

RESUMEN

El campo de procesado de señales de audio ha experimentado un desarrollo importante en los últimos años. Tanto el mercado de consumo como el profesional siguen mostrando un crecimiento en aplicaciones de audio, tales como: los sistemas de audio inmersivo que ofrecen una experiencia de sonido óptima, los sistemas inteligentes de reducción de ruido en coches o las mejoras en sistemas de teleconferencia o en audífonos. El desarrollo de estas aplicaciones tiene un propósito común de aumentar o mejorar el número de canales de audio, la propia calidad del audio o la sofisticación de los algoritmos. Estas mejoras suelen dar lugar a sistemas de alto coste computacional, incluso usando algoritmos comunes de procesado de señal. Esto se debe principalmente a que los algoritmos se suelen aplicar a sistemas multicanal con requerimientos de procesamiento en tiempo real. El campo de la Computación de Alto Rendimiento basado en elementos *hardware* de bajo coste es el puente necesario entre los problemas de computación y los sistemas multimedia que dan lugar a aplicaciones de usuario. En este sentido, la presente tesis va un paso más allá en el desarrollo de estos sistemas mediante el uso de la potencia de cálculo de las Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU) en aplicaciones de propósito general. Con ello, aprovechamos la inherente capacidad de paralelización que poseen las GPU para procesar señales de audio y obtener aplicaciones de audio multicanal.

El aumento de la capacidad computacional de los dispositivos de procesado ha estado vinculado históricamente al número de transistores que había en un chip. Sin embargo, hoy en día, las mejoras en la capacidad computacional se dan principalmente por el aumento del número de unidades de procesado y su uso para el procesado en paralelo. Las GPU son un ejemplo muy representativo. Hoy en día, las GPU poseen hasta miles de núcleos de computación. Tradicionalmente, las GPU se han utilizado para el procesado de gráficos o imágenes. Sin embargo, la aparición de entornos sencillos de programación GPU, como por ejemplo CUDA, han permitido el uso de las GPU para aplicaciones de procesado general. De ese modo, el uso de las GPU se ha extendido a una amplia variedad de aplicaciones que requieren cálculo intensivo. Entre esta gama de aplicaciones, se incluye el procesado de señales de audio. No obstante, las transferencias de datos entre la CPU y la GPU y viceversa pusieron en duda la viabilidad de las GPU para aplicaciones de audio en las que se requiere una interacción en tiempo real entre micrófonos y altavoces. Este es el caso de las aplicaciones basadas en filtrado adaptativo, donde el uso eficiente de la computación en paralelo no es sencillo. Por estas razones, hasta el comienzo de esta tesis, había muy pocas publicaciones que utilizaran la GPU para implementaciones en tiempo real de aplicaciones acústicas basadas en filtrado adaptativo. A pesar de todo, esta tesis pretende demostrar que las GPU son herramientas totalmente válidas para llevar a cabo aplicaciones de audio basadas en filtrado adaptativo que requieran elevados recursos computacionales. Con este fin, la presente tesis ha estudiado y desarrollado varias aplicaciones adaptativas de procesado de audio utilizando una GPU como procesador. Además, también analiza y resuelve las posibles limitaciones de cada aplicación tanto desde el punto de vista acústico como desde el punto de vista computacional.

La identificación adaptativa de sistemas aplicada a identificar canales acústicos, es una de las aplicaciones de audio basadas en filtrado adaptativo más usadas a la vez que simples. En primer lugar, la aplicación de identificación adaptativa de sistemas se ha diseñado e implementado usando una GPU como procesador. Posteriormente, esta aplicación se ha utilizado en otras aplicaciones para identificar canales acústicos. Concretamente, para la implementación de esta aplicación, se ha usado el algoritmo de mínimos cuadrados o *Least Mean Square* (LMS) implementado en el dominio de la frecuencia. Tanto el tamaño de los filtros adaptativos como el de los vectores de datos de entrada además de cómo se deben gestionar dichos vectores es un aspecto muy importante del proceso de diseño para poder explotar con éxito todos los recursos computacionales que ofrece la GPU. El objetivo ha sido proponer una aplicación GPU que se pueda adaptar fácilmente a cualquier escenario acústico,

mientras que al ejecutarse en la GPU, se liberen los recursos computacionales de la CPU para otras tareas. Con esta aplicación se han sentado las bases de la programación en GPU de aplicaciones de filtrado adaptativo multicanal en tiempo real.

A partir del conocimiento adquirido en la aplicación de identificación de canal, se han desarrollado dos aplicaciones multicanales de audio basadas en el filtrado adaptativo utilizando la GPU como procesador. En primer lugar, se ha desarrollado un sistema multicanal de Ecuilización Adaptativa (AE). El prototipo está basado en el algoritmo LMS con filtrado-x. Se han analizado los detalles de la paralelización del algoritmo y posteriormente, se han validado los resultados experimentales. Además, el rendimiento en tiempo real de la aplicación de AE implementada en la GPU ha sido analizado desde un punto de vista computacional. La segunda aplicación ha sido un sistema de Control Activo de Ruido (CAR) multicanal. El sistema CAR se ha implementado utilizando dos algoritmos diferentes: el LMS y el LMS Normalizadas con Factores de Corrección Ortogonal (NLMS-OCF). Se han presentado los resultados experimentales de ambas implementaciones del sistema CAR para poder comparar sus rendimientos desde diferentes puntos de vista: niveles de atenuación, velocidad de convergencia y aspectos computacionales. Los resultados de ambas aplicaciones, demuestran la utilidad de la GPU para la implementación de aplicaciones basadas en filtrado adaptativo así como el desarrollo de sistemas multicanales versátiles, escalables y de bajo coste.

Por último, este manuscrito también analiza los sistemas CAR para redes de nodos con procesado distribuido. Además, establece las bases para la implementación de dichos sistemas CAR distribuidos utilizando la programación en múltiples GPUs donde cada GPU realiza el procesado de cada nodo de la red.

Palabras Clave: Filtrado Adaptativo Multicanal, Ecuilización Adaptativa, Control Activo de Ruido, Procesado Distribuido, Unidad de Procesamiento Gráfico.