

## Optimización de cálculo para la medición de la intensidad acústica compleja para dispositivos stand-alone de bajo costo

Carlos Esteban GRAFFIGNA<sup>1</sup> ([cgraffigna@undec.edu.ar](mailto:cgraffigna@undec.edu.ar)); Doménico STANZIAL<sup>2</sup> ([domenico.stanzial@cnr.it](mailto:domenico.stanzial@cnr.it)); José Pablo DOÑA<sup>1</sup> ([ingenierojpdg@gmail.com](mailto:ingenierojpdg@gmail.com)); Emanuel Frati<sup>1</sup> ([fefrati@undec.edu.ar](mailto:fefrati@undec.edu.ar)); Sebastián Guidet<sup>1</sup> ([sguidet@undec.edu.ar](mailto:sguidet@undec.edu.ar))

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chilecito  
9 de julio 22, Chilecito, La Rioja, Argentina

<sup>2</sup>CNR Istituto di Microelettronica e Microsistemi  
Bologna, Italia.

### RESUMEN

En recientes publicaciones presentadas por la Universidad Nacional de Chilecito (UNdeC) en colaboración con el Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) y la Università degli Studi di Ferrara (UNIFE) [Stanzial y Graffigna, 2016, 2017], donde se propone una sólida definición de la intensidad acústica compleja basada en la impedancia acústica, las tres instituciones han sido copropietarias de una patente sobre la metodología para la medición de la intensidad compleja del sonido en 3D en el dominio frecuencial.

Dado que la metodología propuesta implica un cálculo elevado y que se espera ejecutarla en un dispositivo stand-alone de bajo costo, es necesario optimizar los algoritmos de medición para maximizar el uso de los recursos de hardware disponibles.

**Palabras claves:** Cómputo paralelo, Dispositivo de medición, Intensidad sonora.

### CONTEXTO

El proyecto nace a partir de una patente desarrollada durante una beca doctoral cofinanciada entre el Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) de Italia, la Università degli Studi di Ferrara (UNIFE) de Italia y la Universidad Nacional de Chilecito (UNdeC) de Argentina.

Una vez concluido satisfactoriamente el doctorado, se firma un nuevo acuerdo de

colaboración científica entre la UNdeC y el Istituto per la Microelettronica e Microsistemi (IMM) perteneciente al CNR, el cual tiene como objetivo principal promover la investigación científica y tecnológica en el campo de la acústica energética, de sus microsistemas sensores y de sus aplicaciones prácticas ambientales e industriales. Además, prevé la cooperación en actividades de formación de personal con tesis de grado y posgrado, intercambio de docentes e investigadores, elaboración de publicaciones científicas y documentos técnicos, entre otras.

La invención consiste en una metodología para medir la intensidad compleja del sonido en 3D en el dominio frecuencial. Dado que es necesario ejecutar los algoritmos en un dispositivo stand-alone para tomar mediciones en campo, se implementaron los algoritmos en un dispositivo Raspberry Pi 3B+ obteniendo resultados importantes, pero con tiempos de procesamiento lentos.

Dado que la UNdeC está trabajando en un proyecto de tecnología HPC [1] se incluyó el mismo como una línea de investigación para optimizar los algoritmos de medición utilizando procesamiento paralelo para mejorar los tiempos de cálculo en la Transformada Rápida de Fourier y las operaciones matriciales.

### INTRODUCCIÓN

La energética acústica estudia el comportamiento de la energía sonora dentro

de un campo acústico, el cuál es definido a partir de dos variables: presión sonora (escalar) y velocidad de vibración de la partícula acústica (vectorial) [2].

Si bien esta rama de la acústica viene siendo estudiada desde hace ya medio siglo [3,4], en los últimos años ha tenido un gran impulso debido al desarrollo de nuevos sensores y técnicas para la medición de la velocidad de la partícula acústica.

En la actualidad, existen sensores termo-resistivos que permiten la medición directa de la velocidad de la partícula sonora (sonda p-v) y con la evolución de los micrófonos de tecnologías MEMS ha sido posible realizar otras sondas de bajo costo que miden dicha velocidad de manera indirecta a través del gradiente de presión (sonda p-p).

La medición de estas dos variables contemporáneamente permite conocer entre otras cosas el campo de energía total, cinética y potencial, la velocidad de propagación de la energía, la cantidad de energía absorbida y reflejada dentro del sistema acústico, y la intensidad sonora [5].

Respecto a esta última, existe una definición clara sobre la intensidad activa (parte de la intensidad relacionada al flujo efectivo de la energía sonora que viaja en el medio), en cambio, la definición de intensidad reactiva todavía es un problema controversial.

En recientes publicaciones presentadas por la UNdeC en colaboración con el CNR (Italia) [7,8,9], se ha propuesto una sólida definición de la intensidad acústica compleja (activa y reactiva), basada en la impedancia acústica, a partir de la cual la UNdeC es co-propietaria de una patente que describe la metodología para la medición del espectro de la intensidad compleja del sonido en las 3 dimensiones espaciales [9], el tensor de reactividad espectral, el vector de intensidad activa frequency-overall, el módulo de la intensidad aparente frequency-overall, y la reactividad total del sistema.

Si bien los algoritmos de medición han sido satisfactoriamente ejecutados y verificados en ambiente de laboratorio utilizando equipos performantes y software de cálculo numérico especializado, es necesario desarrollar un sistema stand-alone capaz de procesar las señales acústicas en campo.

Como primera aproximación, se elaboró un prototipo para la medición de las variables energéticas utilizando un dispositivo Raspberry Pi3B+ [6]. Los algoritmos fueron traducidos en Python y se desarrolló una interfaz gráfica elemental para operar.

Dado que los recursos de hardware disponible en estos dispositivos son significativamente menores a los utilizados con laboratorio, los tiempos de procesamiento, tanto en el análisis frecuencial como en el cálculo de matrices, son altos en relación a la dinámica de los sistemas acústicos.

Por este motivo, el presente proyecto persigue como objetivo principal optimizar los algoritmos para mejorar los tiempos en la medición de la intensidad compleja del sonido y demás variables energéticas, maximizando el aprovechamiento del hardware disponible a través del uso de la GPU.

## LÍNEAS DE I+D

Para medir la intensidad acústica compleja [7,8] es necesario aplicar transformaciones de Fourier para obtener los espectros frecuenciales, y calcular otras variables físicas de tipo escalar, vectorial y tensorial (matriz) en el dominio de los números complejos [9].

En base a los resultados obtenidos del primer prototipo, se determinó que los procesos con mayor carga computacional se dan en la Transformación de Fourier y en el cálculo matricial para la obtención del tensor de reactividad en el dominio de la frecuencia.

De este análisis se plantean las siguientes líneas de investigación para optimizar el proceso de medición:

### **Análisis FFT en GPU**

Si bien existen distintos trabajos relacionados a la programación utilizando la GPU de los dispositivos de Raspberry y otros donde se utiliza programación paralela para la transformación de Fourier, es difícil encontrar publicaciones que utilicen la GPU de los Raspberry para aplicar la transformación de Fourier utilizando librerías estándar de Python.

Esta línea de investigación propone desarrollar los algoritmos de procesamiento paralelo para procesar la Transformada de Fourier de señales temporales, utilizando la GPU disponible en los dispositivos Raspberry, e integrarla en librerías estándar de Python como `scipy`.

### **Calculo matricial en GPU**

Dado que uno de los cálculos que emplea mayor tiempo en la medición de la intensidad compleja de sonido es el cálculo del tensor de reactividad en el dominio de la frecuencia, se pretende desarrollar un algoritmo paralelo que permita optimizar los tiempos de cálculo utilizando la GPU de los dispositivos Raspberry.

Si bien el cálculo matricial ejecutado por el algoritmo es relativamente simple, el volumen de procesamiento viene dado por la cantidad de matrices que deben ser calculadas. Esto se debe a que se debe computar un tensor de reactividad por cada componente frecuencial.

## **FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS**

Este proyecto surge como resultado de una tesis doctoral en Física con especialización en Acústica, donde el doctorando realizó el primer prototipo funcional utilizando librerías estándares de python [6].

Actualmente está en curso una Tesis de Maestría que pretende cubrir la primera línea de investigación que busca optimizar el cálculo de la Transformada de Fourier paralelizando el algoritmo y ejecutándolo en la GPU de la Raspberry Pi.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] F. E. Frati y otros, "Tecnología HPC como motor de ciencia de la UNdeC", *XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, Chilecito*, 2021.
- [2] Dudley H Towne. *Wave phenomena*. Addison-Wesley, Massachusetts (USA), 1967.
- [3] Frank Fahy. *Sound intensity*. CRC Press, 1989.
- [4] Finn Jacobsen. *Springer Handbook of Acoustics, chapter 25. Sound Intensity, pages 1053–1075*. Springer-Verlag New York, 2014.
- [5] D. Stanzial, Giorgio Sacchi, and Giuliano Schiffrer. "On the physical meaning of the power factor in acoustics". *J. Acoust. Soc. Am.*, 2012.
- [6] C. Graffigna, *Measuring Complex Sound Intensity from Wave Impedance*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Chilecito, La Rioja, Argentina. Universidad de Ferrara. Ferrara Italia, 2019.
- [7] D. Stanzial y C. E. Graffigna. *On the connection between wave impedance, sound intensity and kinetic energy in monochromatic fields*. *Proceedings of Meetings on Acoustics*. Buenos Aires, 2016.
- [8] D. Stanzial y C. E. Graffigna. *On the general connection between wave impedance and complex sound intensity*. *Proceedings of Meetings on Acoustics*. Boston, 2017.
- [9] D. Stanzial y C. E. Graffigna. *Precision device for measuring the three-dimensional spectra of complex intensity*. *Proceedings of Meetings on Acoustics*. Boston, 2017.