

MEJORA EN IMÁGENES ACÚSTICAS UTILIZANDO RANGO DINAMICO ALTO (RDA)

Ronald J. O'Brien^a, Leonardo Molisani^a y Ricardo Burdisso^b

^a *Grupo de Acústica y Vibraciones (GAV), Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. N° 36 Km 601, 5800 Río Cuarto, Argentina, e-mail: robrien@ing.unrc.edu.ar, lmolisani@ing.unrc.edu.ar.*

^b *Vibration and Acoustics Laboratories, 153 Durhan Hall, Virginia Tech, Blacksburg, VA, 24061-0238, USA, rburdiss@vt.edu, <http://www.val.me.vt.edu>*

Palabras Claves: imágenes acústicas, retardo y suma, rango dinámico alto.

Resumen. Las imágenes acústicas se obtienen mediante algoritmos de pos proceso. Estos utilizan los datos adquiridos a través de una distribución de sensores de presión o arreglo de micrófonos. Este arreglo, limita el rango dinámico de la imagen acústica. Por lo tanto, si existen fuentes de ruido con diferencia de nivel de presión sonora mayor al rango dinámico del arreglo no se podrán distinguir ya que los lóbulos laterales de la fuente principal cubrirán las fuentes sonoras menores. Esto puede solucionarse aumentando el número de micrófonos y así aumentar el rango dinámico pero se incrementaría el costo del hardware. Otra forma de solucionar este problema es mediante el pos proceso adecuado de los datos. Por lo tanto, debido al aumento en la capacidad de cálculo computacional es conveniente utilizar algoritmos que logren este cometido como lo es el Rango Dinámico Alto (RDA). La idea básica del método es extraer del mapa de ruido la máxima fuente sonora incluyendo sus lóbulos laterales y colocarlo en un mapa "limpio", luego con las señales sin la fuente principal se vuelve a reconstruir el mapa de ruido y nuevamente se extrae la segunda fuente dominante con sus lóbulos laterales. De esta manera se puede aplicar sucesivamente el método hasta extraer la cantidad de fuentes seleccionadas. Esto permite obtener un mapa de ruido con baja influencia de fuentes fantasmas y aumentar el rango dinámico de la imagen acústica.

En este trabajo se presenta un sistema de formación de imágenes acústicas optimizado. En primer lugar se optimizó una distribución de micrófonos para mejorar el rango dinámico de la imagen acústica. Y en segundo lugar, se presenta el algoritmo RDA que permite aumentar más aún la escala de medición de la imagen acústica basado en las técnicas de retardo y suma convencional en el dominio del tiempo.

1 INTRODUCCIÓN.

Actualmente, fabricantes, usuarios y empresas pueden evaluar el nivel sonoro de diferentes procesos o máquinas a través de mediciones experimentales realizadas mediante decibelímetros (Figura 1). Éstas son comparadas con estándares presentados por diversos entes reguladores para indicar si el nivel máximo permitido por norma es satisfactorio. Pero cuando se exceden los valores establecidos, en general, las mediciones convencionales no proveen suficientes datos para establecer qué partes de las fuentes son más importantes en la producción del ruido global. Por lo tanto, para poder cuantificar la contribución de cada parte es necesario desarrollar nuevas técnicas de medición.



Figura 1: Mediciones de Nivel de presión sonora global.

Una alternativa a esta problemática, es el método de imágenes acústicas que es utilizado como una herramienta práctica para proveer la información experimental necesaria en espacio y tiempo de la contribución de las distintas partes de la fuente de ruido. Como puede observarse en la Figura 2, los métodos de las imágenes acústicas se basan en la adquisición de datos por medio de un arreglo de sensores de presión llamado antena. Mediante los resultados adquiridos a través del sistema de adquisición y un pos proceso adecuado de los mismos es posible crear una imagen acústica. Ésta permite observar la posición, frecuencia y magnitud de las fuentes sonoras de un cuerpo radiante de geometría compleja (Christensen, 2004; Ravetta, 2005).

La tecnología imágenes acústicas se comenzó a desarrollar para antenas de radar durante la Segunda Guerra Mundial (Elliot, 1966; Burdic, 1984) y su implementación fue a través de un arreglo de hidrófonos para la detección de submarinos. En 1974, el primer sistema de detección de fuentes sonoras basado en micrófonos fue desarrollado por John Billingsley (Billingsley, 1974). Al año siguiente, Soderman y Noble (Soderman, 1975) usaron la técnica de retardo y suma en el tiempo aplicada a un arreglo lineal de micrófonos. Luego, en 1976 Billingsley y Kinns (Billingsley, 1976) desarrollaron un sistema de localización de fuentes de ruido para ser utilizado en el motor de un avión jet. Sin embargo, debido a las limitaciones

técnicas de la época la señal se convertía de analógica a digital mediante dos placas A/D las cuales se utilizaban para adquirir 14 señales de forma multiplexada.

Por otro lado, en 1976 se desarrolló una tecnología diferente llamada espejos acústicos que fue implementada por Grosche y Kendall (Grosche,1976; Kendall,1977). Los mismos, eran cóncavos y de forma elíptica con un micrófono colocado en el punto focal. Para detectar las fuentes de ruido distribuidas se debía mover el espejo, por lo que se tornaba dificultoso realizar las mediciones de forma rápida y continua en fuentes de baja frecuencia, ya que el tamaño del espejo era muy grande. Ante esta dificultad, se continuó desarrollando la tecnología de imágenes acústicas convencional.

Hasta aquí, los arreglos de micrófonos que se utilizaban eran lineales. Estos, no permitían localizar espacialmente una fuente de ruido, sólo detectaba la dirección de arribo de la señal. Entonces, con la necesidad de localizar espacialmente las fuentes de ruido diferentes físicos e ingenieros comenzaron a trabajar con arreglos de micrófonos en dos dimensiones. Los primeros en utilizar un arreglo en dos dimensiones fueron Brooks et al. (Brooks,1987) para realizar mediciones aeroacústicas. Esto proyectó la utilización de esta tecnología en diferentes ámbitos de investigación como por ejemplo en túneles del viento, situaciones de campo libre, ensayos “pass by” de vehículos, cámaras anecoicas, etc. Esto conllevó a que la interpretación de los resultados pueda ser dificultosa como consecuencia de diferentes efectos asociados a la distribución de micrófonos (Piet, 2002).

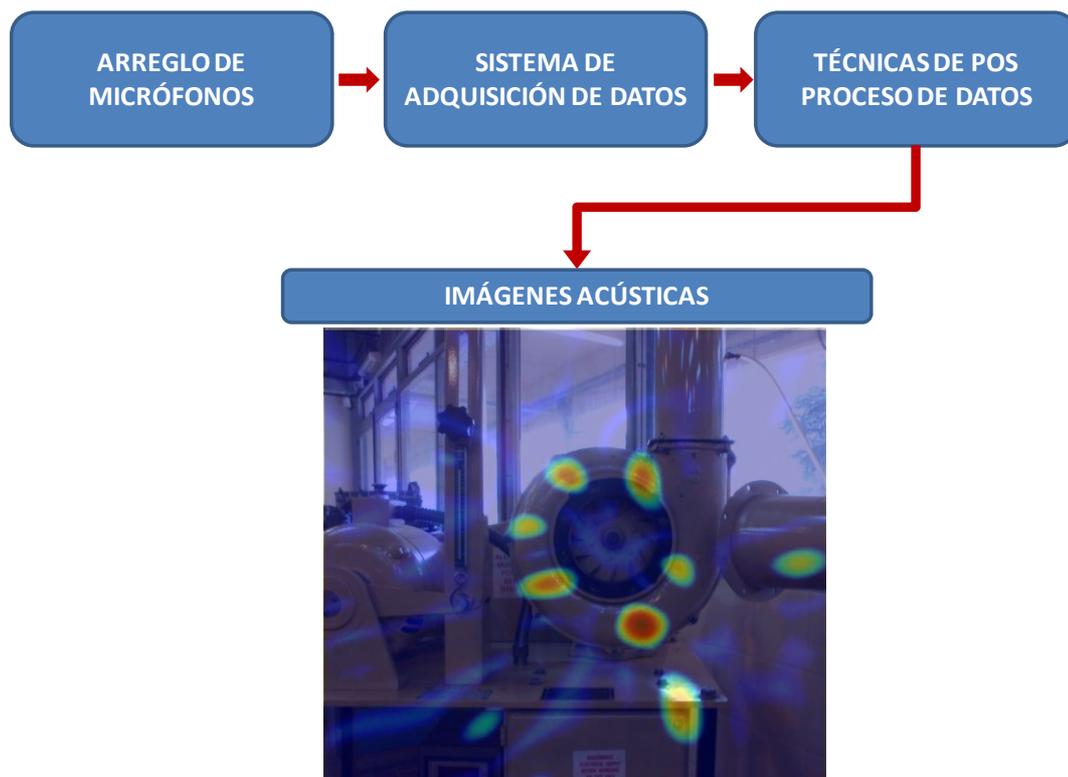


Figura 2: Uso de la técnica de imágenes acústicas.

En relación a lo expuesto, el presente trabajo centra la atención en la detección de fuentes sonoras para actuar sobre el origen del riesgo y minimizar su impacto (International Standard IEC, 2002; Haddad et. al., 2005; Ziomek, 1995). Para lograr este objetivo general se dividió el estudio como se observa en la Figura 2. Como primer paso se desarrollaron las técnicas para realizar el diseño de la antena acústica. La misma está constituida por un arreglo espacial de

sensores de presión. La distribución de los sensores de presión, afecta el rango dinámico de la antena y se manifiesta a través del Máximo Lóbulo Lateral (MLL). Para optimizar dicho parámetro se utilizaron algoritmos genéticos. Se efectuó la optimización de una antena con 35 sensores de presión, privilegiando aumentar el rango dinámico, la facilidad de construcción y transporte (O'Brien, 2011).

Como segundo paso se realizó la construcción del sistema de adquisición de datos y de los sensores de presión. El sistema de adquisición consta de 35 canales y contiene un acondicionamiento de la señal por hardware. En cuanto a los sensores de presión se fabricaron micrófonos de bajo costo.

Como tercer paso se implementaron diferentes técnicas de posproceso de datos, "beamforming" convencional (Ginn, 2003), retardo y suma (Daugerthy, 2004), "Robust Adaptive Beamforming" (RABF) (Cox, 1987) y "Multiple Signal Classification" (MUSIC) (Schmidt, 1986), estas técnicas se realizaron mediante un software de desarrollo propio con una interface de usuario que permite realizar los ensayos, calibración y luego aplicar la técnica necesaria para la formación de imágenes acústicas (O'Brien, 2013).

Las técnicas mencionadas anteriormente se desarrollan en el dominio de la frecuencia a diferencia de la técnica de retardo y suma que se realiza en el dominio del tiempo. Esta técnica es más general que "beamforming" convencional ya que realiza el mapa de ruido sobre la señal con todo su ancho de banda y se puede utilizar fácilmente en situaciones con fuentes de ruido no estacionarias. Para poder formar la imagen acústica se utiliza el retardo que existe desde el punto que se quiere medir la presión sonora hasta cada micrófono luego las señales son igualadas temporalmente con los retardos y sumadas. En caso que la fuente de ruido se encuentre en la posición que el arreglo de micrófonos está observando, la señal se sumará constructivamente, en caso contrario la señal se sumará de forma destructiva.

Aparte de los algoritmos ya mencionados se estudió e implementó en el software desarrollado un algoritmo novedoso. Este se basa en la técnica de RDA que proviene del idioma inglés "High Dynamic Range" (Döbler, 2012). Esta técnica surge como alternativa de aumentar el rango dinámico de la imagen acústica. Ya que, en general, el rango dinámico que se encuentra en el diseño de las antenas de micrófonos es de 8 a 15 dB aproximadamente, esto depende del número de micrófonos y su posición espacial. Por lo tanto, en el caso que haya fuentes de ruido con diferencia de amplitud mayor a 15 dB no se podrán distinguir en el mapa de ruido. Este inconveniente se soluciona agregando mayor cantidad de micrófonos en el hardware pero esto incrementa también el costo de la antena. Otra forma de solución es mediante el pos proceso adecuado de los datos. Por lo tanto, gracias al aumento en la capacidad de cálculo computacional es conveniente desarrollar un algoritmo que logre este cometido.

Por lo tanto, el desafío de este trabajo involucra el diseño y desarrollo de una antena optimizada y software para la formación de las imágenes acústicas que permitan aumentar el rango dinámico.

2 OPTIMIZACIÓN DE ANTENAS ACÚSTICAS.

La antena acústica está constituida por un arreglo espacial de sensores de presión, en la cual la distribución fue optimizada y constatada experimentalmente. La misma, afecta al rango dinámico de la antena y se manifiesta a través del MLL. Para optimizar dicho parámetro se utilizaron algoritmos genéticos.

En una primera instancia, se hicieron pruebas con 16 canales de adquisición realizando ensayos experimentales y simulaciones para evaluar el comportamiento de la optimización. En un segundo caso, se efectuó con 35 sensores de presión (Figura 5(a)), privilegiando aumentar su rango dinámico, su fácil construcción y transportabilidad. En la Figura 5(b) se

observa el aumento en el rango dinámico y la disminución del parámetro MLL comparado con otro arreglo de micrófonos tomados como referencia (O'Brien, 2011).

Esta distribución de micrófonos optimizada tiene un rango de frecuencia de 1000 a 11000 Hz. La menor frecuencia está dada por el diámetro de la antena y la máxima es debido a la mínima distancia entre micrófonos requerida para poder reconstruir la señal.

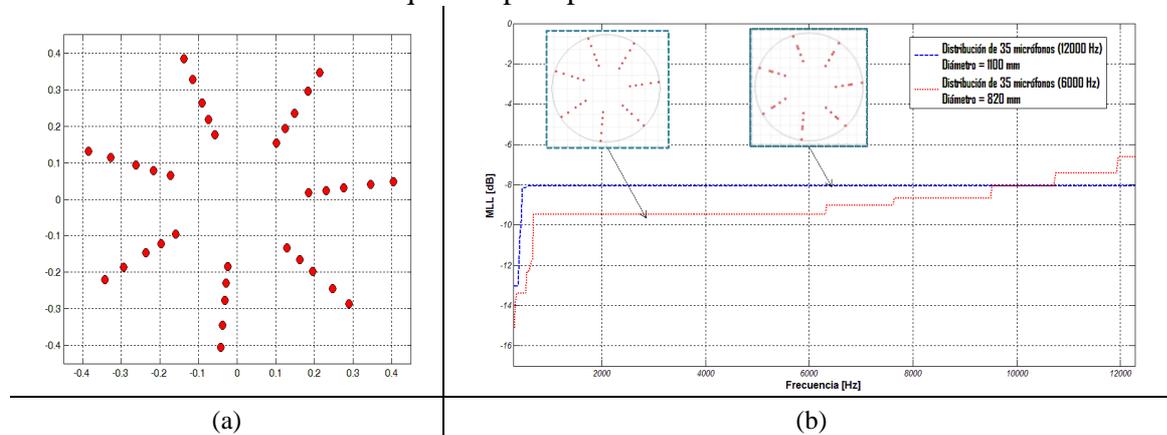


Figura 3: (a) Sistema optimizado de 35 sensores de presión, (b) comparación de una distribución optimizada vs distribución de micrófonos no optimizada.

3 POST PROCESO DE DATOS.

En la literatura existen diferentes algoritmos para la detección de fuentes de ruido. Entre los más conocidos se encuentran el método “Beamforming” (BF) y “Near field Acoustic Holography” (NAH) (Maynard, 1985). La primera, se utiliza extensamente en la detección de fuentes de ruido aeroacústicas, ya que tiene una buena resolución a las frecuencias requeridas y el tamaño de la antena es relativamente pequeño en comparación con la zona a evaluar. La segunda, se aplica a la detección de fuentes vibroacústicas, ya que “Beamforming” no puede diferenciar fuentes a bajas frecuencias. Una desventaja, es que el tamaño de la antena de micrófonos debe ser mayor que la zona donde se necesita reconstruir el mapa de ruido.

En el caso de “Beamforming”, para poder aprovechar las ventajas y extender su uso a fuentes de baja frecuencia se investigaron diferentes métodos. En el caso de las fuentes aeroacústicas los más utilizados son los de deconvolución, pero la desventaja reside en el esfuerzo computacional que implica. Otra alternativa, es RABF (Cox, 1987), en el cual utiliza la información recolectada mediante los micrófonos para poder eliminar el ruido blanco en la imagen acústica.

Una variante a lo expuesto, es el método MUSIC (Schmidt, 1986). El mismo, separa el subespacio de la señal con respecto del ruido de la matriz espectral cruzada (CSM). En el subespacio de la señal se encuentra el vector dirección o “steering vector”, por lo tanto el producto entre la matriz espectral cruzada del ruido y el vector dirección serán cero en el lugar donde se encuentre la fuente de ruido, ya que estos espacios son ortonormales. Como desventaja se puede señalar la falla con señales altamente correlacionadas y cuando la relación señal - ruido es baja.

Los métodos expuestos trabajan en el dominio de la frecuencia ya que se utiliza la estructura de la matriz espectral cruzada para desarrollar métodos alternativos que mejoran la resolución del mapa de ruido pero como desventaja generalmente limitan el análisis a un ancho de banda angosto. Una alternativa simple para superar este inconveniente es Retardo y Suma (RS), este método trabaja en el dominio temporal.

RS es más general que las técnicas en el dominio de la frecuencia ya que es de banda ancha y se adapta muy bien para el caso de fuentes no estacionarias (Dougherty, 2004).

3.1 Técnica de Retardo y Suma (RS)

En esta sección se describe la técnica de BF en el dominio temporal la cual se denomina RS (Dougherty, 2004). Esta se basa en la diferencia de tiempo que hay entre una onda sonora que llega a un micrófono con respecto al siguiente, este retardo en tiempo se calcula según,

$$\Delta_m(r) = \frac{|r| - r_m(r)}{c} \quad (1)$$

Donde c es la velocidad del sonido y r se define de acuerdo a la Figura 4.

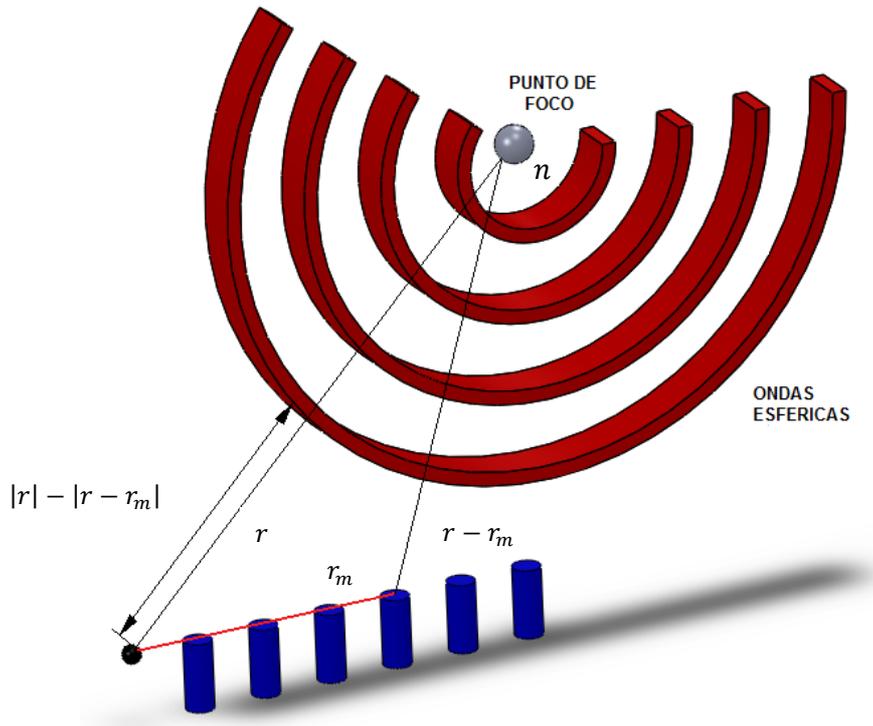


Figura 4: esquema de propagación de ondas esféricas.

Luego, aplicando este retardo a cada señal mediante un operador “shift” y sumando las señales obtenemos la salida de RS.

$$b_{RS}(t, r) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M w_m p_m(t - \Delta_m) \quad (2)$$

Donde w_m es un factor de peso que asegura que todos los micrófonos tengan el mismo impacto en el resultado sin importar que tan lejos se encuentren de la fuente. M es la cantidad de micrófonos y p_m es la presión medida.

$$w_m = \frac{|r| - r_m(r)}{r_0} \quad (3)$$

Y r_0 es la distancia de referencia, en este caso utilizaremos la distancia desde el centro del arreglo de micrófonos.

Cuando aplicamos este método las medidas de presión de cada micrófono p_m son individualmente alineadas en fase y luego sumadas. En el caso que la fuente de ruido se encuentre en la posición que se está observando la suma funcionará de forma constructiva y la

salida será de mayor amplitud (Figura 5(a)) pero para señales que arriben desde otra dirección en la cual no se está haciendo foco se sumarán de forma destructiva (Figura 5(b)). Esto permitirá armar un mapa de puntos con diferentes niveles de presión, por lo tanto los puntos de mayor energía sonora evidenciarán la ubicación de la fuente de ruido.

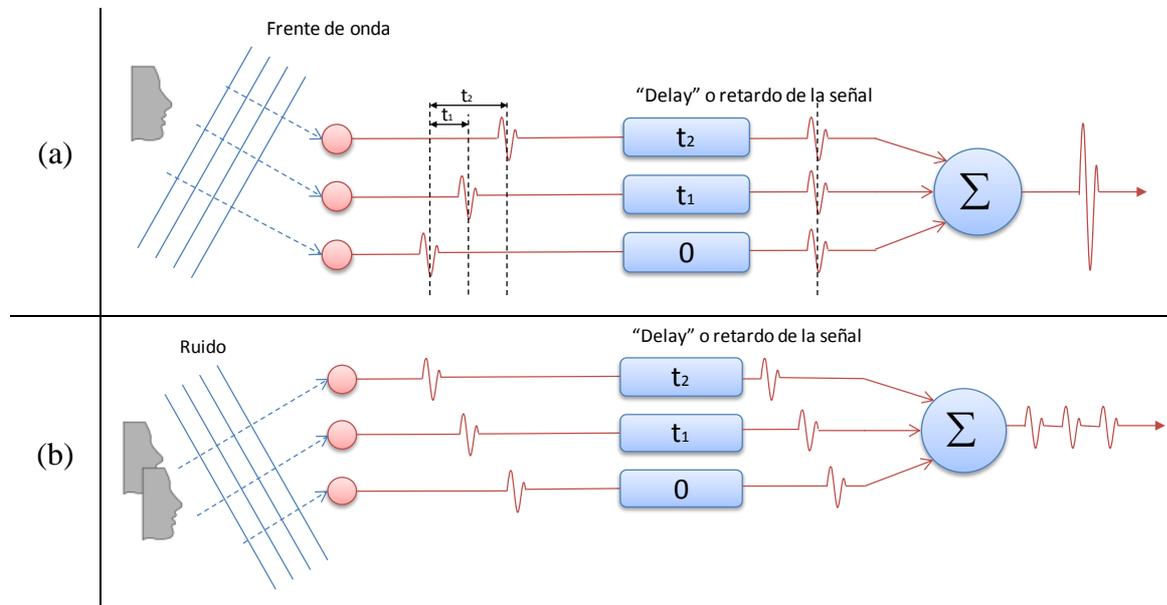


Figura 5: (a) Posición de la fuente - Suma constructiva, (b) Señal de interferencia o ruido - Suma destructiva.

3.2 Técnica de RDA

En el año 2012, Döbler et. al. presentaron un algoritmo basado en el método de “High Dynamic Range” utilizado en el pos procesamiento de imágenes (Döbler, 2012). A este nuevo algoritmo lo denominaron “acoustic HDR”. La idea básica del método es extraer del mapa de ruido la máxima fuente sonora incluyendo sus lóbulos laterales y colocarlo en un mapa “limpio”, luego con las señales sin la fuente principal se vuelve a reconstruir el mapa de ruido y nuevamente se extrae la segunda fuente dominante con sus lóbulos laterales. De esta manera se puede aplicar sucesivamente el método hasta extraer la cantidad de fuentes seleccionadas, esto permite obtener un mapa de ruido con baja influencia de fuentes fantasmas y aumentar el rango dinámico de la imagen acústica. Esta técnica, es similar a CLEAN (Sijtsma, 2007) aunque se diferencia en que “acoustic HDR” trabaja en el dominio del tiempo mientras que CLEAN se realiza en el dominio de la frecuencia.

Como se mencionó en la introducción, en general, el rango dinámico que se encuentra en el diseño de las antenas de micrófonos es de 8 a 15 dB aproximadamente, dependiendo del número y posición de los micrófonos. En la Figura 6 se puede observar el rango dinámico, de acuerdo a la frecuencia de interés, de la distribución de 35 micrófonos optimizada construida.

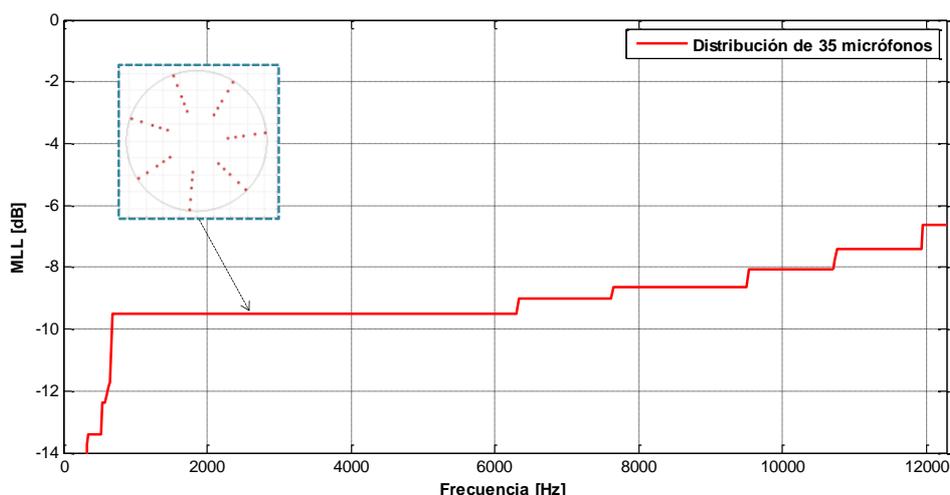


Figura 6: MLL (Máximo Lóbulo Lateral) de la distribución optimizada con AG.

Por lo tanto, si en el mapa de ruido se intentan distinguir fuentes que tengan una diferencia mayor a 9 dB entre 1000 y 6000 Hz no se podrán diferenciar. Para realizar el proceso de “acoustic HDR” se deben realizar los siguientes pasos:

- Construir la imagen acústica mediante “Retardo y suma”.
- Buscar las coordenadas del pico máximo en la imagen acústica.
- Extraer la fuente de ruido máxima junto con sus lóbulos laterales.

De la fuente máxima se eliminan los lóbulos laterales y el lóbulo principal se coloca en una imagen acústica “limpia”.

Este proceso se realiza de forma iterativa hasta que se extraen todas las fuentes de ruido deseadas. El algoritmo inicializa en la iteración $i = 0$ con una imagen acústica nula la cual servirá para poder colocar las fuentes máximas sin sus lóbulos laterales. Se debe introducir también la cantidad de fuentes de ruido que se desean extraer, esto servirá como parada del algoritmo.

$$b_{\text{MapaFinal}}^{(i-1)}(r_n) = 0 \quad (4)$$

$$i = 1: NF$$

Donde r_n representa los puntos de una grilla espacial y NF es el número de fuentes que se desean extraer. Luego, se realiza la imagen acústica mediante “Retardo y suma”.

$$b_M^{(i)}(r_n, t_k) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M w_{mn} p_m^{(i)}(t_k - \Delta t_m(r_n)) \quad (5)$$

$$b_{\text{MapaParcial}}^{(i)}(r_n) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{k=1}^T (b_M^{(i)}(r_n, t_k))^2} \quad (6)$$

Donde T es el tiempo total del intervalo seleccionado.

De la imagen acústica obtenida se localiza la posición de la fuente con mayor presión acústica y se reconstruye la señal que llega desde ese punto al arreglo de micrófonos.

$$[b_{\max}^{(i)}, r_{n\max}^{(i)}] = \max_{b_{\max}^{(i)}} b_{\text{MapaParcial}}^{(i)}(r_n) \quad (7)$$

$$b_M'^{(i)}(t_k) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M w_{mn} p_m^{(i)}(t_k - \Delta t_m(r_{n\max}^{(i)})) \quad (8)$$

Luego, se aplica los retardos con signo positivo para cada micrófono.

$$b_{M_m}''^{(i)}(t) = b_{M_m}'^{(i)}(t + \Delta t_j(r_{n\max}^{(i)})) \quad (9)$$

Con estos datos se realiza la imagen acústica con la fuente de ruido máxima.

$$b_M''^{(i)}(r_n, t_k) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M w_{mn} b_{M_m}''^{(i)}(t_k - \Delta t_m(r_n)) \quad (10)$$

$$b_{\text{MapaLimpio}}^{(i)}(r_n) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{k=1}^T (b_M''^{(i)}(r_n, t_k))^2} \quad (11)$$

Aquí, $b_{\text{MapaLimpio}}^{(i)}$ representa la presión RMS de cada punto de la grilla para la fuente sonora máxima de la imagen acústica. A esta fuente se le quitan los lóbulos laterales mediante la siguiente operación;

$$N^{(i)} = \frac{1}{p_{\text{MapaLimpio}}^{(i)}(r_{n\max}^{(i)})} \quad (12)$$

$$b_{\text{MapaLimpio}}^{(i)}(r_n) = \frac{(b_{\text{MapaLimpio}}^{(i)}(r_n) N^{(i)})^{SLSE}}{N^{(i)}} \quad (13)$$

Donde SLSE es un valor denominado “Side Lobe Supression Exponent” y N es un valor de normalización. El valor de la fuente sonora máxima se coloca en una imagen acústica “limpia”.

$$b_{\text{MapaFinal}}^{(i)}(r_n) = b_{\text{MapaFinal}}^{(i-1)}(r_n) + b_{\text{MapaLimpio}}^{(i)}(r_n) \quad (14)$$

Ahora se extrae el valor de la fuente sonora máxima de los datos de los micrófonos para volver a armar una imagen acústica sin la fuente máxima.

$$p_m^{(i+1)}(t) = p_m^{(i)}(t) - b_{M_m}''^{(i)}(t) \quad (15)$$

El proceso finaliza cuando se cumple la condición de que el número de fuentes extraídas es igual al valor seleccionado al iniciar el algoritmo.

$$i = \text{NF} \quad (16)$$

La Figura 7 muestra una comparación entre RS y RDA para dos fuentes a una distancia de 20 cm emitiendo un tono de 2 kHz a una distancia de 70 cm de la antena a 77 dB ref. 20 [μPa]. Mediante RS (Figura 7(a)) no se pueden diferenciar las fuentes y los lóbulos laterales para el rango dinámico seleccionado se confunden con fuentes fantasmas y debido a la baja resolución se observa como si fuera una sola fuente. En cambio mediante RDA (Figura 7(b)) el rango dinámico de la imagen aumenta y se pueden diferenciar las dos fuentes correctamente.

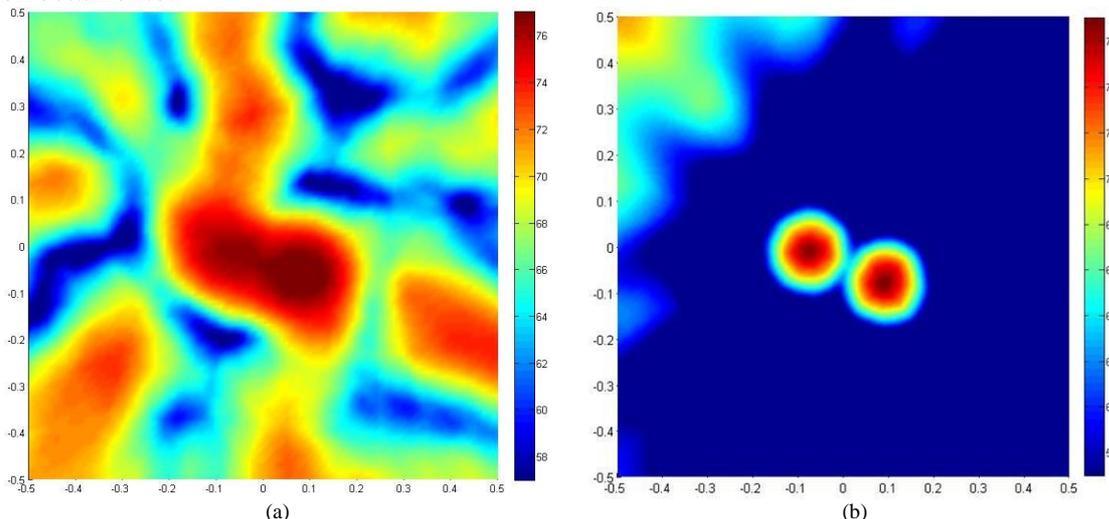


Figura 7: (a) Retardo y suma, (b) RDA.

4 SISTEMA DE DETECCION DE FUENTES SONORAS.

La Figura 7(a) muestra el sistema de adquisición y la antena de micrófonos desarrollados. En la Figura 7(b) se observa una pantalla del software desarrollado, en el cual se ubica el mapa sonoro. Este software se programo utilizando el lenguaje MatLab. En este caso, se analiza la posición de las fuentes de ruido aeroacústicas emitidas por un ventilador (O'Brien, 2013).

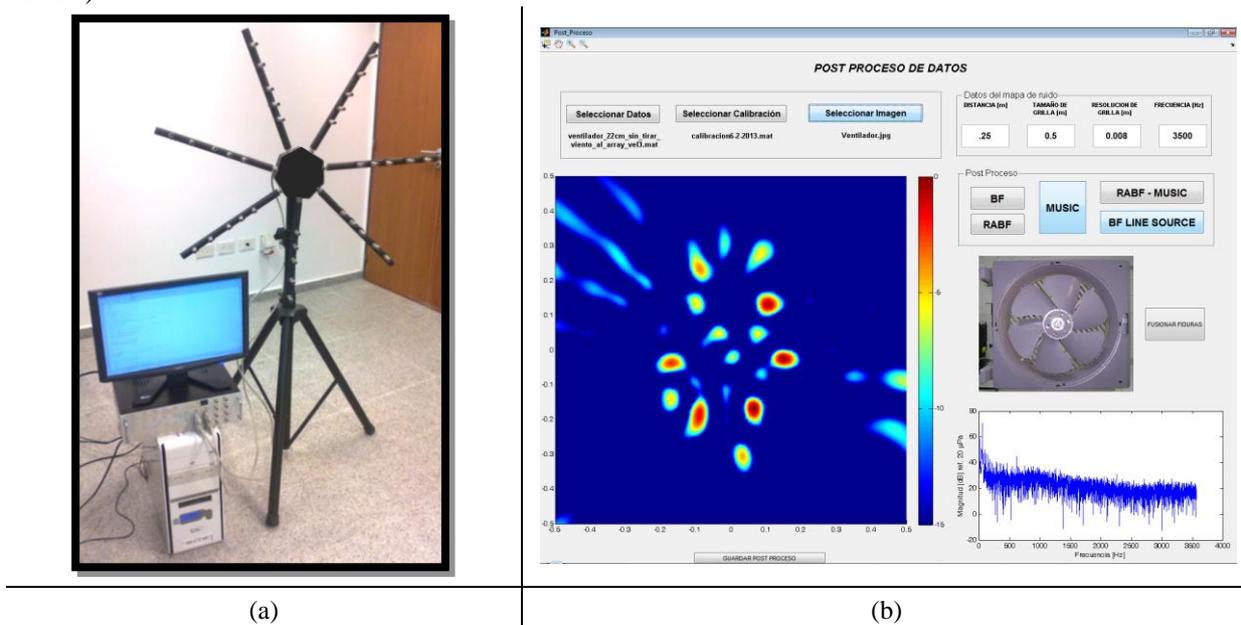


Figura 8: (a) Sistema de adquisición y antena de micrófonos (hardware), (b) Sistema de detección de fuentes sonora en funcionamiento (software).

Los sensores de presión utilizados son de bajo costo comparados con los que actualmente se utilizan para este tipo de sistemas. Como se vio anteriormente la antena consta de 35 micrófonos, en este caso de tipo “electret”. Estos están formados por material dieléctrico que tiene una carga eléctrica cuasi-permanente o polarizada. La existencia de esta carga electrostática, debida a la polarización, hace que no sea necesario alimentarlo eléctricamente para su funcionamiento, sin embargo, sí se requiere alimentación eléctrica para el preamplificador. En cuanto a su directividad, se utilizaron omnidireccionales. Como se muestra en la Figura 9 se realizó la medición de fase relativa entre los 35 micrófonos y se colocó un límite de $\pm 10^\circ$. En cuanto a la amplitud, se realizó una calibración mediante una fuente conocida.

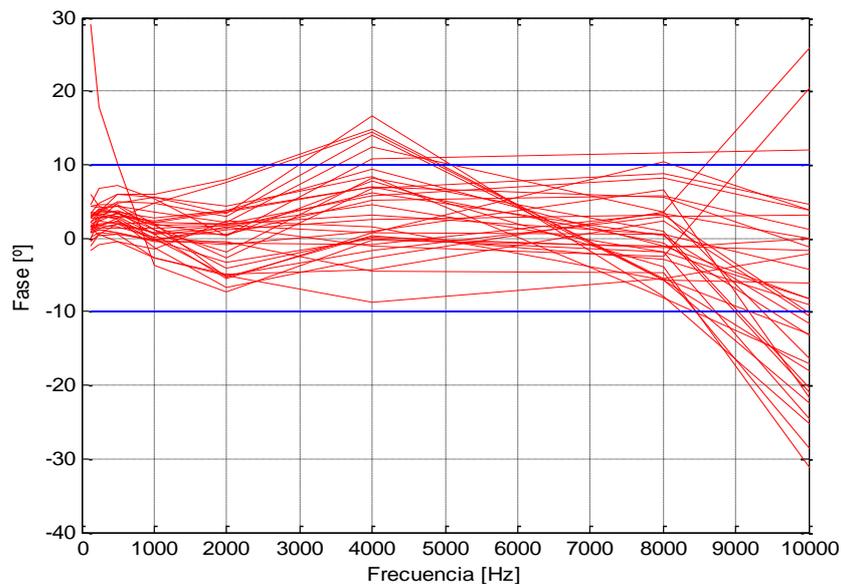


Figura 9: Fase relativa al micrófono 1.

5 COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS RS Y RDA CON DOS FUENTES PUNTUALES A DIFERENTE AMPLITUD.

En el siguiente ejemplo se destaca la capacidad de RDA para distinguir dos fuentes puntuales emitiendo ruido blanco a diferentes amplitudes. La disposición de las fuentes de ruido se observa en la Figura 10. La fuente 1 está ubicada en las coordenadas $(x_1, y_1, z_1) = (-0.36, -0.04, 1)$ m y emite ruido a 63 dB ref. a 20 $[\mu\text{Pa}]$. La fuente 2 esta ubicada en las coordenadas $(x_2, y_2, z_2) = (0.12, -0.04, 1)$ m y emite ruido a 53 dB ref. a 20 $[\mu\text{Pa}]$. Las mismas se encuentran a una distancia de 1 m del arreglo de micrófonos. Este ensayo permitirá comparar los resultados encontrados con RS con el obtenido con RDA.

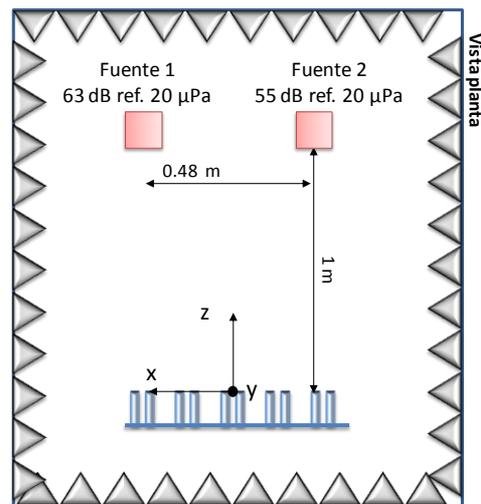
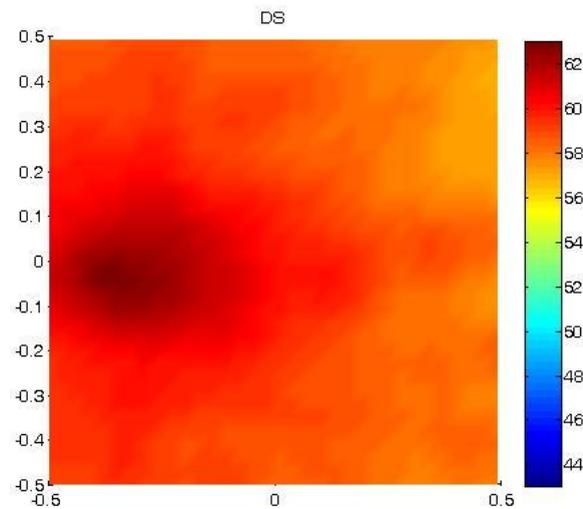


Figura 10: Retardo y suma.

En la Figura 11 se muestra la imagen acústica de RS. Se observa que la identificación de las fuentes de ruido principales se torna dificultosa. Para mejorar la capacidad de distinguir las dos fuentes se utilizó la técnica RDA.

Figura 11: Retardo y suma. Escala en [dB ref. 20 μ Pa].

En la Figura 12 (a) se muestra la imagen acústica utilizando RDA y en la Figura 12 (b) se observa el mapa remanente. Este último, permite visualizar la energía acústica que se encuentra en el plano seleccionado y así poder cuantificar la calidad de la extracción de las fuentes de ruido.

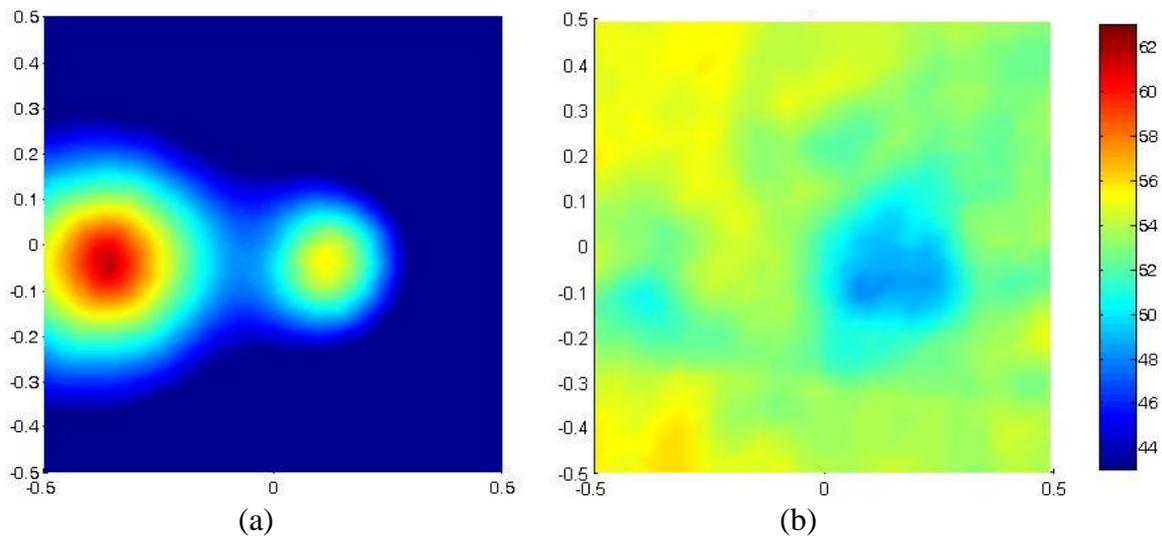


Figura 12: (a) RDA, (b) Mapa remanente de RDA. Escala en [dB ref. 20 μ Pa].

6 CONCLUSIONES

Para obtener las diferentes contribuciones de la fuente sonora al ruido global se desarrolló una antena con una distribución de micrófonos bidimensional, la bibliografía encontrada propone el parámetro MLL como uno de los más importantes a considerar. Por lo tanto, utilizando Algoritmos Genéticos se obtuvo una distribución de micrófonos optimizada la cual permite reducir los Lóbulos Laterales y aumentar el rango dinámico de la antena de micrófonos, también se tuvo en cuenta en el diseño la facilidad de fabricación del soporte de los sensores de presión.

Se construyó una antena de 35 micrófonos optimizada mediante algoritmos genéticos. Los micrófonos utilizados son de bajo costo y de desarrollo propio. Se construyó también el sistema de adquisición de datos. Una vez obtenidos los datos, se realizaron diferentes procesos mediante técnicas aplicadas a la formación de imágenes acústicas, las cuales fueron implementadas en un software propio.

Se implementó y comparó las técnicas de RS y RDA. Se observó que RDA permite aumentar el rango dinámico de la imagen acústica y evidenciar fuentes sonoras que se encuentran ocultas debido a la influencia de los lóbulos laterales de las fuentes de ruido de mayor intensidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó gracias al apoyo económico de CONICET y FONCyT. La ayuda del GAV (Grupo de Acústica y Vibraciones) de la Facultad de Ingeniería de Río Cuarto.

REFERENCIAS

- Billingsley J. and Kinns R., The acoustic telescope, *Journal of Sound and Vibration*, 48, pp. 485-510, 1976.
- Billingsley, J., An acoustic telescope, *Aeronautical Research Council ARC 35/364*. 1974.
- Brooks T.F., Marcolini M.A., and Pope D.S., A Directional Array Approach for the Measurement of Rotor Noise Source Distributions with Controlled Spatial Resolution, *Journal of Sound and Vibration*, Volume 112, Number 1, pp. 192-197, 1987.
- Burdic, W.S., Underwater Acoustic System Analysis, *Prentice-Hall, Inc.*, Englewood Cliffs, NJ, 1984.

- Christensen J.J. y Hald J., Beamforming, *Brüel&Kjær Sound&Vibration Measurement A/S*, 2004.
- Cox H., Zeskind R. y Owen M., Robust adaptive beamforming, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. Vol. ASSP-35, pp. 1365-1376. Oct. 1987.
- Döbler D. and Schröder R. Contrast improvement and sound reconstruction of quiet sources using a High Dynamic Range algorithm, *BeBeC 2012*. 2012
- Dougherty R., Advanced Time-Domain Beamforming Techniques. *AIAA Paper 2004-2955, Manchester UK*, Mayo 2004.
- Elliot, R.S., The Theory of Antenna Arrays, *Microwave Scanning Antennas*. R.C. Hansen, ed., *Academic Press*, 1966.
- Ginn B., Christensen J.J., Hald J., Mørkholt J., Schuhmacher A. y Blaabjerg C., A review of array techniques for noise source location, *10^o International Congress on Sound and Vibration, ICSV10*. Stockholm, Sweden. 7-10 July 2003.
- Grosche F.R., Stiewitt H., and Binder B., On Aero-Acoustic Measurements in Wind Tunnels by Means of a Highly Directional Microphone System, *Palo Alto*. *AIAA 76-535*. 1976.
- Haddad K. and Benoit V., Understanding the acoustical behavior of a wind turbine by means of acoustic imaging, *First International Meeting on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control, Berlin*, 2005.
- International Standard IEC 61400-11: Wind turbine generator systems - *Acoustic noise measurement techniques*, 2002.
- Kendall J.M., Airframe Noise Measurements by Acoustic Imaging, Los Angeles. *AIAA-77-55*, 1977.
- Maynard J. D., Williams E. G., and Lee Y. Nearfield acoustical holography: I. Theory of generalized holography and the development of NAH. *Journal of the Acoustical Society of America*, 78(4):1395–1413, 1985.
- O'Brien R.J., Molisani L., Burdisso R., Optimización del Rango Dinámico de Antenas Acústicas. *Mecánica Computacional*, Volume 30. Number 42. Pp 3217 – 3232. Noviembre 2011.
- O'Brien R.J., Molisani L., Burdisso R., Detección de fuentes sonoras mediante beamforming y near field acoustic holography. *Mecánica Computacional*, Volume 31. Number 26. Pp 4001 – 4012. Noviembre 2012.
- O'Brien R.J., Molisani L., Burdisso R., Técnicas avanzadas para la detección de fuentes sonoras. *Mecánica Computacional*, Volume 32. Noviembre 2013.
- Piet J.F, Michel U. and Böhning P., Localization of the Acoustic Sources of the A340 with a Large Phased Microphone array During Flight Tests, *8th AIAA/CEAS Aeroacoustics conference and Exhibit*, Breckenridge, CO. *AIAA 2002-2506*. 2002.
- Ravetta P., LORE approach for phased array measurements and noise control of landing gears, *Tesis Doctoral*, Noviembre 2005.
- Schmidt R., and Franks R., Multiple Source DF Signal Processing: An Experimental System, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-34. No. 3, March 1986.
- Sijtsma, P., CLEAN based on spatial source coherence, *International Journal of Aeroacoustics*, Vol. 6, No. 4, pp. 357-374, 2007.
- Soderman, P.T., and Noble S.C., Directional Microphone Array for Acoustic Studies of Wind Tunnel Models, *Journal of Aircraft*, pp. 169-173, 1975.
- Ziomek L., Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time Signal Processing, *CRC Press*, ISBN 0-8493-9455-4, 1995.