

## ARRAY DE MICRÓFONOS MODULAR DE PROPÓSITO GENERAL PARA LA CAPTURA Y PROCESADO DE AUDIO ESPACIAL

PACS: 43.38.-p

Jesus Lopez-Ballester<sup>1</sup>, Maximo Cobos<sup>1</sup>, Juan J. Perez-Solano<sup>1</sup>,  
Gabriel Moreno<sup>1</sup>, Jaume Segura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SPAT – Departamento de Informática, Universitat de Valencia, Avd. de la Universitat s/n,  
46100 Burjassot, España  
E-mail: Jesus.Lopez-Ballester@uv.es

### ABSTRACT

Sound acquisition for spatial audio applications usually requires the use of microphone arrays. Surround recording and advanced reproduction techniques such as Ambisonics or Wave-Field Synthesis usually require the use of multi-capsule microphones. In this context, a proper sound acquisition system is necessary for achieving the desired effect. Besides spatial audio reproduction, other applications such as source localization, speech enhancement or acoustic monitoring using distributed microphone arrays are becoming increasingly important. In this paper, we present the design of a general-purpose modular microphone array to be used in the above application contexts. The presented system allows performing multi-channel recordings using multiple capsules arranged in different 2D and 3D geometries.

### RESUMEN

La adquisición de sonido para su uso en aplicaciones de audio espacial requiere generalmente del uso de arrays de micrófonos. La grabación de sonido envolvente y el uso de técnicas avanzadas de reproducción como Ambisonics o Wave-Field Synthesis también requieren el uso de micrófonos multi-cápsula. En estos contextos, un sistema de adquisición de sonido adecuado es esencial para obtener el efecto deseado. Además de la grabación y reproducción espacial de audio, otras aplicaciones que requieren el uso de arrays de micrófonos distribuidos, como la localización de fuentes sonoras, la mejora de grabación de voz o la monitorización acústica de entornos, se están haciendo cada vez más importantes. En este artículo presentamos el diseño de un micrófono modular (multi-cápsula) de propósito general, para ser usado en las aplicaciones descritas anteriormente. El sistema que presentamos permite realizar grabaciones multicanal utilizando diferentes cápsulas dispuestas en varias geometrías 2D y 3D.

## 1. INTRODUCCIÓN

La elevada capacidad de procesamiento de los equipos informáticos actuales permite, comparado con equipos de hace pocos años, trabajar con una gran cantidad de información que proporcionan diferentes tipos de sensores. En el campo del procesamiento de audio, esta mejora en la capacidad de proceso ha permitido la aparición de numerosas aplicaciones y técnicas capaces de trabajar con varios canales simultáneamente, más allá del estéreo de 2 canales convencional.

Si bien el uso de sistemas multicanal para la reproducción espacial se ha hecho popular (sistemas 5.1, 7.1, etc. ampliamente disponibles en el mercado) y la oferta de dispositivos es muy extensa, no es menos importante el sistema de adquisición de las señales de audio. Si observamos un sistema de reproducción espacial que contempla las tres dimensiones del espacio, como Ambisonics [1] por ejemplo, y no solo un plano, a la hora de reproducir necesitaremos realizar la adquisición de las señales por al menos 4 micrófonos situados de una manera específica. Otro ejemplo es la reproducción Wave-Field Synthesis, cuyas grabaciones deben ser realizadas también mediante el uso de múltiples micrófonos [2].

Las técnicas de procesamiento de señal para la detección de eventos acústicos y ubicación de fuentes sonoras [3, 4], son otro ejemplo de aplicaciones que necesitan de la adquisición de audio con múltiples micrófonos dispuestos de manera específica.

Es por lo tanto necesario el disponer de un sistema formado por un conjunto de micrófonos que seamos capaces de configurar en diferentes geometrías. En este campo el mercado ofrece muchas menos soluciones y muy poco versátiles, viéndonos forzados a adquirir un dispositivo distinto para cada aplicación específica y a precios por lo general elevados.

Nuestro objetivo ha sido crear un dispositivo que comprenda hasta 8 micrófonos (por el momento), configurables individualmente y que puedan disponerse en diferentes geometrías (array lineal, array circular, array plano, tetraedro, etc.) dependiendo del uso en cada momento.

Presentamos por lo tanto un micrófono multi-cápsula con un consumo muy bajo, un coste de fabricación reducido y que puede configurarse en diferentes geometrías 3D. Todo ello conforma un único dispositivo de alto rendimiento, bajo coste y consumo reducido.

## 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En el caso de los micrófonos comerciales, la cápsula que actúa de transductor del sonido y el preamplificador de la esta se sitúan juntos dentro del mismo micrófono. Como nuestra idea era construir un micrófono multi-cápsula que se pudiera configurar de diferentes maneras, lo primero que hicimos fue separar la cápsula del preamplificador. Esto nos permitiría tener las cápsulas sueltas conectadas por medio de un cable apantallado a los preamplificadores, que podrían estar todos juntos al estar separados de las cápsulas.

Así pues, el desarrollo de nuestro micrófono se ha dividido en 2 pasos. Un primer paso que consiste en diseñar una parte electrónica, compuesta por las cápsulas situadas en el extremo de cables que conducen a un preamplificador de varios canales y un segundo paso que consiste en el diseño de una parte mecánica que permitirá ubicar estas cápsulas de diferentes maneras.

### 2.1 Diseño Electrónico

Para separar las cápsulas de los preamplificadores es necesario contar con unas cápsulas capacitivas que nos den una salida a nivel suficiente para que la señal sortee con seguridad la distancia al preamplificador. Las cápsulas capacitivas electret nos ofrecen la solución a este problema, pues constan de un pre-preamplificador incorporado dentro de la cápsula. Gracias a una pequeña alimentación de corriente continua a través de los 2 propios cables de la señal, nos proporcionaba la señal suficiente para atacar nuestros preamplificadores a distancia. Así

pues las cápsulas elegidas son unas cápsulas electret cilíndricas de 9.5 x 7mm, con una respuesta en frecuencia significativamente plana de 50Hz a 10KHz y que se alimentan con una corriente de 0.8 a 1mA.

Como concebimos nuestro micrófono para trabajar con 8 cápsulas, se han diseñado 8 preamplificadores iguales que nos proporcionen un canal de salida por cápsula. Así, la parte electrónica de nuestro micrófono multi-capsula, a parte de las cápsulas que van fuera del circuito, se compone de 8 preamplificadores y una etapa de alimentación común a estos. El diseño de los 8 preamplificadores es idéntico y la base de cada uno es un amplificador operacional integrado de muy bajo ruido, con baja distorsión armónica, alta impedancia de entrada (basado en JFET) y reducido consumo. Se han empleado dos redes de resistencias para equiparar la impedancia que ve cada entrada del amplificador operacional, tanto la inversora como la no inversora.

La cápsula electret se alimenta desde el propio preamplificador y a la entrada de este dispone de un filtro de paso alto que elimina los posibles efectos que pudiera tener cualquier nivel de continua y que atenúa los posibles acoples de rizados en la alimentación, tanto del circuito, como de equipos cercanos, para que no sean amplificados junto con la señal de la cápsula. A la salida del preamplificador se realiza otro filtrado para que no pase a la salida ningún nivel de continua y para que no se provoquen daños en el preamplificador en el caso de conectar por error un equipo que proporcione alimentación fantasma.

Al estar diseñando los preamplificadores a medida, hemos dispuesto que la señal de salida sea capaz de alimentar no solo una entrada de micrófono, sino una entrada de línea de cualquier equipo comercial, pudiendo proporcionar más de 500mV y 2,5 mA por canal. Para poder variar la ganancia de cada preamplificador, se le ha dotado de un potenciómetro con el que se puede ajustar la misma de 0 a 200 con respecto de la señal de entrada. Este potenciómetro le proporciona al preamplificador menos dependencia con la tolerancia en los valores de los componentes electrónicos. Al poder variar la ganancia de cada uno individualmente, podemos compensar las diferencias calibrando la salida de los 8 al mismo nivel o conseguir efectos deseados situando las ganancias de cada uno a niveles diferentes, según la aplicación.



Figura 1. Preamplificador de 8 canales.

Para simplificar la alimentación del sistema completo, hemos incluido un regulador de tensión. Este, nos proporciona una tensión de 5 voltios regulados y constantes para los preamplificadores y las cápsulas y permite alimentar al sistema completo con cualquier tensión continua en el rango de 5 a 18 voltios sin importar que esté regulada o no. Así evitamos también cualquier posible filtración de ruido de alimentación en los amplificadores. Hemos incluido dos filtros capacitivos a la entrada y salida del regulador para mejorar el comportamiento transitorio del mismo, al conectar o desconectar la alimentación. Para evacuar el calor que podría generar este regulador también se le ha incorporado un radiador de aluminio por si fuera necesario, aunque no parece probable dado que el consumo de los 8 preamplificadores es muy reducido.

Las conexiones entre elementos se realizan empleando conectores jack (6.35mm) para las señales de salida del preamplificador hacia otros equipos y mini-jack (3.5mm) para las conexiones de entrada provenientes de las cápsulas. Para la alimentación se emplea un conector dc-jack de 2.1x5.5mm. Cabe mencionar que cada cápsula y cada conexión están numeradas para facilitar la identificación de las mismas al configurar cualquier software de adquisición.

Midiendo el consumo del circuito completo hemos obtenido un consumo de 37.4mA funcionando en condiciones normales, lo que nos da una idea del bajo consumo del sistema. Esto nos permitiría alimentarlo en un futuro usando una batería o baterías convencionales, lo que nos proporciona mucha más libertad de acción y movilidad.

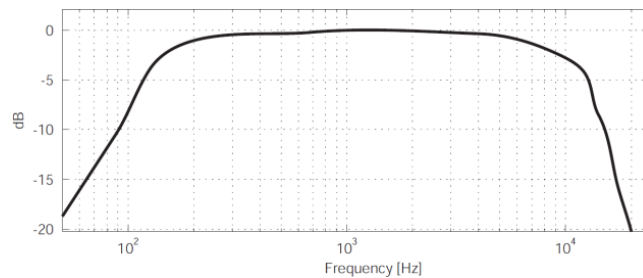


Figura 2. Respuesta en frecuencia del sistema completo.

Se ha medido también la respuesta en frecuencia del sistema completo, procesando señales de distinta frecuencia, arrojando los resultados que se muestran en la Figura 2. Aunque pueda parecer que la respuesta en frecuencia es más estrecha que la obtenida de otros micrófonos comerciales (debido a la respuesta de la cápsula utilizada), esta es suficiente para la mayoría de aplicaciones mencionadas, que no requieren de alta fidelidad. Por otra parte, se debe enfatizar de nuevo que el sistema ha sido diseñado para lograr un coste muy reducido y una máxima versatilidad.

## 2.2 Diseño Físico

Para el diseño físico del sistema de soporte de las cápsulas se ha buscado la mayor versatilidad posible y facilidad de configuración. Para ello hemos creado soportes con diferentes formas donde se pueden insertar fácilmente las cápsulas. El material escogido es el MDF por su facilidad de mecanización. Se han escogido las siguientes 4 formas para los soportes:

- Matriz de 4 x 4 posiciones.
- Array lineal de 8 posiciones.
- Array circular de 8 posiciones.
- Array tetraédrico.

El soporte en forma de matriz de 4 por 4 posiciones que vemos en la Figura 3(a), nos permite situar las cápsulas de diferente manera, dependiendo de la aplicación que le vayamos a dar. La separación de las mismas es de 20mm. Con este soporte podemos crear arrays planos y lineales, útiles en las técnicas de localización [4] y diferenciación de fuentes sonoras, y conformación de haz sonoro, (en adelante “beamforming”) [5] mediante diferentes orientaciones.



(a) Matriz de 4 x 4 posiciones.



(b) Array circular de 8 posiciones.

Figura 3. Estructuras en forma de matriz y array circular.

El soporte que forma un array circular, mostrado en la Figura 3(b), se puede usar para la localización de fuentes sonoras pero debido a su geometría circular, se puede usar también para analizar campos sonoros en términos de armónicos circulares, permitiendo la implementación de técnicas de beamforming modal [6]. Por otro lado, la estructura lineal mostrada en la Figura 4(a), permite usar el micrófono mediante técnicas de procesamiento de señal consiguiendo diferentes anchuras de haz sonoro.



(a) Estructura lineal.



(b) Estructura tetraédrica.

Figura 4. Estructuras lineal y tetraédrica.

Además de los tres soportes descritos, hemos fabricado un micrófono tetraédrico con las cápsulas fijas en una sola posición, como se puede ver en la Figura 4 (b), debido a la dificultad de inserción de las cápsulas en el ángulo correcto en un dispositivo de tan reducidas dimensiones. Este micrófono de 4 cápsulas se conecta, como el resto de cápsulas al preamplificador y la altura de cada cara del tetraedro formado es de 40mm. Este micrófono tetraédrico nos permite la grabación de audio espacial o sonido envolvente, Ambisonics [1], emplear técnicas de grabación Wave-Field Synthesis [2], técnicas de localización tridimensional de fuentes sonoras [7] además de otras aplicaciones [8].

Finalmente, en la Figura 5 podemos ver el sistema completo con solo 4 cápsulas conectadas a las entradas del preamplificador y algunos de las estructuras de soporte mencionadas.

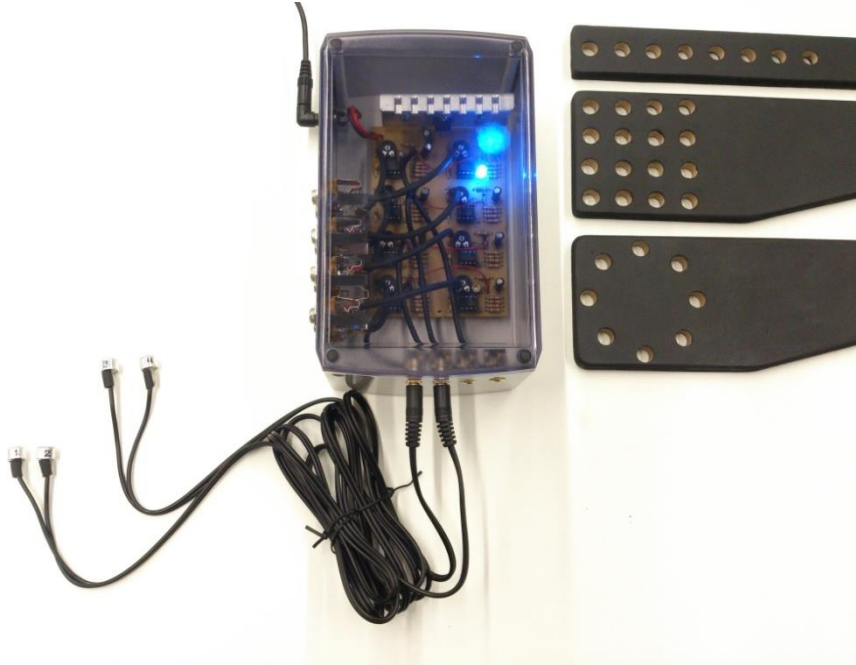


Figura 5. Visión general del sistema completo.

### 3. CONCLUSIONES

Tener la capacidad de poder montar diferentes configuraciones de micrófonos de manera rápida y sencilla es esencial para poder aprovechar la capacidad de procesamiento que nos brindan los equipos informáticos actuales. Esto nos permite desarrollar nuevas aplicaciones mediante la grabación de sonido espacial con un coste muy reducido y emplear técnicas de detección y localización de eventos, implementar técnicas de reducción de ruido, análisis de campo sonoro, etc.

En este artículo hemos el proceso de diseño y la implementación de un micrófono modular multi-cápsula que permite diversas configuraciones espaciales: array lineal, array plano, array circular y array tetraédrico. La salida del sistema puede alimentar una entrada de línea de equipos comerciales habituales, y no necesita unos requisitos de alimentación muy estrictos. Por otra parte, presenta un reducido consumo, lo que le permitiría funcionar con baterías convencionales y su ancho de banda es más que suficiente dado el carácter de las aplicaciones a las que va destinado.

Las características modulares de este micrófono nos permiten desarrollar nuevas aplicaciones haciendo uso de su diversidad espacial, para la grabación de audio espacial, análisis de campo sonoro, localización de fuentes, beamforming diferencial, etc. Por otra parte, debido al coste económico del sistema y su bajo consumo de energía, es una alternativa muy adecuada para el desarrollo de nuevas redes de sensores acústicos.

### 4. REFERENCIAS

1. **Gerzon, M. A.** *Ambisonics in multichannel broadcasting and video*. s.l. : Journal of the Audio Engineering Society, 33(11), 859-871., 1985.

2. **Cobos, M., Spors, S., Ahrens, J. y López, J.J.** *On the use of small microphone arrays for wave field synthesis auralization*: Audio Engineering Society Conference: 45th International Conference: Applications of Time-Frequency Processing in Audio., 2012.
3. **Gay, Steven L., Benesty, Jacob (Eds.)**. *Acoustic signal processing for telecommunication*. Kluwer Academic., 2000.
4. **Cobos, M., Lopez, J. J., and Martinez, D.** *Two-microphone multi-speaker localization based on a Laplacian mixture model*. Universidad Politécnica de Valencia, Institute of Telecommunications and Multimedia Applications (iTEAM), : Digital Signal Processing, 2011. 21(1), 66-76.
5. **Elko, G. W.** Differential microphone arrays. En el libro: *Audio signal processing for next-generation multimedia communication systems*. USA : Springer US., 2004.
6. **Torres, A. M., Cobos, M., Pueo, B., and Lopez, J.J.** *Robust acoustic source localization based on modal beamforming and time frequency processing using circular microphone arrays*.: The Journal of the Acoustical Society of America, 2012. 132(3), 1511-1520..
7. **Hemingson, D., and Sarisky, M.** *A Practical Comparison of Three Tetrahedral Ambisonic Microphones*. Audio Engineering Society Convention 126 : Audio Engineering Society, 2009.
8. **Cobos, M., Lopez, J. J., and Spors, S.** *A sparsity-based approach to 3D binaural sound synthesis using time-frequency array processing*. Journal on Advances in Signal Processing : EURASIP, 2010. Article ID 415840, 2010..