

SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN SONORA BASADOS EN SENSORES MICROFLOWN

PACS : 43.50.YW

García Escribano, Dolores¹; Fernández Comesaña, Daniel¹; de Bree, Hans-Elias¹

¹ Microflown Technologies

Tivolilaan 205

6824 BV

Arnhem

Holanda

E-Mail 1: garcia@microflown.com

E-Mail 2: fernandez@microflown.com

E-Mail 3: debree@microflown.com

ABSTRACT

The usage of particle velocity sensors, known as Microflowns, is not limited to near field applications. Combining 3 orthogonal particle velocity sensors with a pressure microphone and advanced signal processing techniques, it is possible to locate noise sources within one degree error. This setup makes possible the monitoring and tracking vehicles or even impulsive sources. Combining this information with complaints gathered via a public web service, this monitoring system becomes a powerful solution for noise control and surveillance for community, environmental and leisure purposes.

RESUMEN

El uso de sensores de velocidad de partícula, también conocidos como Microflowns, no se limita a la caracterización de fuentes sonoras en campo cercano. Mediante la combinación de tres Microflowns situados ortogonalmente y en conjunto con técnicas avanzadas de procesado de señal, es posible llevar a cabo la localización de fuentes de ruido con menos de un grado de error. Esto permite la monitorización y seguimiento de vehículos o incluso localización de fuentes impulsivas. Combinando esta información con las quejas recogidas mediante un servicio web público, este sistema de monitorización se convierte en una potente herramienta para el control y vigilancia del ruido medioambiental, comunitario y de ocio.

1. INTRODUCCIÓN

La localización de fuentes en campo lejano es un problema conocido para el que se han desarrollado múltiples soluciones. El uso de técnicas de procesado de señal aplicadas a sistemas permanentes y portátiles de monitorización es quizá una de las menos extendidas. Actualmente la localización de fuentes sonoras se realiza mediante la aplicación de beamforming o sus versiones adaptativas ya sea a los arrays convencionales o a los recientemente introducidos 'arrays virtuales' [1]. Las soluciones tradicionales presentan los siguientes problemas:

- Coste elevado
- Dificultad de mantenimiento (muchos sensores = muchas reparaciones)
- Limitado rango frecuencial (el espacio entre sensores determina el rango útil)
- Gran tamaño para bajas y medias frecuencias (la distancia entre sensores es proporcional a la longitud de onda que se quiere captar)
- Necesidad computacional alta

La extensión y adaptación de los sensores de velocidad de partícula a sistemas de monitorización facilita tanto la localización como la cuantificación de niveles de emisión a las fuentes sonoras, pudiendo aplicarse en realización y validación de mapas de ruido; detección y control de fuentes puntuales; monitorización de fuentes y control de cambios de estado, mantenimiento predictivo, etc.[2]

En este artículo se presentan resultados de la aplicación de una estación de monitoreo de ruido basada en 3 sensores de velocidad de partícula y un micrófono, combinados en una sola sonda. Este sensor es compacto por lo que permite reducir el tamaño y coste del sistema; cubre todo el rango audible 20 – 20.000 Hz [3]; la información es procesada localmente y reducida de 4 canales a un espectrograma fácilmente interpretable y transmisible a estaciones remotas permitiendo así la identificación de las fuentes de ruido y su localización exacta ya sea para fuentes continuas como transitorias.

2. SONDAS USP

Están formadas por 3 sensores de velocidad de partícula ortogonalmente colocados, combinados con un sensor de presión, como se aprecia en la figura 1. Los sensores de velocidad tienen un patrón de directividad bi-direccional o de figura de ocho que, combinados con la información recogida por el micrófono, hacen posible calcular la dirección de llegada del ruido a partir de la relación de amplitudes entre sensores. De este modo es posible medir el vector 3D de intensidad, que directamente apunta hacia dónde proviene el ruido.



Figura 1. Sonda USP, formada por tres sensores de velocidad y uno de presión.

Tanto la respuesta de cada sensor como la colocación de todos ellos deben ser tenidas en cuenta y corregidas debidamente. Por ello se realiza la calibración del sistema completo y las mediciones se toman teniendo en cuenta un sistema fijo de referencia, tanto para la relación sonda-equipo como equipo-entorno.

Las principales ventajas de este sensor aplicado a la monitorización medioambiental son:

- El pequeño tamaño del equipo de medida (4 sensores encapsulados ½ pulgada)
- Rango de uso y de funcionamiento del método, 20-20.000 Hz
- Configuración totalmente independiente del rango de frecuencia de interés
- Bajo número de canales comparado con arrays convencionales

2.1. Calibración

Como se ha comentado, dos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de calibrar el sistema de monitorización. Primeramente, la respuesta en frecuencia de los sensores, que varía ligeramente de unos a otros (tanto en amplitud como en fase). Estas pequeñas variaciones en sensibilidad deben ser tenidas en cuenta ya que el principio de funcionamiento se basa en la diferencia de amplitudes de los canales de velocidad.

Por otra parte, es necesario relacionar la posición de cada sonda con el origen de coordenadas establecido, es decir, la dirección sensible de cada sensor es relacionada con dicho origen y entre sí con el resto de sensores del sistema.

Ambas calibraciones se llevan a cabo con un sistema ideado específicamente con esta finalidad, consistente en una fuente de referencia que varía su posición relativa 20 grados alrededor del equipo, a una distancia constante en cada iteración. El equipo es excitado en todo el rango audible para cada posición, de forma que resultan definidos ambos comportamientos, tanto la sensibilidad de cada sensor como su localización respecto al eje de referencia. Tras realizar este proceso de calibración se obtienen patrones de comportamiento similares a los que aparecen en la siguiente figura:

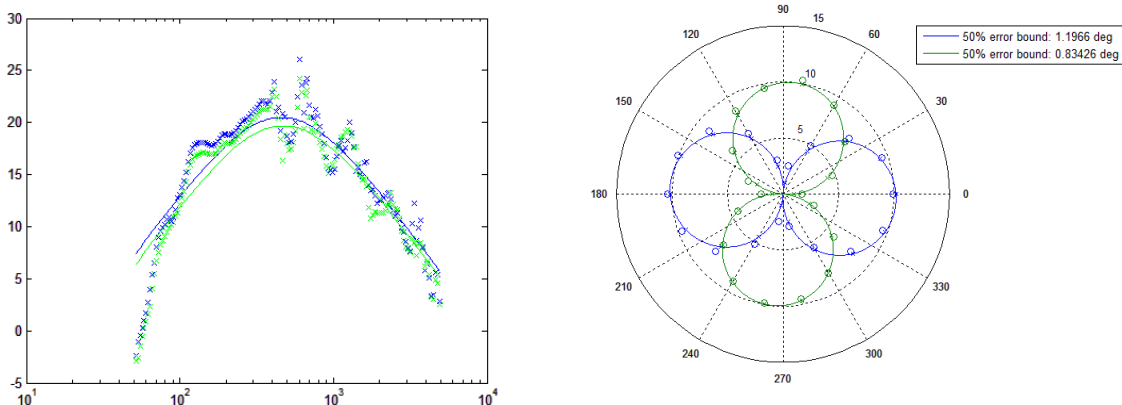


Figura 2. Derecha: Ajuste de la sensibilidad de los dos sensores de velocidad al modelo. Izquierda: Respuesta y error de localización del sensor, definida en tramos de 20 grados.

3. EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE MICROFLOWN

Para poder aplicar este sensor a mediciones y monitorización ambiental se construyó un primer modelo de estación de medida con las siguientes características:

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Resistente inclemencias meteorológicas	Caja estanca Pantalla antiviento
Transmisión y acceso remoto	WIFI interna Servicio web de publicación de datos
Procesado interno de información	Mini PC. SW embebido en futuro
Autonomía	Batería 5 horas ampliable a 48
Localización GPS	Información de la posición Sincronización de varias estaciones



Figura 3. Prototipo de sistema de monitorización

Una vez el sistema es activado, éste comienza el registro de los 4 canales de audio que simultáneamente son procesados y reducidos a un espectrograma de intensidad sonora superpuesto con la dirección de llegada de cada excitación sonora.

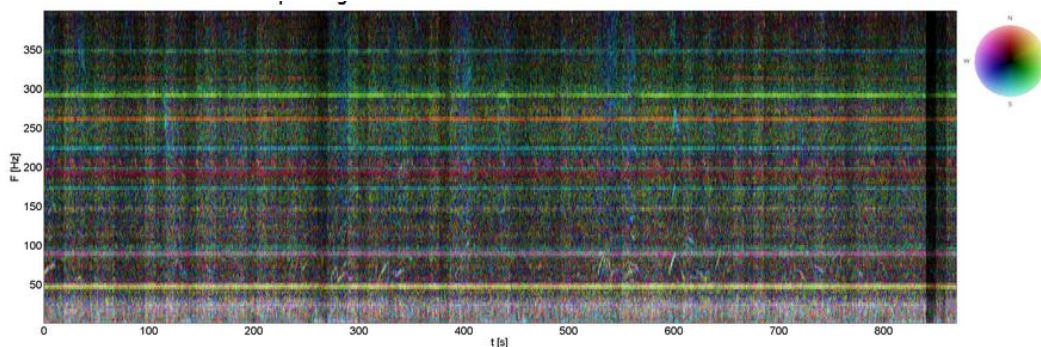


Figura 4. Diferentes fuentes tonales registradas en uno de los casos de estudio

En la imagen anterior se aprecian diferentes componentes tonales, cuyo color representa la dirección en la que se encuentra la fuente emisora. Se puede ver, por ejemplo, una fuente a 96 Hz, localizada a 30 grados oeste u otra a 180 Hz a 180 grados sur. El nivel sonoro es representado por la intensidad del color.

4. CASOS DE ESTUDIO

4.1. Localización de fuentes: Nijmegen

El primer caso de estudio que se presenta se trata de la aproximación al uso del sistema para la caracterización de un ambiente sonoro y la localización de fuentes de ruido en un entorno de tipo industrial.

El sistema de medición y monitorización fue montado en la parte superior de un coche y la posición del conductor tomada como referencia. Esto método de medida inicial, algo limitado, derivó en un error de hasta 10 grados en la localización en la posición de las fuentes sonoras, pero el error, como se verá más adelante, es reducido haciendo uso de triangulación de las posiciones de medida. En otros experimentos realizados han sido obtenidos resultados de tan solo 1 grado de desviación [4].

Diferentes asunciones se llevaron a cabo para simplificar el caso de estudio:

- Las fuentes de interés se encontraban en el plano paralelo al suelo, dejando sin uso por tanto el sensor de elevación.
- El efecto de las reflexiones es obviado así como la geometría del espacio de medida
- Suposición de una única fuente dominante con el mismo comportamiento tanto frecuencial como temporal: dos fuentes coherentes llevan a un error de localización por la imposibilidad de su separación con las técnicas empleadas.

En la siguiente figura se presenta el área de estudio, los puntos de medida, y la localización de algunas de las fuentes ruidosas encontradas:

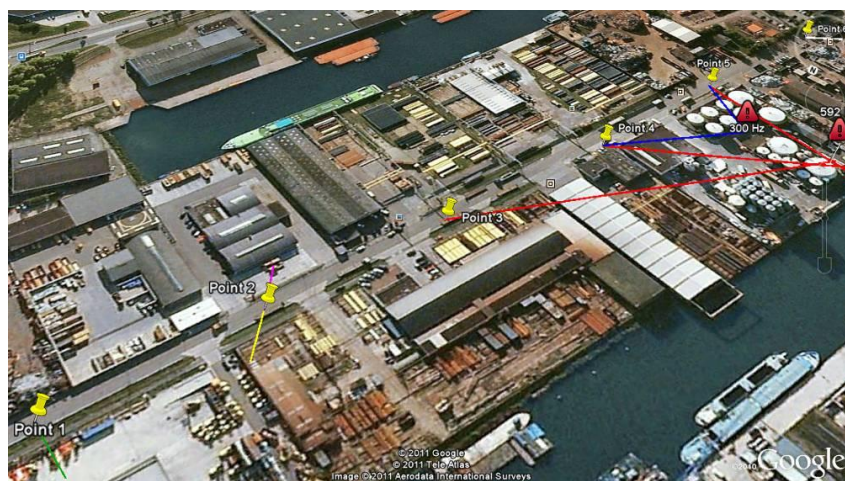


Figura 5. Puntos de medida y fuentes sonoras registradas

La mayoría de las fuentes ruidosas registradas eran no estacionarias, por lo que no se pueden triangular desde diferentes posiciones ya que las posiciones de medida fueron registradas de modo secuencial. Pero la correcta localización se certificó de modo visual:

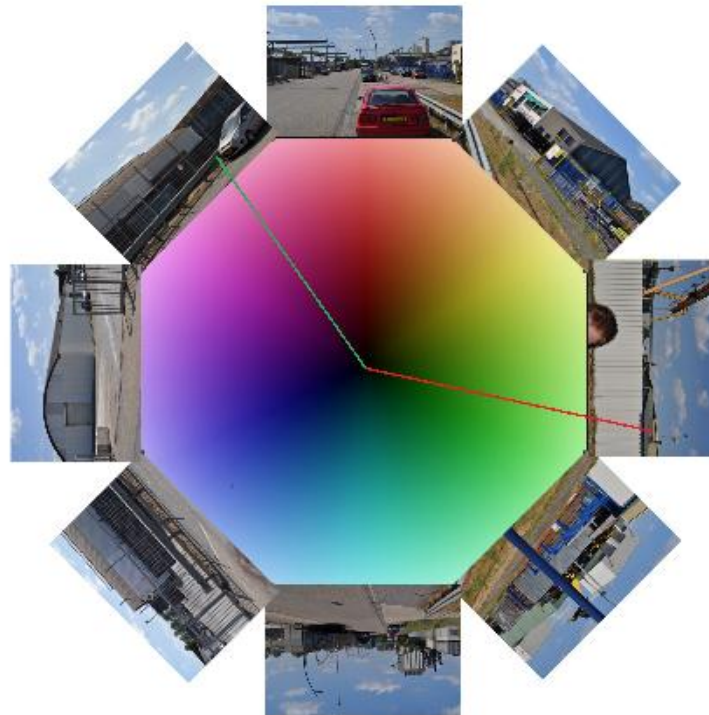


Figura 6. Fotos cubriendo 360 grados desde la posición de medida y fuentes localizadas en punto 2.

En la figura 6:

- Punto 1, línea verde: pala elevadora moviendo mercancía
- Punto 2, línea amarilla grúa desplazando contenedores. Línea magenta ruido de golpeo metálico por desplazamiento de contenedores
- Punto 3-5 líneas rojas, fuente estacionaria a 592 Hz
- Punto 3-5 líneas azules, fuente estacionaria a 300 Hz.
- Punto 6, línea blanca desguace de estructuras metálicas

Centrándose en las fuentes estacionarias localizadas desde varios puntos de medida se aprecia que la desviación en la localización es acotada mediante la triangulación desde los puntos de medida 3, 4 y 5.



Figura 7. Triangulación de fuentes estacionarias

4.2. Monitorización y localización de una fuente en concreto: Maastricht

Diversas mediciones se habían realizado en el área con el fin de determinar si una factoría, situada cerca de un área de residencial era la causante de molestias a los vecinos. Trabajos anteriores centraron el ruido molesto en 96 Hz, pero no habían sido capaces de determinar si la fábrica era la fuente originadora. Inicialmente se realizó un test para demostrar que la tecnología era realmente efectiva a la empresa contratante. Para ello se utilizó una fuente artificial que fue instalada en el tejado de la fábrica y registrada desde diferentes puntos de medida localizados tanto próximos a la industria como en la zona residencial colindante.



Figura 8. Resultados de la localización de una fuente artificial colocada en el tejado de la factoría

Una vez probado que la tecnología funciona adecuadamente, se colocó el sistema durante un día en la propia fábrica. Obteniendo finalmente el siguiente gráfico de localización de la fuente, obteniendo cada dirección la localización para diferentes momentos en los que la fuente se encontraba activa.

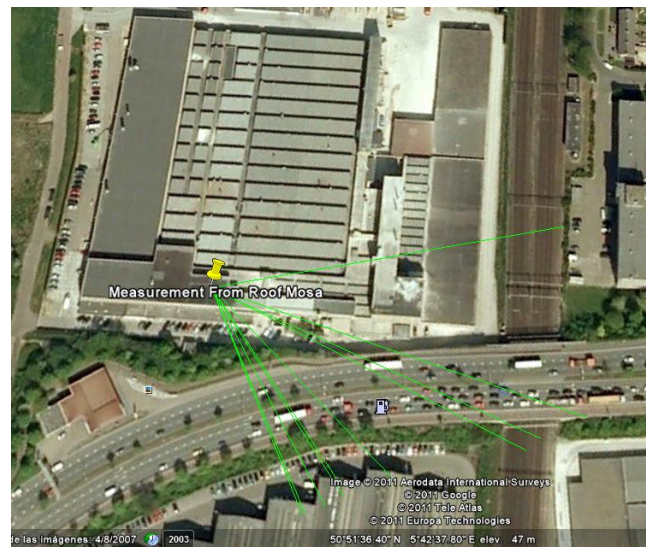


Figura 9. Localización de la fuente emisora de 96 Hz

De este modo la industria en cuestión quedó exculpada por la molestia producida en el vecindario.

5. INCORPORACIÓN DE LA PERCEPCIÓN

En futuros estudios se quiere ampliar la información recogida, incorporando comentarios de los usuarios cercanos a la estación de medición. Este tipo de información resulta muy importante a la hora de describir correctamente el ambiente sonoro y su efecto en la población y resulta una herramienta muy útil para la realización de planes de acción efectivos y eficaces [5]. Para ello en el servicio web se ha incorporado la posibilidad de registrar un comentario descriptivo de la sensación producida en cada momento por el ambiente sonoro en el que se encuentra inmerso. Esta información será incluida en futuros trabajos, valorando su fiabilidad y utilidad.

6. CONCLUSIONES

Haciendo uso de las sondas USP es posible la localización de todo tipo de fuentes ruidosas con diferentes características tanto temporales como frecuenciales. La inclusión de estos sensores en un sistema de gestión medioambiental brinda la posibilidad de realizar el control de fuentes específicas, asignación de niveles de emisión, localización, mantenimiento y control de estado. Diferentes casos de aplicación medidos con este sistema han sido presentados en este artículo, reflejando diferentes posibilidades de uso y perspectiva de aplicación con resultados satisfactorios.

La combinación de los registros y análisis generados por el sistema con plataformas de representación geográfica crea una herramienta muy potente tanto para la creación de mapas de ruido, su validación como para la localización de problemas y fuentes concretas.

La perspectiva de inclusión de información relativa a la percepción abre la posibilidad de explorar los beneficios de la combinación de ambas formas de valoración del ambiente sonoro, obteniendo una visión más clara y completa del entorno de estudio.

REFERENCIAS

- [1] Fernandez Comesaña, Daniel; Wind, Jelmer; Grosso, Andrea; Holland Keith; "Far field source localization using two transducers: A virtual array approach". ICSV 18, 2011.
- [2] H-E de Bree, J. Wind, E. Tijs, Environmental noise monitoring with acoustic vector sensors, Internoise 2010.
- [3] D. Fernández Comesaña, J. Wind, A. Grosso and K. Holland, "Performance of P-P and P-U intensity probes using Scan & Paint", International Congress of Sound and Vibration, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.
- [4] J. Wind, H-E de Bree, E. Tijs, Source localization using acoustic vector sensors, a MUSIC approach, NOVEM 2009
- [5] Kloth, Melanie; Vancluysen, Karen; Clement, Florent; Lars Ellebjerg, Polis. "Silence project handbook".