

## LOCALIZACIÓN SONORA EN VEHÍCULOS CON ARRAYS DE MICRÓFONOS 2D Y 3D

PACS: 43.50.Nn, 43.60.Jn

Alloza Frutos, Pablo  
gfai tech GmbH, Volmerstrasse 3, Berlin, +34 611495353, alloza@gfai.tech.es

**Palabras Clave:** Beamforming, localización sonora, confort acústico

### ABSTRACT.

The new scenario about electric vehicles in the automotive sector need new approaches to adapt and evolve noise and vibration diagnosis methods, as the internal combustion engine, the main source of noise, disappears from the equation. Sound localization based on microphone arrays can offer valuable information visualizing sound events related to BSR, noise levels that decrease acoustic comfort or psychoacoustic parameters. This publication presents several applications performed using sound localization systems based on microphone arrays with 2D and 3D geometries and real-time scanning systems, providing 3D models results, analysing different acoustic pathologies in several different vehicles. Results in the temporal and frequency domain are presented and discussed.

### RESUMEN.

La llegada de los vehículos eléctricos al sector de la automoción ha supuesto la necesidad de adaptar y evolucionar los métodos de diagnóstico de ruido y vibraciones, al desaparecer de la ecuación el motor de explosión, la principal fuente de ruido. La localización sonora basada en arrays de micrófonos puede ofrecer información de gran valor visualizando eventos sonoros relacionados con BSR, niveles de ruido que disminuyen el confort acústico o parámetros psicoacústicos. Esta publicación presenta varias aplicaciones realizadas con sistemas de localización sonora basados en arrays de micrófonos con geometrías 2D, 3D y con sistemas de escaneo en tiempo real y representación de resultados en modelos 3D, analizando diferentes patologías acústicas en varios vehículos, proporcionando resultados finales en el dominio temporal y frecuencial y comentando el alcance de los mismos.

### 1. INTRODUCCIÓN

La localización de fuentes de ruido y la visualización sonora utilizando sistemas basados en arrays de micrófonos y algoritmos de beamforming se han utilizado ampliamente en los últimos años en varias disciplinas [1, 2].

Aunque existen otras técnicas de localización sonora basadas en intensimetría y holografía, más orientadas a campo cercano, esta publicación se centra en los usos del beamforming [3], en concreto en sus aplicaciones en el sector de la automoción [4], tanto en vehículo completo como en piezas y accesorios, desde un punto de vista bidimensional [5] y tridimensional [6, 7]. Las aplicaciones mostradas se diferencian entre resultados sobre fotografías acústicas (2D) y modelos de ruido tridimensionales a partir de mediciones con arrays de micrófonos esféricos (3D).

El sector de la automoción se encuentra en una profunda transformación hacia nuevos métodos de propulsión, pasando del motor de explosión (con sus diferentes combustibles) hacia motorizaciones eléctricas. Este nuevo escenario elimina una de las principales fuentes de ruido, el propio motor, que enmascaraba total o parcialmente algunas del resto de las fuentes de ruido, haciendo que eventos impulsivos relacionados con relés o activadores, roces entre diferentes materiales o pequeños motores eléctricos pasaran casi desapercibidos para los ocupantes del vehículo.

Hoy en día el confort acústico en el interior de un automóvil se valora mucho por los usuarios y los fabricantes de automóviles y accesorios lo tienen en cuenta para llegar a los mayores estándares de calidad. Esta publicación presenta varios ejemplos de aplicación de los sistemas de localización sonora para identificar las diferentes fuentes de ruido, así como su huella sonora frecuencial, en varias aplicaciones.

## 2. APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN SONORA EN 2D

En este apartado se presentan ejemplos de resultados en 2D utilizando arrays de micrófonos de 48 micrófonos tipo electret y geometría circular. Se analizan dos tipos de test de medidas, uno en exterior, campo lejano, localizando emisiones acústicas de pruebas de frenado en pista seca y húmeda; y otro en campo cercano, localizando y analizando el funcionamiento de un elevallunas eléctrico.



Figura 1 – Array de 48 micrófonos electret y geometría circular utilizado, de *gfai tech GmbH*.

### 2.1. Localización y análisis de emisiones acústicas en pruebas de frenado

Los diferentes asfaltos y sus condiciones afectan en gran medida a la huella sonora general que emite un vehículo, en función de su velocidad y otros factores. Además de cuantificar el nivel de presión sonora con un micrófono de medida situado a cierta distancia, según normativa o especificación técnica, se pueden utilizar sistemas de localización sonora para determinar las fuentes de ruido implicadas, por ejemplo la diferencia entre ejes motrices, tipología de neumáticos o estado de la carretera.

A continuación se presentan dos fotografías acústicas del mismo vehículo, a la misma velocidad, con los mismos neumáticos y frenando desde el mismo punto.

Se puede comprobar como la emisión acústica cambia en función de suelo seco (izquierda) y suelo mojado (derecha) donde el tren trasero tiene más contribución. Además del nivel registrado en el punto de evaluación, 73,9 dB en suelo seco vs 74,9 dB en suelo mojado.

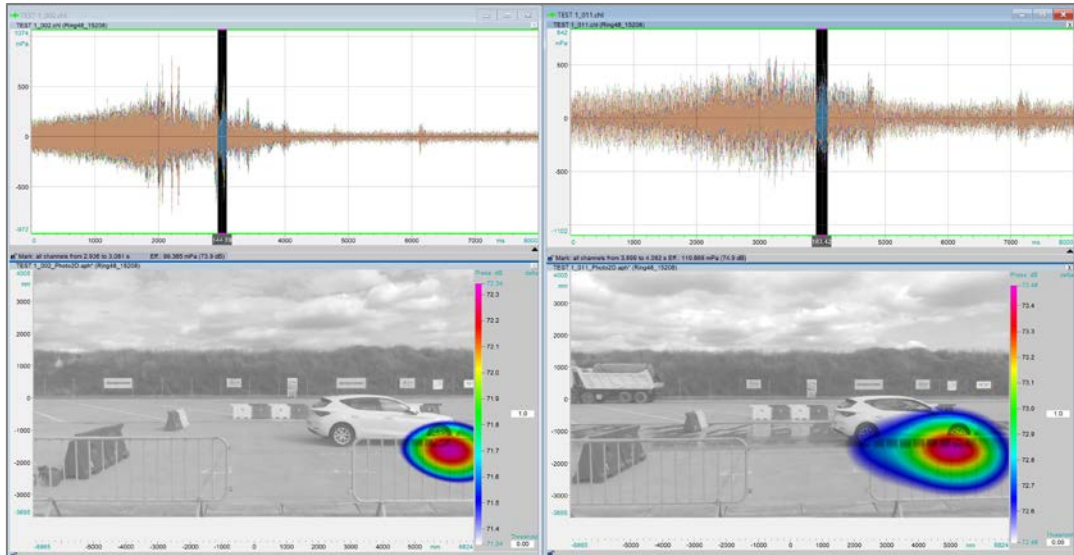


Figura 2 – Fotografías acústicas de prueba de frenada en suelo seco y mojado.

## 2.2. Localización sonora y análisis del comportamiento de un elevallas

Los componentes y accesorios que forman un vehículo contribuyen al confort acústico general y la percepción del grado de calidad por parte del usuario. Para poder realizar un análisis exhaustivo es necesario analizar en profundidad en el dominio temporal y frecuencial, evaluando de forma aislada los eventos sonoros impulsivos y transitorios y los posibles picos frecuenciales relacionados.

En la siguiente figura se muestran dos resultados del funcionamiento de un elevallas eléctrico, analizando especialmente el momento del cierre. Seleccionando rangos temporales de varios milisegundos se puede visualizar en que parte se produce el primer o mayor impacto del cristal contra el marco y donde se produce inmediatamente después, justo antes de finalizar completamente el proceso de cierre.

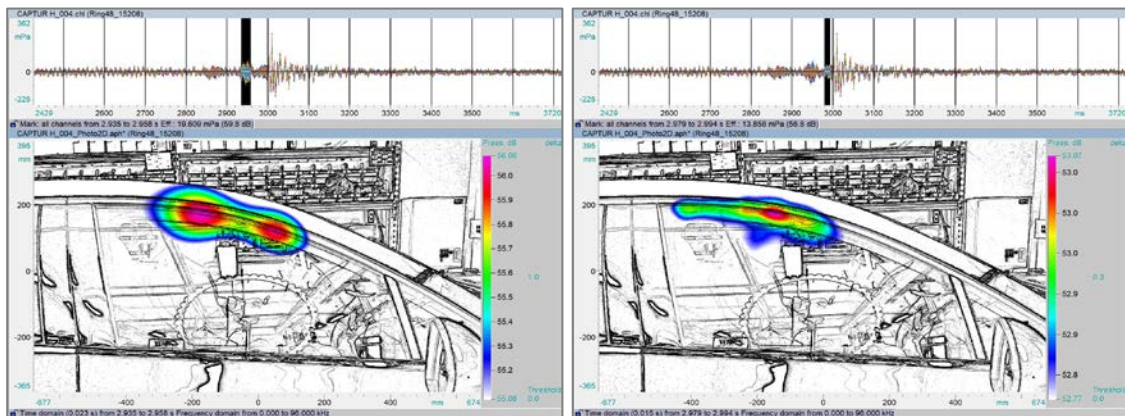


Figura 3 – Fotografías acústicas de prueba de frenada en suelo seco y mojado

### 3. APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN SONORA EN 3D

Para realizar investigaciones sonoras en el interior de vehículo completo, la mejor opción es usar un array de micrófonos 3D con geometría esférica, de este modo se tienen micrófonos en todas las direcciones y se puede localizar fuentes de ruido que provengan de cualquier dirección.

En los ejemplos de este apartado se ha utilizado un array con 48 micrófonos electret en configuración esférica, acústicamente transparente; representando los resultados sobre un modelo 3D generado con un láser-escáner. También se ha utilizado un array de 96 micrófonos MEMS capaz de generar el modelo 3D de forma instantánea, con aplicaciones en zonas de motor, ejes de transmisión, zona de salpicadero o interiores.

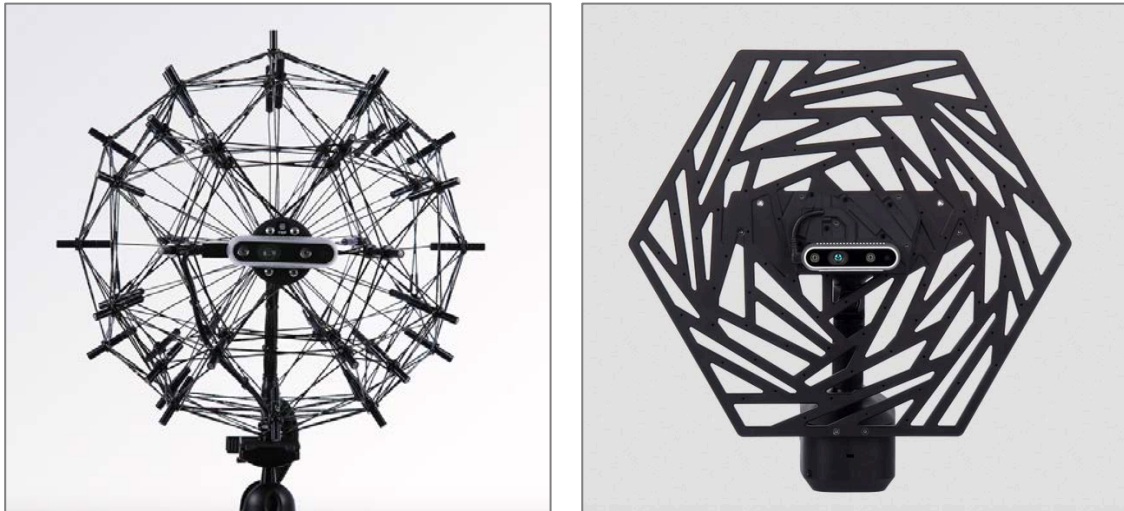


Figura 4 – Array de 48 micrófonos electret y geometría esférica y array portátil de 96 micrófonos MEMS con adquisición 3D (cámara Real Sense) integrada, de *gfai tech GmbH*

#### 3.1. Localización sonora de ruido BSR ( Buzz, Squeak & Rattle)

En este ejemplo se presenta la localización sonora del ruido producido por el roce de la junta de estanqueidad de goma de la puerta sobre el marco del chasis del vehículo, al abrir y cerrar la puerta. Un ruido desagradable que disminuye el confort acústico del usuario. Se realizaron varios cierres y aperturas de la puerta asegurando la aparición de esta patología.

En la siguiente imagen se puede ver la localización del evento sonoro seleccionado en el espectrograma, previamente identificado mediante escucha de la grabación de audio, representado sobre el modelo 3D interior del vehículo. Se ha seleccionado el punto de vista dentro del modelo 3D más representativo.



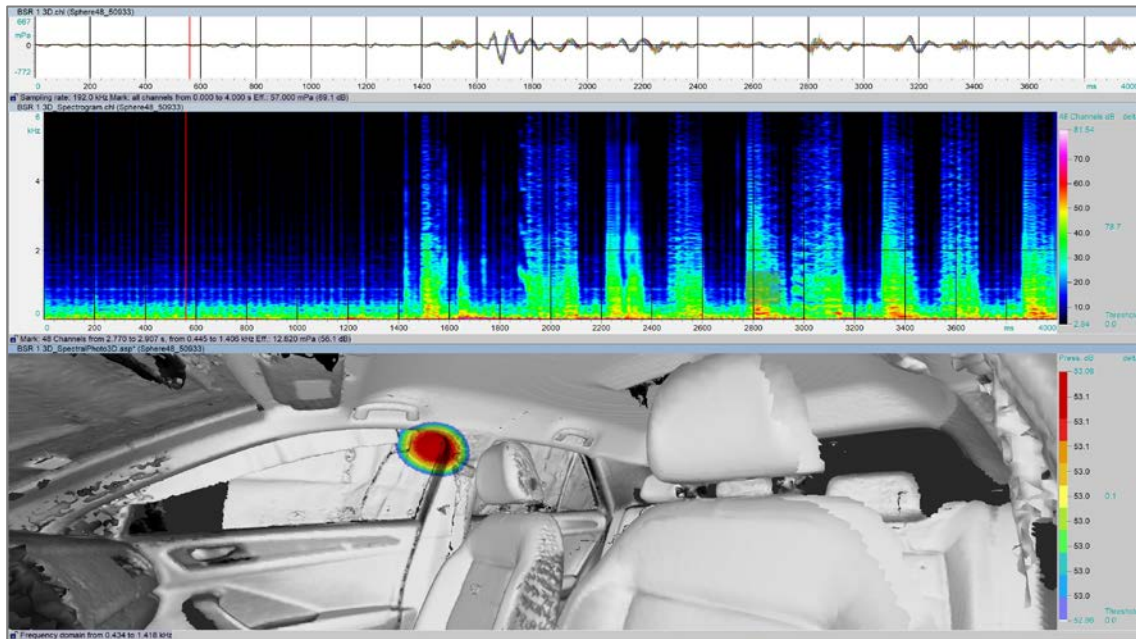


Figura 5 – Modelo 3D acústico del interior del vehículo

Este evento también se estudió desde el exterior un array 2D como el del apartado 2, localizando el mismo punto de emisión desde fuera. El resultado se muestra en la siguiente figura, seleccionando uno de los eventos en el dominio temporal y seleccionando el rango frecuencial relacionado con el roce de la goma.

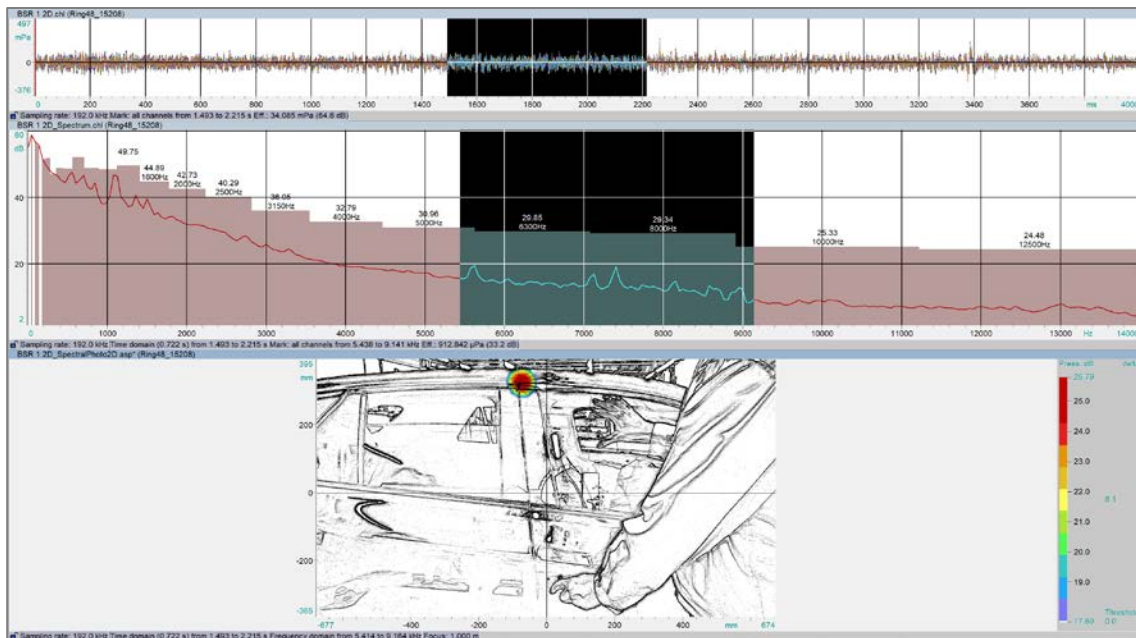


Figura 6 – Fotografía acústica desde el exterior del vehículo.

### 3.2. Diagnósis de patologías de ruido y vibraciones

El siguiente ejemplo ilustra una aplicación de localización de patología acústica en un motor, al acelerar se produce un evento sonoro en alta frecuencia, perfectamente perceptible tanto desde el interior como desde el exterior. Se registran una medición de 4 segundos con dos eventos sonoros para su posterior estudio. En el espectrograma se puede identificar claramente dicho evento sonoro y localizarlo en una fotografía acústica, este proceso se muestra en la siguiente figura.

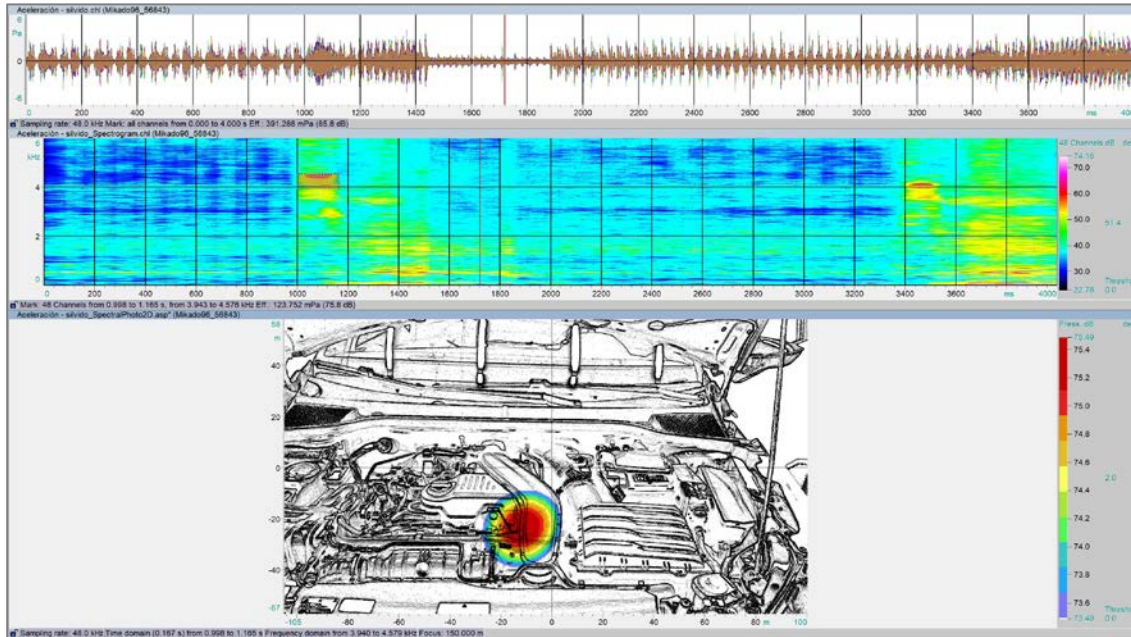


Figura 7 – Fotografía acústica desde el exterior del vehículo.

Una vez localizada y cuantificada la fuente de ruido, se puede evaluar desde un punto de vista psicoacustico, calculando los niveles de Loudness, Sharpness, Roughness y Tonality relacionados con la emisión sonora bajo estudio. En la siguiente figura se muestran los niveles de Sone, Acum y mAsper de la medición completa, en las gráficas de cada índice de calidad sonora se puede comprobar como se incrementa en cada uno de los dos eventos sonoros; principalmente los niveles de Loudness que pasan de 22 a 41 Sones.

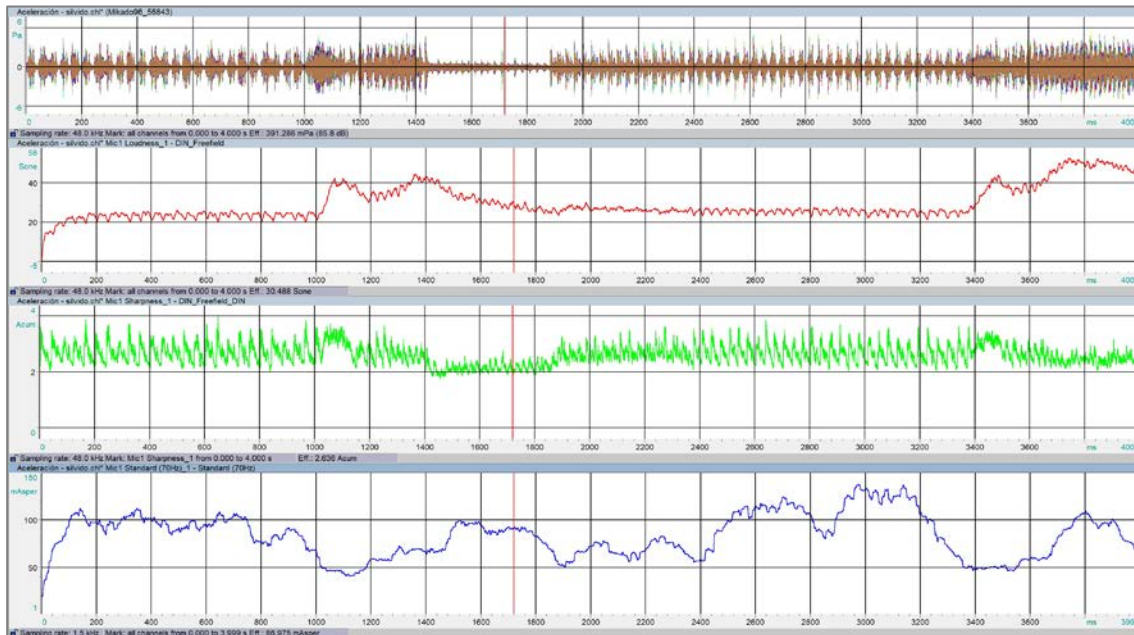


Figura 8 – Gráfica de niveles de presión sonora, Loudness, Sharpness y Roughness.

#### 4. CONCLUSIONES

Se han presentado diferentes aplicaciones de sistemas de localización sonora basados en arrays de micrófonos dentro del sector de la automoción, evaluando emisiones sonoras de vehículos en pruebas de frenada, de elevadas eléctricas, ruidos de roce de materiales y patologías de ruido en motores. Los resultados que proporcionan este tipo de herramientas permiten una diagnosis rápida y efectiva de la problemática relacionada con el ruido y el confort acústico, permitiendo tomar decisiones en base a los focos de ruido identificados (espacial y frecuencialmente). También es posible realizar análisis psicoacústicos para enfrentar las emisiones sonoras a un baremo normalizado.

Los arrays de micrófonos 3D permiten evaluar posibles fuentes de ruido desde cualquier dirección, siendo idóneos para recintos cerrados como vehículos, vagones o aviones y también de zonas como el motor, chasis o salpicadero. Los resultados sobre modelos 3D (generados con un laser-escáner o por las propias *Acoustic Cameras*) permiten trabajar sobre un modelo 3D de ruido completo, englobando posibles fuentes de ruido secundarias.

#### REFERENCIAS

- [1] Van, B. D. (n.d.). *Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering*.
- [2] Gaokar, R., Cheeran, A. *Performance Analysis of Beamforming Algorithms*
- [3] Johnson, D., Dudgeon D. (1993). *Array signal processing: Concepts and techniques*. Prentice Hall.
- [4] Genuit, K; Schulte-Fortkamp, B; *The Acoustical Comfort of Vehicles: A Combination of Sound and Vibration*. Noise-Con 2005, Minneapolis, Minnesota.
- [5] Puhle, C; 1 *Demonstration of a unified approach to beamforming*. Inter-Noise 2021, Washington
- [6] Heilmann, G; Meyer, A; *Time-domain Beamforming using 3D-microphone arrays*. BeBeC 2008, Berlin

- [7] Vonrhein, B; Doeblner, D; Introduction to a new 3-dimensional method to visualize sound directivity based on a moving microphone array and beamforming. Inter-noise 2020, Seúl.