

# EXTRACCIÓN DE INTERFERENCIAS SENOIDALES EN ULTRASONIDOS MEDIANTE TÉCNICAS BSS

Jorge Igual, Luis Vergara, Raúl Llinares, Andrés Camacho

Departamento de Comunicaciones  
Universidad Politécnica de Valencia  
jigual@dcom.upv.es

## RESUMEN

Sinusoidal interferences are found in ultrasonic signals when we try to characterize a material, as for example interferences coming from PC cards. We are interested in obtain a robust method that cancels these interferences preserving the waveform of the signal. A Blind Source Separation method to extract these sinusoids is presented in this paper. We will get so many linear mixtures of the backscattering echo of the material and the sinusoids as we need from different pulse responses of the material<sup>1</sup>.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ICA o BSS consiste en intentar recuperar unas señales originales a partir de la observación de combinaciones lineales de las mismas, con la única suposición de independencia estadística entre las fuentes [1].

Una forma de caracterizar materiales es mediante el estudio de su respuesta a un tren de pulsos de ultrasonidos [2]. Dependiendo de la calidad del transductor, en ocasiones pueden aparecer interferencias senoidales en su banda de frecuencias, por ejemplo interferencias provenientes de las tarjetas del PC. Estas interferencias deben ser extraídas para no alterar la forma de onda del eco del material y con ello desvirtuar el proceso de caracterización del material.

Nuestro objetivo es encontrar un algoritmo que sea capaz de extraer la respuesta al pulso del material, eliminando las interferencias senoidales. Puesto que la respuesta del material y las interferencias pueden considerarse desde un punto de vista estadístico como señales independientes, la aplicación de técnicas BSS es posible. La principal ventaja de estas técnicas es que el único requisito es la independencia estadística de las señales originales (fuentes), en este caso la respuesta del material y las interferencias, y que la matriz de mezclas sea invertible.

## 2. PLANTEAMIENTO BSS DEL PROBLEMA

El modelo de mezclas es:

$$y(t) = x(t) + \sum_{i=1}^{N-1} B_i e^{j(\omega_i t + \theta_i)} \quad (1)$$

donde  $y(t)$  es la señal recibida,  $x(t)$  la respuesta del material y  $B_i e^{j(\omega_i t + \theta_i)}$   $i = 1 \dots N-1$  las  $N-1$  interferencias senoidales que se desean cancelar.

<sup>1</sup> Este artículo ha sido parcialmente financiado por la Universidad Politécnica de Valencia.

La definición de BSS exige que, por lo menos, existan tantas mezclas linealmente independientes como señales fuente se quieran recuperar. Así pues, en nuestro caso, necesitamos  $N$  mezclas; pero nos encontramos con el problema de no disponer de  $N$  sensores. Por tanto, tenemos que buscar una forma que nos permita, a partir de un único sensor, poder registrar las  $N$  mezclas que son necesarias. Para ello, registraremos la respuesta del material en el mismo punto a  $N$  pulsos de ultrasonidos consecutivos.

Suponiendo que la respuesta del material es invariante y el período de repetición de pulsos es  $T$ , obtenemos:

$$y_k(t) = x(t) + \sum_{i=1}^{N-1} B_i e^{j\omega_i (k-1)T} e^{j(\omega_i t + \theta_i)} \quad k = 1 \dots N, \quad 0 \leq t \leq T \quad (2)$$

donde  $y_k(t)$  es la respuesta al pulso  $k$ -ésimo. Como se observa en (2), la interferencia aparece desfasada en cada respuesta a un pulso, con lo que se pueden obtener al menos  $N$  diferentes respuestas que permitan modelar el problema BSS (matriz de mezclas  $\mathbf{A}$  invertible). Prescindiendo de la variable tiempo, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & e^{j\omega_1 T} & \dots & e^{j\omega_{N-1} T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & e^{j\omega_1 (N-1)T} & \dots & e^{j\omega_{N-1} (N-1)T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

donde  $x_1$  es la respuesta del material que deseamos caracterizar y  $x_{j+1}$   $j = 1 \dots N-1$  la  $j$ -ésima señal interferente de frecuencia  $\omega_j$ .

Así pues, como conclusión, se puede plantear el problema desde un punto de vista BSS. El objetivo es recuperar las señales fuente independientes  $x_j$ ,  $j = 1 \dots N$  a partir de las mezclas lineales de ellas  $y_j$   $j = 1 \dots N$ . Tal y como hemos comentado, la única restricción aplicable a la matriz de mezclas  $\mathbf{A}$  es que no sea singular. Es fácil deducir a partir de (3) que esta condición se satisface si  $\omega_j T \neq 2\pi k$  con  $k$  entero; es decir, los períodos del tren de pulsos y las interferencias no pueden ser múltiplos.

Otra ventaja adicional de estas técnicas es que son ciegas, es decir, no hace falta suponer nada respecto al modelo de mezclas o al tipo de fuentes. Incluso como veremos en la sección de resultados, aunque el modelo de mezclas no se ajuste exactamente a la realidad, como las técnicas BSS no imponen

ninguna condición en la mezcla más que sea regular, el algoritmo recupera igualmente las señales fuente (con la indeterminación inherente al BSS respecto al orden y amplitud de las señales recuperadas frente a las señales fuente originales).

### 3. RESULTADOS

Para validar el planteamiento del problema analizaremos el caso de una única señal interferente, con lo que el problema es de dimensión  $2 \times 2$ . La señal interferente es un seno de frecuencia 80 KHz y se genera con un generador de funciones. Esta señal se añade a la respuesta del material sometido al tren de pulsos de ultrasonidos. La señal resultante es muestreada a 5 MHz. Controlando la fase de la señal interferente y el período de repetición de pulsos aseguramos que la matriz de mezclas es invertible.

En la Figura 1 se representan 800 muestras (de un registro más largo) de una señal interferente senoidal. Como se puede comprobar, no corresponde con un tono puro, ya que se trata de una señal real obtenida con un generador de funciones. Desde el punto de vista BSS, este hecho no supone ninguna complicación, ya que se puede considerar la señal superpuesta al seno como una tercera fuente independiente que puede ser incluida en el modelo simplemente aumentando la dimensión de la matriz de mezclas y el vector de fuentes. En cualquier caso, también se encuentran en la bibliografía algoritmos BSS que incluyen explícitamente un vector de ruido aditivo en la formulación, independiente del vector de fuentes. Lo único que habrá que tener en cuenta es que si optamos por considerar el ruido como una tercera fuente será necesario registrar la respuesta a tres pulsos. Puesto que hemos visto en la sección 2 que podemos obtener tantas mezclas como queramos, sobredimensionaremos la matriz de datos de entrada.

En nuestro caso, utilizaremos el algoritmo JADE [3] para seis mezclas y dos fuentes. En la Figura 2 se representan dos de las seis mezclas y en la Figura 3 las dos señales recuperadas, donde se aprecia que el seno es recuperado con menos ruido que el obtenido con el generador de funciones.

Otra ventaja del BSS es que si no le hubiésemos indicado el tamaño del vector de fuentes original (por ejemplo desconocemos el número de señales interferentes), el algoritmo hubiese recuperado tantas fuentes como hubiésemos tenido. La ventaja de indicar el tamaño del vector fuente es meramente computacional. Al mismo tiempo, si no hubiésemos sobredimensionado el número de mezclas observadas, las señales recuperadas hubiesen tenido una relación S/N menor.

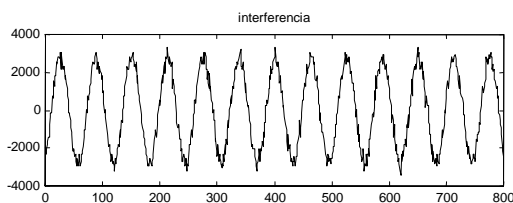


Figura 1. Señal interferente.

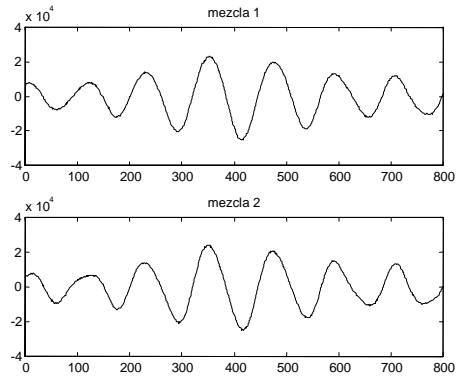


Figura 2. Señales mezcla.

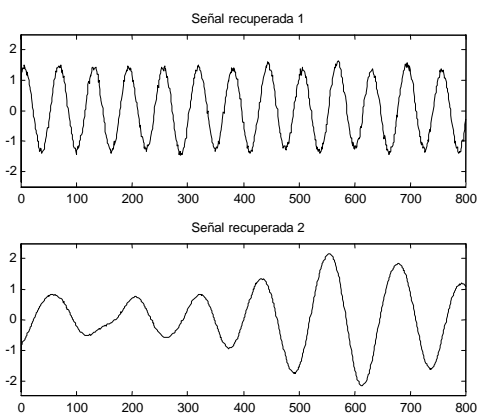


Figura 3. Señales recuperadas.

### 4. CONCLUSIÓN

Hemos presentado una nueva aplicación de las técnicas BSS, en este caso en el ámbito de Ultrasonidos. Hemos visto cómo se pueden aplicar a la cancelación de interferencias, en particular senoidales, que pueden superponerse al eco recibido del material bajo estudio. Dado lo genérico de los métodos BSS, estas técnicas se pueden extender a cualquier aplicación en la que las interferencias sigan un modelo aditivo lineal independiente de la señal original que queremos extraer.

### 5. REFERENCIAS

- [1] P. Comon, "Independent component analysis, a new concept?", *Signal Processing*, Vol. 36, No. 3, April 1994, pp 287-314.
- [2] V.M. Narayanan, P.M. Shankar, L. Vergara, J.M. Reid. "Studies on ultrasonic scattering from quasi-periodic structures", *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, Vol. 44, No. 1, January 1997.
- [3] J.F. Cardoso, A. Souloumiac. "Blind beamforming for non gaussian signals", *Proc. Inst. Elec. Eng., pt. F*, Vol. 140, pp. 362-370, Dec. 1993.