

# Resumen

Esta tesis se enmarca en el campo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), especialmente en el área del procesado digital de la señal. En la actualidad, y debido en parte al auge del Internet de los cosas (*Internet of Things*, IoT), existe un creciente interés por las redes de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Networks*, WSN), es decir, redes compuestas de diferentes tipos de dispositivos específicamente distribuidos en una determinada zona para realizar diferentes tareas de procesado de señal. Estos dispositivos, también conocidos como nodos, suelen estar equipados con transductores electroacústicos, como sensores o actuadores, así como con potentes y eficientes procesadores con capacidad de comunicación. En el caso particular de las redes de sensores acústicos (*Acoustic Sensor Networks*, ASN), los nodos se dedican a resolver diferentes tareas de procesado de señales acústicas, como por ejemplo, monitorización de sonido ambiental, audio inmersivo, audífonos binaurales, sistemas de cancelación de ruido o sistemas de teleconferencia, entre otros. Estas aplicaciones de procesado de audio han experimentado un importante desarrollo en los últimos años debido en parte, a los avances realizados en el campo del hardware y software informático. Esto ha llevado al desarrollo de potentes sistemas de procesado centralizado que permiten aumentar el número de canales de audio, ampliar el área de control o implementar algoritmos más complejos, mejorando así la calidad del audio o creando un control independiente sobre varias zonas personales de escucha. En la mayoría de los casos, una topología de ASN distribuida puede ser deseable debido a varios factores tales como el número limitado de canales utilizados por los dispositivos de adquisición y reproducción de audio, la conveniencia de un sistema escalable o las altas exigencias computacionales de los sistemas centralizados. Todos estos aspectos pueden llevar a la utilización de nuevas técnicas de procesado distribuido de señales con el fin de aplicarlas en ASNs. Para ello, una de las principales aportaciones de esta tesis es el desarrollo de algoritmos de filtrado adaptativo para sistemas de audio multicanal en redes distribuidas.

Es importante tener en cuenta que, para aplicaciones de control del campo sonoro (*Sound Field Control*, SFC), como el control activo de ruido (*Active Noise Control*, ANC) o la ecualización activa de ruido (*Active Noise Equalization*, ANE), los nodos

---

acústicos deben estar equipados, no sólo con sensores, sino también con actuadores con el fin de controlar y modificar el campo sonoro. Sin embargo, la mayoría de las propuestas de redes distribuidas adaptativas utilizadas para resolver problemas de control del campo sonoro no tienen en cuenta que los nodos pueden interferir o modificar el comportamiento del resto. Este es un tema importante que se aborda a lo largo de esta tesis. Por lo tanto, otra contribución destacable de esta tesis se centra en el análisis de cómo el sistema acústico afecta el comportamiento de los nodos dentro de una ASN. En los casos en que el entorno acústico afecta negativamente a la estabilidad del sistema, se han propuesto varias estrategias distribuidas para resolver el problema de interferencia acústica con el objetivo de estabilizar los sistemas de ANC. Estas estrategias se basan tanto en métodos colaborativos como no colaborativos. En el diseño de los algoritmos distribuidos también se han tenido en cuenta aspectos de implementación práctica tales como ciertas restricciones en el hardware, la ubicación de los sensores, la velocidad de convergencia, el coste computacional o el coste en las comunicaciones. Además, y con el objetivo de crear perfiles de ecualización diferentes en zonas de escucha independientes en presencia de ruidos multitonales, se han presentado varios algoritmos distribuidos de ANE en banda estrecha y banda ancha sobre una ASN con una comunicación colaborativa y compuesta por nodos acústicos.

Se presentan además resultados experimentales para validar el uso de los algoritmos distribuidos propuestos en el trabajo para aplicaciones prácticas. Para ello, se ha diseñado un software de simulación acústica que permite analizar el rendimiento de los algoritmos desarrollados en la tesis. De esta manera, esta herramienta de simulación permite la transición entre la formulación inicial de cualquier algoritmo y su programación final en cualquier procesador digital de señales o DSP (Digital Signal Processor). Finalmente, se ha evaluado el rendimiento de los algoritmos distribuidos propuestos mediante una implementación práctica que permite ejecutar aplicaciones multicanal de SFC. Para ello, se ha desarrollado un prototipo en tiempo real que controla las aplicaciones de ANC y ANE utilizando nodos acústicos colaborativos. El prototipo consiste en dos sistemas de control de audio personalizado (*Personal Audio Control*, PAC) compuestos por un asiento de coche y un nodo acústico, el cual está equipado con dos altavoces, dos micrófonos y un procesador con capacidad de comunicación entre los dos nodos. De esta manera, es posible crear dos zonas independientes de control de ruido que mejoran el confort acústico del usuario sin necesidad de utilizar auriculares.

**Palabras clave:** control multicanal del campo sonoro, redes distribuidas, redes de sensores acústicos, control adaptativo de ruido, ecualizador adaptativo de ruido, audio personal.