

Título de la tesis: Evaluation of precoding and feedback quantization schemes for multiuser communications systems

Autor: Fernando Domene

Resumen

Los sistemas de comunicaciones con múltiples antenas o sistemas MIMO (*multiple-input multiple-output*) se presentan como una de las tecnologías más prometedoras en el campo de las comunicaciones inalámbricas, ya que permiten aprovechar la dimensión espacial además de las dimensiones de frecuencia y tiempo. De esta forma, se pueden obtener tasas de transmisión más elevadas usando el mismo ancho de banda, que es un recurso escaso, y manteniendo una potencia de transmisión baja, lo cual es crucial para dispositivos alimentados por baterías. Por estas razones, la tecnología MIMO ha sido adoptada en muchos estándares como *Long-Term Evolution* (LTE), *LTE Advanced* y *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX).

Las técnicas MIMO también pueden ser empleadas en un escenario multiusuario, donde varios usuarios comparten la dimensión espacial provocando una interferencia multiusuario. A través de la precodificación y del uso de múltiples antenas en el transmisor, la señal de los diferentes usuarios puede ser multiplexada espacialmente de forma que se mitigue la interferencia multiusuario incluso con usuarios de una sola antena. Estos sistemas, conocidos como sistemas MU-MISO (*multiuser multiple-input single-output*), han atraído mucho la atención en los últimos años ya que permiten el desarrollo de terminales pequeños y baratos, manteniendo así el equipamiento más caro en el transmisor.

Sin embargo, estos beneficios conllevan un sistema más complejo. Por una parte, el multiplexado espacial requiere una carga de procesamiento considerable, que depende del tamaño del sistema: número de antenas transmisoras, número de receptores y ancho de banda. Por otra parte, las técnicas MIMO requieren un conocimiento del canal en transmisión o CSIT (*channel state information at the transmitter*) preciso. En sistemas con duplexación por división en frecuencia o FDD (*frequency-division duplex*), la información de canal o CSI (*channel state information*) debe ser estimada en el receptor y proporcionada al transmisor a través del enlace de realimentación, reduciendo así la eficiencia del sistema. Por lo tanto, esta tesis se centra en la mejora de la eficiencia de las implementaciones de precodificación y en el rendimiento de los esquemas de realimentación de canal en sistemas MU-MISO.

El problema de la precodificación se aborda en primer lugar. Se ha llevado a cabo un análisis de algunas de las técnicas de precodificación más usadas, prestando especial atención a su rendimiento y a su complejidad. Este análisis revela que aquellas técnicas que hacen uso de *lattice reduction* (LR) obtienen un mejor rendimiento. Sin embargo, la complejidad computacional de la técnica LR dificulta su implementación en la práctica. El análisis también revela que las técnicas *zero-forcing* (ZF), Tomlinson-Harashima *precoding* (THP) y LR-THP son las técnicas más adecuadas para cubrir todo el rango de rendimiento y complejidad computacional.

Asimismo, se ha llevado a cabo un análisis de estas técnicas bajo CSIT imperfecto. Dicho análisis ha demostrado que LR es una técnica muy importante también para el caso de CSIT imperfecto.

A continuación, se han presentado implementaciones paralelas de técnicas de precodificación sobre unidades de procesamiento gráfico o GPUs (*graphic processing unit*), comparándose con implementaciones en unidades de procesamiento central o CPU (*central processing unit*). Dado que las implementaciones de THP y LR-THP han demostrado ser las que mejor se adaptan a la arquitectura de la GPU y ya que tienen muchas operaciones comunes, se ha propuesto una implementación sobre GPU de un esquema THP reconfigurable combinado con LR. La reconfigurabilidad de las GPUs permite desactivar la etapa de LR cuando los requisitos de los usuarios están garantizados por el esquema THP, combinando complejidad computacional con rendimiento. Aunque esta implementación consigue una mejora significativa respecto a la implementación sobre CPU, su paralelismo viene limitado por la naturaleza secuencial del problema LR. Por ello, se han propuesto varias estrategias para la paralelización del problema LR que han sido evaluadas en distintas plataformas: CPU multi-núcleo, GPU y plataforma heterogénea que consiste en CPU+GPU. Los resultados revelan que la arquitectura GPU permite reducir considerablemente el tiempo de computación del problema LR, especialmente en la plataforma heterogénea.

La segunda parte de la tesis trata el problema de la realimentación de canal en sistemas FDD. En estos sistemas, los receptores normalmente proporcionan una versión cuantificada del canal a través del canal de realimentación. Con el objetivo de mantener una eficiencia alta, el canal debe ser cuantificado con los mínimos bits posibles. En primer lugar, se explora el uso de la correlación en frecuencia para reducir el volumen de información de realimentación. Se han presentado dos esquemas diferentes basados en cuantificación vectorial o VQ (*vector quantization*) y en la transformación Karhunen-Loève, respectivamente, y se han comparado con esquemas existentes en términos de rendimiento y complejidad computacional. Los resultados muestran que ambas técnicas son capaces de reducir significativamente el volumen de información de realimentación aprovechando la correlación en frecuencia.

Finalmente, la correlación espacial también se aprovecha para reducir la información de realimentación. Se ha presentado una caracterización espacial estadística del modelo de canal SCM (*spatial channel model*) del 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) para un entorno de alta correlación. Basado en esta caracterización, se propone un esquema de cuantificación de canal para entornos de alta correlación. Con el objetivo de obtener una caracterización para alta y baja correlación, se considera un modelo de correlación más sencillo como el modelo de Kronecker. Basado en esta caracterización, se proponen dos esquemas de cuantificación y se evalúan con un modelo de canal realista como el SCM. Los resultados muestran que ambos esquemas son capaces de reducir la información de realimentación en ambientes con correlación alta y moderada.

Palabras clave: comunicaciones inalámbricas, comunicaciones móviles, MIMO, *precoding*, GPU, *limited feedback*, cuantificación de canal