

Resumen

A partir del año 2020 se prevé que un nuevo paradigma de comunicación surja en la sociedad, debido a la aparición de nuevos servicios de banda ancha y la nueva era del Internet de las cosas. El conjunto de requisitos impuesto por estas nuevas aplicaciones es muy amplio y diverso, y tiene como principal objetivo proporcionar conectividad de banda ancha y universal. En las últimas décadas, la comunidad científica ha estado trabajando en la definición de la Quinta Generación de redes móviles o 5G, que brindará los mecanismos necesarios para garantizar estos exigentes requisitos. En este marco, se han identificado tres mecanismos clave en las redes 5G para conseguir el necesario incremento de capacidad: el aumento de la eficiencia espectral a través de, por ejemplo, el uso de tecnologías MIMO masivas, la utilización de mayores porciones del espectro en frecuencia y la densificación de la red mediante el despliegue de más estaciones base por área.

Esta Tesis doctoral aborda la densificación como el principal mecanismo que permitirá la futura conectividad de banda ancha y universal requerida en la 5G. Con este objetivo, esta Tesis se centra en el estudio de las Redes Ultra Densas o UDNs. En concreto, se analiza el conjunto de tecnologías habilitantes que pueden llevar a las UDNs a obtener su máxima eficiencia así como sus máximas prestaciones, incluyendo el uso de altas frecuencias para el aprovechamiento de mayores anchos de banda, la utilización de MIMO masivo con sistemas de antenas distribuidas y el uso de técnicas de reparto de recursos distribuidas para la coordinación de la interferencia entre celdas.

En primer lugar, esta Tesis analiza si existe un límite fundamental en la mejora de las prestaciones en relación a la densificación en las redes celulares, o si por el contrario, la densificación brinda ganancias en las prestaciones de la red de manera indefinida. Con este fin, las prestaciones de las UDNs se evalúan utilizando un modelo analítico que consiste en un despliegue de red unidimensional con estaciones base equiespaciadas, en el que la distancia entre estaciones base se disminuye hasta alcanzar el límite de densificación cuando ésta se aproxima a 0. Las tasas alcanzables en redes con distintas distancias

RESUMEN

entre estaciones base son analizadas, considerando distintos niveles de potencia disponible en la red y varios grados de cooperación entre celdas.

Además, el comportamiento de las UDNs se estudia junto al uso masivo de antenas y la utilización de anchos de banda mayores. Más concretamente, las prestaciones de ciertas técnicas híbridas MIMO de precodificación y conformación de haces se examinan tanto en escenarios de exteriores como de interiores, considerando múltiples celdas y usuarios y trabajando en la banda de frecuencias milimétricas. Por una parte, los esquemas de conformación de haces aplicados en estaciones base con arquitectura híbrida se analizan en función de la disponibilidad limitada de cadenas de radiofrecuencia, identificando los puntos fuertes y débiles de estos esquemas en un escenario urbano denso. Por otra parte, se evalúan las prestaciones de ciertos esquemas de precodificación híbrida en escenarios de interiores, utilizando distintas estrategias de despliegue de red y centrandó la atención en los sistemas de antenas distribuidos o DAS. Además, se propone un algoritmo de precodificación híbrida distribuido para su aplicación en DAS, y se evalúan y comparan sus prestaciones con las de los algoritmos de precodificación híbrida utilizados en los otros despliegues. Por último, se investiga el impacto de algunas limitaciones prácticas y ciertas deficiencias introducidas por el uso de dispositivos no ideales en las prestaciones de todos los esquemas anteriores, tanto para escenarios de exteriores como de interiores.

Finalmente, el estudio de las UDNs se completa con el análisis de su principal limitación, que es el nivel creciente de la interferencia entre las celdas de la red. Para tratar este problema, se propone un algoritmo de control de interferencias basado en la partición de recursos, el cual utiliza un patrón de reuso en tiempo y frecuencia que coordina las decisiones de asignación de recursos en grupos de celdas. Las prestaciones del algoritmo propuesto son evaluadas y comparadas con las de otras técnicas de asignación de recursos.

Completado el estudio presentado en esta Tesis, se puede afirmar que las UDNs tienen un gran potencial para la consecución de los ambiciosos requisitos planteados para la futura 5G. Sin embargo, sin el uso conjunto de mayores porciones del espectro, adecuadas técnicas de control de la interferencia y el uso masivo de antenas, las UDNs pueden convertirse en serios obstáculos para los operadores móviles. Los resultados derivados de la evaluación de prestaciones de estas tecnologías confirman el gran aumento de la capacidad de las redes obtenido mediante el uso masivo de antenas y la introducción de mecanismos de coordinación de interferencias que, además, proporcionan un ahorro de energía en las UDNs.