

Títol de la tesi: Evaluation of precoding and feedback quantization schemes for multiuser communications systems

Autor: Fernando Domene

Resum

Els sistemes de comunicacions amb múltiples antenes o sistemes MIMO (*múltiple-input multiple-output*) es presenten com una de les tecnologies més prometedores en el camp de les comunicacions sense fils, ja que permeten aprofitar la dimensió espacial a més de les dimensions de freqüència i temps. D'aquesta manera, es poden obtenir taxes de transmissió més elevades utilitzant el mateix ample de banda, que és un recurs escàs, i mantenint una potència de transmissió baixa, la qual cosa és crucial per a dispositius alimentats per bateries. Per aquestes raons, la tecnologia MIMO ha estat adoptada en molts estàndards com *Long-Term Evolution* (LTE), *LTE Advanced* i *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX).

Les tècniques MIMO també es poden emprar en un escenari multiusuari, on diversos usuaris comparteixen la dimensió espacial provocant una interferència multiusuari. Mitjançant la precodificació i l'ús de múltiples antenes al transmissor, el senyal dels diferents usuaris pot ser multiplexat espacialment de manera que es mitigue la interferència multiusuari fins i tot amb usuaris d'una sola antena. Aquests sistemes, coneguts com a sistemes MU-MISO (*multiuser multiple-input single-output*), han atret molt l'atenció en els últims anys ja que permeten el desenvolupament de terminals petits i barats, mantenint així l'equipament més car en el transmissor.

No obstant això, aquests beneficis comporten un sistema més complex. D'una banda, el multiplexat espacial requereix una càrrega de processament considerable, que depèn de la grandària del sistema: nombre d'antenes transmissores, nombre de receptors i ample de banda. D'altra banda, les tècniques MIMO requereixen un coneixement del canal en transmissió o CSIT (*channel state information at the transmitter*) precís. En sistemes amb duplexació per divisió en freqüència o FDD (*frequency-division duplex*), la informació de canal o CSI (*channel state information*) ha de ser estimada en el receptor i proporcionada al transmissor a través de l'enllaç de realimentació, reduint així l'eficiència del sistema. Per tant, aquesta tesi se centra en la millora de l'eficiència de les implementacions de precodificació i en el rendiment dels esquemes de realimentació de canal en sistemes MU-MISO.

El problema de la precodificació s'aborda en primer lloc. S'ha dut a terme una anàlisi d'algunes de les tècniques de precodificació més usades, prestant especial atenció al seu rendiment i a la seua complexitat. Aquesta anàlisi revela que aquelles tècniques que fan ús de *lattice reduction* (LR) obtenen un millor rendiment. No obstant això, la complexitat computacional de la tècnica LR dificulta la seua implementació en la pràctica. L'anàlisi també revela que les tècniques *zero-forcing* (ZF), *Tomlinson-Harashima precoding* (THP) i LR-THP són les tècniques més adequades per cobrir tot el rang de rendiment i complexitat computacional. Així mateix, s'ha dut a terme una anàlisi d'aquestes tècniques sota CSIT imperfecte. Aquesta anàlisi ha demostrat que LR és una tècnica molt important també per al cas de CSIT imperfecte.

A continuació, s'han presentat implementacions paral·leles de tècniques de precodificació sobre unitats de processament gràfic o GPUs (*graphic processing unit*), comparant-se amb implementacions en unitats de processament central o CPU (*central processing unit*). Atès que

les implementacions de THP i LR-THP han demostrat ser les que millor s'adapten a l'arquitectura de la GPU i ja que tenen moltes operacions comunes, s'ha proposat una implementació sobre GPU d'un esquema THP reconfigurable combinat amb LR. La reconfigurabilitat de les GPUs permet desactivar l'etapa de LR quan els requisits dels usuaris estan garantits per l'esquema THP, combinant complexitat computacional amb rendiment. Encara que aquesta implementació aconsegueix una millora significativa respecte a la implementació sobre CPU, el seu paral·lisme ve limitat per la naturalesa seqüencial del problema LR. Per això, s'han proposat diverses estratègies per a la paral·lelització del problema LR que han estat avaluades en diferents plataformes: CPU multi-nucli, GPU i plataforma heterogènia que consisteix en CPU+GPU. Els resultats revelen que l'arquitectura GPU permet reduir considerablement el temps de computació del problema LR, especialment a la plataforma heterogènia.

La segona part de la tesi tracta el problema de la realimentació de canal en sistemes FDD. En aquests sistemes, els receptors normalment proporcionen una versió quantificada del canal a través del canal de realimentació. Amb l'objectiu de mantenir una eficiència alta, el canal ha de ser quantificat amb els mínims bits possibles. En primer lloc, s'explora l'ús de la correlació en freqüència per reduir el volum d'informació de realimentació. S'han presentat dos esquemes diferents basats en quantificació vectorial o VQ (*vector quantization*) i en la transformació Karhunen-Loève, respectivament, i s'han comparat amb esquemes existents en termes de rendiment i complexitat computacional. Els resultats mostren que amb dues tècniques són capaços de reduir significativament el volum d'informació de realimentació aprofitant la correlació en freqüència.

Finalment, la correlació espacial també s'aprofita per reduir la informació de realimentació. S'ha presentat una caracterització espacial estadística del model de canal SCM (*spatial channel model*) del 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) per a un entorn d'alta correlació. Basat en aquesta caracterització, es proposa un esquema de quantificació de canal per a entorns d'alta correlació. Amb l'objectiu d'obtenir una caracterització per a alta i baixa correlació, es considera un model de correlació més senzill com el model de Kronecker. Basat en aquesta caracterització, es proposen dos esquemes de quantificació i s'avaluen amb un model de canal realista com el SCM. Els resultats mostren que els dos esquemes són capaços de reduir la informació de realimentació en ambients amb correlació alta i moderada.