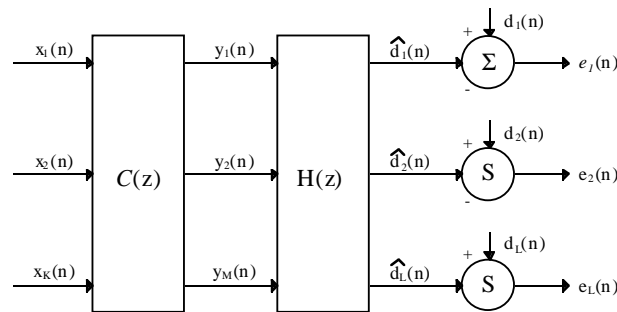


Todos los efectos que se producen en la reproducción del sonido, se pueden modelar por una respuesta (o función de transferencia) entre cada una de las fuentes de sonido y cada uno de los sensores de recepción (en el caso anterior los 2 altavoces y los 2 oídos).

$$\begin{bmatrix} y_L \\ y_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_R \end{bmatrix}$$

Si conocemos de forma exacta las respuestas impulsionales, podemos aplicar técnicas de inversión de la misma y aplicarlas a un filtro previo a los altavoces, para que el sonido llegue tal y como está en la grabación. Existen distintas técnicas para conseguir esta inversión de forma exacta o aproximada, como el método MINT [5], la aproximación por mínimos cuadrados, o técnicas adaptativas basadas en ME-LMS [7].

En general, para todas las técnicas de inversión de la acústica de recintos, cuanto mayor sea el número de altavoces que empleemos, mayor será la exactitud de la solución buscada. Una generalización del problema que podemos encontrar en [3] queda de la forma que muestra la siguiente figura donde  $K$  es el número de señales a reproducir (2 para un sistema estéreo),  $M$  es el número de altavoces a emplear y  $L$  son el número de puntos de escucha (2 para un solo oyente).



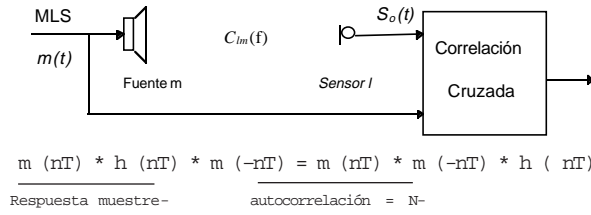
Por tanto antes de aplicar las técnicas de inversión, tenemos que calcular la matriz de caminos acústicos  $C(z)$  que contiene  $K \cdot M$  funciones de transferencia. Este número puede ser bastante elevado y es necesaria una técnica sencilla y precisa para su estimación.

Utilización de las MLS para el cálculo de la matriz  $C(z)$

De entre todas las técnicas disponibles para la estimación de la respuesta impulsional de un sistema acústico (pulsos, chirps, ruido blanco, ...), se ha preferido utilizar el método de las MLS (minimum length sequences), por las ventajas que presenta frente a otros métodos : evitan no linealidades, son periódicas, permiten una alta eficiencia de cálculo y presentan bastante inmunidad al ruido de fondo.

Las MLS (minimum length sequences) o m-secuencias o secuencias pseudoaleatorias, son secuencias binarias en amplitud y periódicas en tiempo, con un periodo discreto de longitud igual a  $2^m - 1$ . Su autocorrelación proporciona un término de valor igual a la longitud de la m-secuencia, siendo el resto de términos igual a la unidad. La duración de una m-secuencia es  $D = L \cdot T_s$ , donde  $T_s$  es el periodo de muestreo y  $L$  es la longitud de la m-secuencia. Debido al espectro de potencia plano la función de autocorrelación es una secuencia delta con un amplitud  $L$  veces la amplitud del pulso. Su NLPS es igual a  $20 \cdot \log L$  (dB). Por lo tanto, a mayor longitud de la m-secuencia, mejor NLPS y mayor similitud de su autocorrelación con el impulso unidad.

Para realizar la medida de cada uno de los términos de la matriz  $C(z)$  de nuestro sistema multicanal, aplicaremos la señal pseudoaleatoria a cada uno de los altavoces del sistema y muestrearemos la respuesta obtenida en cada uno de los sensores. Para obtener la respuesta impulsional del sistema acústico convolucionaremos la salida muestreada de cada sensor, con la secuencia pseudoaleatoria invertida en el tiempo, o lo que es lo mismo, correlaremos las dos señales.



En el laboratorio se han realizado diferentes medidas y se ha validado la fiabilidad del sistema utilizando el método de MLS.

Un aspecto interesante de este sistema de medidas es su inmunidad al ruido de fondo y a cualquier tipo de interferencias que se produzcan durante la medida. Esto es particularmente interesante para la calibración de este tipo de sistemas, ya que no se necesitan unas condiciones ideales de laboratorio para poder trabajar con el mismo, pudiéndose aplicar a entornos como el doméstico, donde el ruido de fondo puede ser apreciable

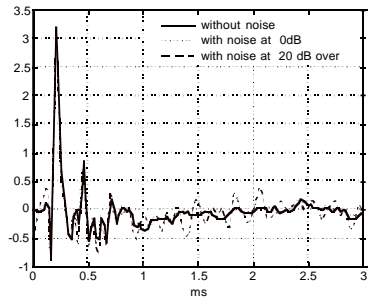


Figura 3. Comparación de la respuesta impulsional en frecuencia

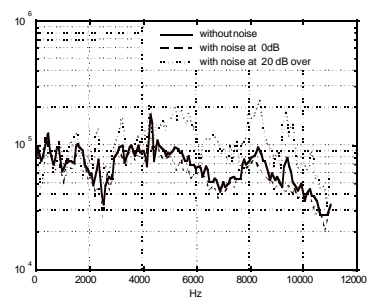


Figura 4. Comparación de la respuesta en frecuencia

La característica anterior ha sido comprobada en diversos experimentos de laboratorio, donde se han comparado las respuestas impulsionales obtenidas en tres casos: sin interferencia, con una interferencia de ruido blanco al mismo nivel que la señal de prueba y por último con un ruido 20 dB por encima de esta señal. Las figuras 3 y 4, muestran los resultados de las medidas, comprobándose que la medida queda prácticamente inalterada para una señal de ruido del mismo nivel y que queda ligeramente alterada para un ruido 20 dB por encima. Estos casos son extremos y siempre se podrían corregir mediante promediado de varias secuencias.

#### Líneas de trabajo

Actualmente se está trabajando en la integración de los sistemas de cálculo de respuestas impulsionales mediante la utilización de m-secuencias a la generación de ambientes acústicos virtuales mediante reproducción multicanal y técnicas de procesado de señal en tiempo real. El objetivo que se pretende alcanzar con estas técnicas es un sistema de reproducción multicanal robusto y escalable en número de fuentes y sensores (siempre dentro de las capacidades máximas de cálculo del hardware utilizado).

Una parte fundamental del sistema de reproducción, son los filtros digitales que prefiltran las señales para conseguir el efecto de inversión del camino acústico entre fuentes y sensores. Existen dos grandes grupos de algoritmos que permiten conseguir esto. Un grupo está formado por los métodos que proporcionan una solución cerrada para una situación concreta y otro grupo estaría formado por los sistemas adaptativos que están en permanente actuación durante su funcionamiento.

Se están utilizando técnicas de minimización del error cuadrático medio entre la señal captada en los sensores y la deseada en dichos puntos para el diseño de los filtros digitales que prefiltran las señales antes de su emisión por las fuentes. La minimización cuadrática media se realiza de forma iterativa para optimizar las capacidades de cálculo del hardware dando lugar a algoritmos de filtrado adaptativo que son variantes del conocido *Multiple Error LMS* [7] que se viene utilizando clásicamente en aplicaciones de control activo de ruido.

Dentro de las técnicas de solución cerrada de la inversión de la acústica de recintos, el método MINT propuesto por Miyoshi y Kaneda en 1998 [5], proporciona una inversión perfecta de la función de transferencia entre la fuente y el sensor en un recinto, si empleamos un número de fuentes superior en uno al de sensores. Se están preparando prototipos de sistemas en tiempo real que funcionen con tres fuentes y dos sensores, para funcionar como sistemas de estéreo transaural.

Una vez implementados en tiempo real los diversos métodos de inversión, se pretende evaluar la calidad conseguida con cada uno de ellos de dos formas: mediante técnicas objetivas basadas en una norma de error y mediante técnicas subjetivas efectuando pruebas y encuestas con grupos de oyentes.

#### Referencias

- [1] Schoroder, M.R., Integrated impulse method measuring sound decay without impulses. *J. Acoust. Soc. Am.*, 66 (1979) 497-500
- [2] Alrutz, H. & Schroeder, M.R., A fast Hadamard transform method for the evaluation of measurements using pseudorandom test signals. In Proc. 11th Congress Acoust., Paris (GALF, France, 1983) 6 (1983) 235-8
- [3] Chu, W.T., Impulse-Response and Reverberation-Decay Measurements Made by Using a Periodic Pseudorandom Sequence. *Applied Acoustics*, 29 (1990) 193-205
- [4] Mommertz, E. & Muller S., Measuring Impulse Responses with Digitally Pre-emphasized Pseudorandom Noise Derived from Maximum-Length Sequences. *Applied Acoustics*, 44 (1995) 195-214
- [5] Miyoshi M., Kaneda Y., Inverse filtering of room acoustics, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 36 (1988) 145-152
- [6] P.A. Nelson, F. Orduña-Bustamante and H. Hamada, Inverse filter design and equalization zones in multichannel sound reproduction, *IEEE Transactions on Speech and Audio*, 3 (1995), 185-192
- [7] Elliott S.J., Stothers I.M., Nelson P.A., A multiple error LMS algorithm and its application to the active control of sound and vibration, *IEEE Trans. on Acoustic Speech and Signal Processing*, 1 (1987), 1423-1434.
- [8] Elliott S.J. Boucher C., Nelson P.A., The behavior of a multiple channel active control system, *IEEE Trans. on Acoustic Speech and Signal Processing*, 5 (1992), 1041-1052.
- [9] Kleiner M., Dalenbäck B., Svensson P., Auralization - An Overview, *Journal of the Audio*