



RESPUESTA BINAURAL DE SALAS

Ivana Rossell i Turull
Yolanda Peransi, Fabiola Ordoyo.
Departamento de Acústica, Ingeniería La Salle, Universidad Ramon Llull
Pg. Bonanova, 8
08026 Barcelona
e-mail: ivana@salleURL.edu

Summary:

Over time, the fine structure of the room impulse response has attracted more and more interested, and scales model techniques were developed to enable more detailed predictions. During the last 30 years many new techniques for detailed room acoustic studies have been developed. Examples are artificial head recordings, various kinds of impulse response measurements and computerized modelling of the sound propagation. Most of these techniques are under continuous development.

In this paper we are going to explain how we obtained our impulse responses using a head-and-torso simulator in order to use these binaural responses later, to make an auralization system.

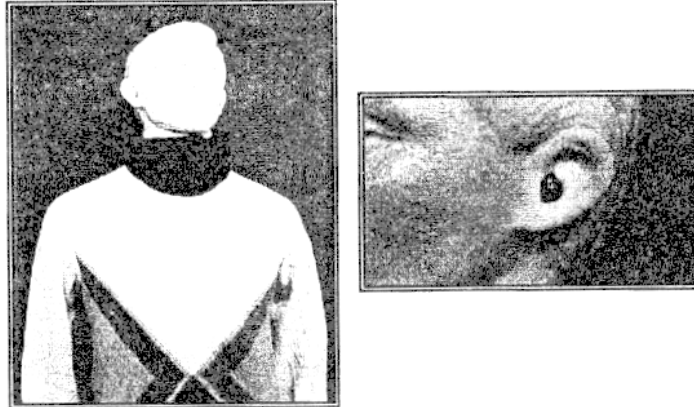
1. Motivación:

Dentro de la línea de trabajo que estamos desarrollando en nuestro departamento, en el campo de la acústica binaural, hemos llevado a cabo este proyecto con el objetivo que persigue toda la temática; llegar a implementar un sistema de auralización completo. Contando con el conjunto de pares de HRTFs de que disponemos, las cuales se están recalculando después de mejorar algunas condiciones de medida, y gracias a las respuestas binaurales que obtendremos con este trabajo, podremos implementar un sistema capaz de sintetizar un sonido dando la sensación de ser percibido en situación real, dentro de una sala, y procediendo de una dirección en concreto. La respuesta impulsional de la sala se convolucionará con diferentes HRTFs, una para el campo directo, otras para diferentes reflexiones importantes y otro filtrado para la cola de la reverberación. De esta forma, la creación de un espacio sonoro será completa.

2. Respuestas impulsionales binaurales:

El objetivo de nuestro proyecto es la obtención de la respuesta impulsional binaural de un recinto determinado. El método seguido se basa en la excitación de una sala mediante un ruido blanco, en su recepción binaural proporcionada por un maniquí (HATS) y en el cálculo de la función de transferencia que relaciona ambas informaciones. El maniquí utilizado para las medidas fue adecuado en un proyecto anterior para el cálculo de HRTFs. Por lo tanto, la validez de nuestro *Head-And-Torso-Simulator* está ya comprobada habiéndonos proporcionado resultados satisfactorios en el citado proyecto.

Las medidas se han llevado a cabo gracias a una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments la cual lleva su propio paquete de software con todas las funciones necesarias para el procesamiento de la señal. Todo el proyecto está programado en C y organizado en barras de menús para la ejecución de cualquier paso del proceso; tanto de grabación y emisión de señales como de reproducciones de simulaciones posteriores.



En estas fotografías vemos el maniquí usado en las medidas.

La señal de excitación es una secuencia pseudoaleatoria de máxima longitud (MLS). Este tipo de secuencias, ideales para nuestro propósito, presentan las siguientes características :

- En primer lugar, como es sabido, la MLS presenta un espectro plano en toda la banda, comportándose como un ruido blanco y excitando, por lo tanto, toda la banda de frecuencias de interés.
- En segundo lugar, la MLS puede generarse cómodamente con el ordenador. Debido a la necesidad de utilizar secuencias de diferente longitud según la sala a medir, para evitar *aliasing* temporal, el programa nos dará la opción requerida en cada caso. De esta forma podremos generar secuencias desde 8k muestras hasta 524K muestras, esta última, para salas muy reverberantes. Trabajando a una frecuencia de muestreo de 50 KHz y con una secuencia de 2^{19} -1 muestras, obtenemos una secuencia de 10.5 segundos aproximadamente, margen que nos permitirá registrar salas con colas de reverberación muy largas.
- Otro parámetro importante son las propiedades de robustez que presentan cuando se relizan medidas en ambientes acústicos ruidosos. Al tratarse de una señal pseudoaleatoria que se repite cada cierto periodo (según el grado de la MLS), pueden emitirse diversos periodos con el fin de realizar un promediado en la recepción, eliminando o minimizando así el ruido presente en el sistema. A parte, este método da muy buenos resultados en medidas con relación señal ruido muy bajas.

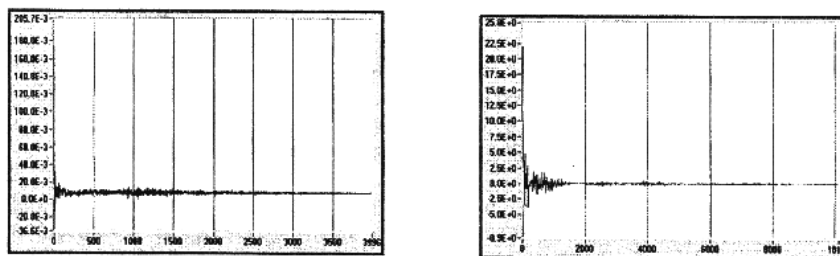
La señal enviada se recibe a través de nuestro maniquí. Éste lleva dos micrófonos de condensador en la entrada de lo que correspondería al canal auditivo. De esta forma captará la información que la llegará a cada oreja. Esta información llevará la información de la sala la cual introducirá a la señal que llega directa de la fuente al receptor todas las señales correspondientes a reflexiones posteriores. Además, al gravar la información desde el HATS, los datos se verán modificados por la HRTF del maniquí para las diferentes procedencias, la de la señal directa, primeras reflexiones...

Una vez tenemos la señal captada, trabajando con excitación y recepción, entrada y salida de nuestro sistema, calculamos sus correspondientes Transformadas de Fourier. La función de transferencia la obtenemos antitransformando el resultado del cociente siguiente:

- $H(f) = \text{FFT}\{y(t)\} / \text{FFT}\{x(t)\}$ donde $y(t)$: señal de salida
 $x(t)$: señal excitadora
- $h(t) = \text{IFFT}\{H(f)\}$

La transformada inversa de este resultado nos proporcionará la respuesta impulsional deseada $h(t)$. Como las medidas requieren de una movilidad importante, y el ordenador no es un instrumento que presente esta característica, decidimos realizar las medidas en un soporte digital portátil, la cinta DAT. Un DAT emitió la MLS gravada y otro enregistra lo que captaba nuestro maniquí (dos canales). Así podíamos desplazarnos a cualquier sitio y obtener las respuestas deseadas. Después en el laboratorio se introducirán los datos en el ordenador de forma sincronizada.

A continuación mostramos algunas de las respuestas obtenidas correspondientes a diferentes salas:



3. Parámetros de análisis y factores influyentes:

3.1. Diferencias interaurales:

El hecho de reproducir una señal acústica en una sala a través de altavoz y escucharla en campo libre, es el principal causante de las diferencias interaurales que no se perciben cuando la señal se transmite a través de auriculares. La diferencia interaural de nivel (ILD), es la diferencia de intensidad percibida que existe entre un oído y el otro. Esta diferencia es aguda cuando la fuente sonora se sitúa a 0° de uno de los pabellones auditivos. El que está más cerca percibirá la señal directamente, de forma que el nivel será máximo, mientras que el otro oído no recibe tanto nivel de intensidad, debido a que la cabeza actúa de sombra acústica.

En cuanto a la diferencia interaural temporal (ITD), se puede hacer una argumentación similar, pero refiriéndonos al tiempo. Según donde esté situada la fuente, más cerca o más lejos de un oído u otro, la señal llegará más pronto o más tarde respectivamente. Estas diferencias interaurales dependen de la frecuencia de la señal emitida, de la localización de ésta, del tipo de sala... En nuestro proyecto analizaremos la influencia de estos parámetros en la caracterización de las respuestas obtenidas en diferentes puntos de una sala.

3.2. Características de la sala

En el estudio de la respuesta impulsional de una sala, existen unos determinados parámetros que tenemos que analizar y que varían según el tipo de sala. Entre los más importantes cabe destacar:

- Reverberación: Uno de los principales a tener en cuenta y el que más nos condiciona a la hora de escoger el tipo de secuencia MLS a utilizar. Cuanto más reverberante sea la sala, más larga será la secuencia aplicada, y mayor importancia tendrá el papel de las reflexiones en la respuesta impulsional, siendo siempre secundarias al nivel directo. Una sala con mucha vivacidad será la que tendrá un nivel de reverberación bastante elevado.
- El Calor, nos permitirá observar la facilidad que tendrá el recinto para transmitir bajas frecuencias.
- Absorción, totalmente contraria a la reverberación, nos condicionará a obtener una respuesta impulsional totalmente corta al igual que la señal aplicada.

3.3. Características de la fuente sonora i receptora

El hecho de situar una fuente sonora en una zona u otra de la sala, provocará una serie de reverberaciones secundarias más o menos importantes, al igual que la percepción del sonido directo. La localización del receptor, distancia y dirección, también tiene su importancia respecto la posición de la fuente excitadora.

El tipo de fuente tiene su papel también en este estudio. La repercusión de la excitación producida por la fuente sonora va a depender de la respuesta de esta fuente. En lo referido a la respuesta en frecuencia del altavoz, hemos procurado conseguirla lo más plana posible para no falsear la señal enviada. Otra característica importante es la directividad de esta fuente, la cual forzará unos ejes de radiación predilectos provocando un "favoritismo" en las reflexiones que van a producirse. Realizamos pruebas con diversas fuentes, una de ellas con diagrama de directividad bastante omnidireccional en todo el margen frecuencial. Otro factor a tener en cuenta es la potencia que puedan soportar dichas fuentes, importante cuando se quiere excitar un recinto de dimensiones considerables.

5. Resultados de las medidas y líneas futuras:

Las medidas realizadas en salas muy absorbentes; es decir, repuestas impulsionales muy cortas, han sido obtenidas satisfactoriamente y han sido utilizadas para simulaciones posteriores sin ningún problema. El efecto que pueden causar, de todos modos, no es muy espectacular ya que la reverberación no está patente a penas. En el caso límite, la respuesta se limita a la función de transferencia del altavoz (medida en sala anecoica).

Para el caso de salas con colas de reverberación más importantes, empiezan a aparecer los problemas. Un inconveniente que surge es el tiempo de cálculo y procesado de las señales. Al trabajar con secuencias de 500.000 muestras y en precisión de *doubles*, todo el proceso se ralentiza mucho, y los ficheros obtenidos ocupan un espacio de memoria muy importante. El segundo inconveniente que encontramos es un poco más molesto; la fase. Para salas de las características citadas, sus respuestas no son de fase mínima y presentan problemas que se patentan en el momento de filtrar estas respuestas con una señal cualquiera. También es importante el método seguido para este filtraje, ya que estamos hablando de dos secuencias largas, el filtro y la señal.

7. Bibliografía:

1. L.Cremer,H.A.Müller,T.J. Schultz
Principles and applications of room acoustics. Volume 1
Applied Science Publishers Ltd.,Essex (1982)
2. B.-I. Dalenbäck
The importance of diffuse reflection in computerized room acoustic prediction and auralization.
Proc. Inst. of Acoust. 17,27-34 (1995)
3. Chalmers Tekniska Högskola
A new model for room acoustic prediction and auralization.
Department of Applied Acoustics, Göteborg, November 1995.
4. Blauert, J.
Spatial Hearing. The Psychophysics of Human Sound Localization.
Cambridge, Massachusetts. 1996.
5. Durand R. Begault.
3D-Sound for virtual reality and multimedia.
EEUU, 1994.
6. M.R. Schroeder.
Diffuse Sound Reflection by Maximum Length Sequences.
J.Acoust. Soc. Am.,vol. 57, pp.149-150 (1975 Jan.).
7. A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer.
Digital Signal Processing.
Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ,1975.