

# Resumen

La tecnología de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) en redes de Televisión Digital Terrestre (TDT) tiene el potencial de incrementar la eficiencia espectral y mejorar la cobertura de red para afrontar las demandas de uso del escaso espectro electromagnético (e.g., designación del dividendo digital y la demanda de espectro por parte de las redes de comunicaciones móviles), la aparición de nuevos contenidos de alta tasa de datos (e.g., ultra-high definition TV - UHD TV) y la ubicuidad del contenido (e.g., fijo, portable y móvil). Es ampliamente reconocido que MIMO puede proporcionar múltiples beneficios como: potencia recibida adicional gracias a las ganancias de array, mayor robustez contra desvanecimientos de la señal gracias a la diversidad espacial y mayores tasas de transmisión gracias a la ganancia por multiplexado del canal MIMO. Estos beneficios se pueden conseguir sin incrementar la potencia transmitida ni el ancho de banda, pero normalmente se obtienen a expensas de una mayor complejidad del sistema tanto en el transmisor como en el receptor. Las ganancias de rendimiento finales debido al uso de MIMO dependen directamente de las características físicas del entorno de propagación como: la correlación entre los canales espaciales, la orientación de las antenas y/o los desbalances de potencia sufridos en las antenas transmisoras. Adicionalmente, debido a restricciones en la complejidad y aritmética de precisión finita en los receptores, es fundamental para el rendimiento global del sistema un diseño cuidadoso de algoritmos específicos de procesamiento de señal.

Esta tesis doctoral se centra en el procesamiento de señal, tanto en el transmisor como en el receptor, para sistemas TDT que implementan MIMO-BICM (Bit-Interleaved Coded Modulation) sin canal de retorno hacia el transmisor desde los receptores. En el transmisor esta tesis presenta investigaciones en precoding MIMO en sistemas TDT para superar las degradaciones del sistema debidas a diferentes condiciones del canal. En el receptor se presta especial atención al diseño y evaluación de receptores prácticos MIMO-BICM basados en información cuantificada y a su impacto tanto en la memoria del chip como en el rendimiento del sistema. Estas investigaciones se llevan a cabo en el contexto de estandarización de DVB-NGH (Digital Video Broadcasting - Next

## RESUMEN

---

Generation Handheld), la evolución portátil de DVB-T2 (Second Generation Terrestrial), y ATSC 3.0 (Advanced Television Systems Committee - Third Generation) que incorporan MIMO-BICM como clave tecnológica para superar el límite de Shannon para comunicaciones con una única antena. No obstante, esta tesis doctoral emplea un método genérico tanto para el diseño, análisis y evaluación, por lo que los resultados e ideas pueden ser aplicados a otros sistemas de comunicación inalámbricos que empleen MIMO-BICM.

La primera parte de la tesis analiza el rendimiento y la estructura de los precoders MIMO basados en matrices de rotación para MIMO  $2 \times 2$  y se centra en el caso de antenas cospolarizadas que es la configuración preferida de los sistemas TDT en la banda UHF. El análisis y la evaluación con los límites de teoría de la información de los sistemas BICM y las simulaciones de *bit-error-rate* (BER) incluyendo codificación de canal, demuestran que el rendimiento del precoder depende del *code-rate* seleccionado. Mientras que la rotación puede proporcionar mejoras significativas con el uso de code-rates altos, la mejora de rendimiento se reduce utilizando code-rates bajos. Además, se propone un precoder de canal que explota la información estadística del canal MIMO. El rendimiento del precoder de canal se evalúa en una amplia variedad de escenarios de canal y en condiciones de *mismatch* (i.e., difieren los estadísticos usados por el precoder y los estadísticos del canal), una situación típica en los sistemas de difusión. Los resultados de capacidad demuestran mejoras de rendimiento en casos de una fuerte componente de visión directa con el transmisor junto a canales espaciales correlados, y robustez en condiciones de mismatch. Finalmente, se comparan el rendimiento mediante resultados de simulación de BER de sistemas de una antena,  $2 \times 2$  y  $4 \times 2$  MIMO y el precoder de canal MIMO.

La segunda parte de la tesis investiga los trade-off entre la memoria y el rendimiento de receptores MIMO con información soft cuantificada. Los sistemas TDT utilizan técnicas de entrelazado temporal para superar las fluctuaciones de la señal y mejorar el rendimiento del sistema. Sin embargo, el entrelazado temporal impone los requisitos más altos de memoria de chip que dependen de la resolución de cuantificación y de los algoritmos en los receptores. Debido a que la memoria de chip conlleva una gran parte del área del chip, es deseable tener representaciones de palabra reducidas con una pérdida de rendimiento limitada. Dos tipos de receptores cuantificados son investigados: cuantificación de muestras In-phase y Quadrature (I&Q) y de log-likelihood ratios. Las implicaciones en la memoria de chip y la posibilidad de implementar MIMO-BICM con decodificación iterativa se presentan y discuten. El rendimiento de cuantificación uniforme y no-uniforme es evaluado demostrando beneficios potenciales para cuantificación no-uniforme adaptada a los estadísticos de la señal. Los resultados obtenidos en este capítulo mejoran el conocimiento sobre el importante trade-off entre memoria de chip y el rendimiento para arquitecturas de recepción con información cuantificada.