

Sistemas de Comunicaciones MIMO: Una Simulación con Trazado de Rayos en 3D

Cristian Hinestroza Eugenio, Sebastian Camilo Pineda, Yeison Camilo Herrera y Eduardo Rodríguez Araque
Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Telemática, Fundación Universitaria Cafam, Bogotá, Colombia
cristian.hinestroza@unicafam.net.co, sebastian.pineda@unicafam.net.co, yeison.herrera@unicafam.net.co,
eduardo.rodriguez@unicafam.net.co

Resumen— En este trabajo se presenta una evaluación de desempeño de un Sistema de Comunicaciones con Arreglos de Antenas MIMO en escenarios reales de propagación. Con la aplicación de un software de simulación de campos electromagnéticos con técnicas de trazado de rayos en tres dimensiones se elaboraron estructuras en tres dimensiones de los lugares bajo prueba y se configuraron los arreglos de antenas, así como su ubicación dentro de los escenarios de propagación. Se desarrollaron un conjunto de simulaciones para generar las matrices de transferencia del canal MIMO las cuales fueron utilizadas para calcular la capacidad y la correlación espacial como métricas de desempeño del sistema MIMO. Los resultados nos mostraron cómo sin necesidad de aumentar la potencia de transmisión es posible aumentar la transmisión de datos, a su vez la correlación espacial nos muestra cómo los ambientes de propagación pueden afectar en gran medida el rendimiento del sistema, y el aumento del espaciado de las antenas de los arreglos en recepción mejoran la transmisión de datos.

Palabras Clave— Sistemas MIMO, trazado de rayos, capacidad, correlación, desempeño.

Keywords— proporcionar las palabras clave en idioma inglés.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones móviles inalámbricas actuales y futuros deben y deberán estar en capacidad de operar con altas tasas de transmisión de datos y gran confiabilidad, esto con el fin de suplir la demanda de nuevos y mejores servicios y aplicaciones multimedia. Para ello, el uso de tecnologías de arreglos de antenas MIMO se presenta como una de las formas más efectivas para lograrlo sin aumentar drásticamente el consumo de potencia y optimizando el ancho de banda.

Para realizar un estudio enfocado en la evaluación de desempeño de arreglos de antenas MIMO, es fundamental analizar el arreglo MIMO en diferentes ambientes de operación (microcelda, ambientes de oficinas, entre otros). Para ello, se analizaron modelos de canal utilizando técnicas de trazado de rayos, como en [1], otros utilizando técnicas numéricas como en [2] que modela el canal a través del método de los momentos, y como en [3] que utiliza FDTD. Otro enfoque ampliamente utilizado es el analítico, a través de la aplicación de clústeres como en [4,5], y los basados en la correlación utilizados en [6,7] que describen el comportamiento del canal multitrayecto (multipath) en

ambientes ricos en scattering. Otro intento por modelar el canal MIMO es el estadístico, en el cual se utilizan funciones de distribución estadísticas ampliamente aplicadas para estudios de canal como en [8,9].

En este trabajo se utilizó un modelo muy realista de propagación que aplica técnicas de trazado de rayos en tres dimensiones y técnicas numéricas de alta frecuencia (UTD/GO) como el mostrado en [1]. Este modelo permite construir el escenario de propagación a través de estructuras geométricas en tres dimensiones (3D), incluyendo los parámetros electromagnéticos de los materiales de construcción, generando ambientes muy realistas. Para el desempeño, evaluamos la capacidad del canal MIMO, utilizando la matriz del canal, extraída de simulaciones. Otra métrica utilizada fue la correlación espacial; esta métrica es fundamental para analizar el desempeño en función de las características de scattering del canal como se referencia en [10].

Este trabajo se centra en evaluar el desempeño de los arreglos de antenas MIMO en diferentes ambientes de propagación de la Fundación Universitaria Cafam (Bogotá), en zonas exteriores. Para esta evaluación cuantificamos el desempeño a partir de métricas como la capacidad media (bit/s/Hz) y la correlación espacial.

II. METODOLOGIA

Para la evaluación de desempeño de sistemas MIMO en escenarios de propagación específicos se utilizó un software de propagación de ondas electromagnéticas [11] que permite obtener un conjunto de parámetros a fin de obtener la matriz del canal MIMO, estos parámetros fueron: la potencia, el campo electromagnético, la respuesta al impulso y trayectos de propagación.

Utilizando el software se construyeron los planos en 3D de escenarios exteriores, se identificaron las posiciones de los arreglos de antenas en transmisión y recepción (ver las Fig. 1 a 3), se definieron las trayectorias locales de los arreglos, esto último para generar 67 muestras por cada enlace, es decir este número de muestras para en enlace Tx.-Rx1. (transmisor – Receptor #1), Tx.-Rx2. (transmisor – Receptor #2) y Tx.-Rx3. (transmisor – Receptor #3), para posterior cálculo de las matrices del canal (ver Fig. 4). Las

antenas utilizadas fueron dipolos $\lambda/2$, la potencia transmitida se fijó en 20 dBm, y la frecuencia en 5.3 GHz.

Por último, los datos generados por el software fueron procesados con herramientas de análisis de datos obteniendo las matrices del canal MIMO, para luego calcular las métricas de capacidad y correlación espacial.

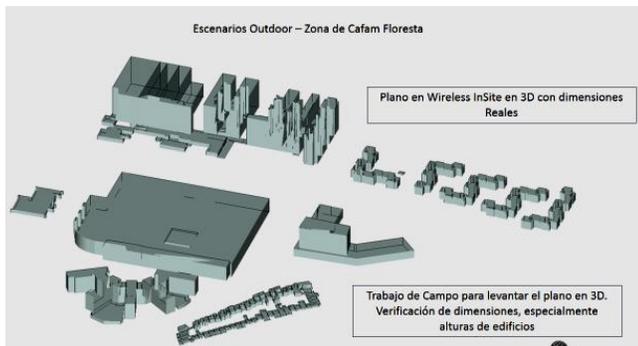


Fig. 1 Escenario de Propagación en 3D de Cafam Floresta (Bogotá) y sus alrededores. Construido en Wireless Insite de Remcom Inc.

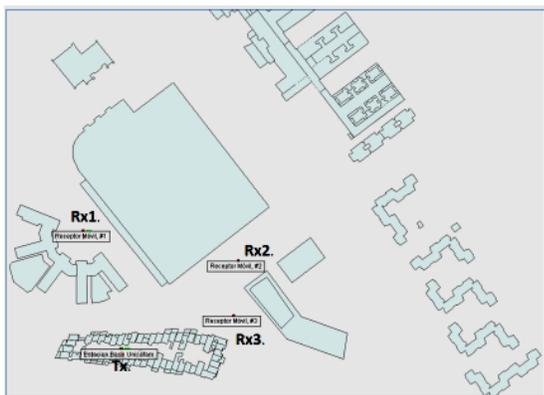


Fig. 2 Ubicación de los arreglos de antenas en Transmisión (Tx.) y en recepción (Rx1., Rx2. y Rx3.) en el escenario de Propagación, vista en 2 dimensiones.

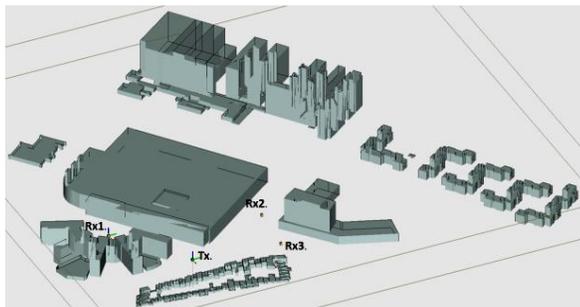


Fig. 3 Ubicación de arreglos MIMO (Transmisor y receptores) en el escenario de Propagación, vista en 3 dimensiones.

III. RESULTADOS

En primer lugar se observa en la Fig. 5 un escenario con los componentes multitrayecto (multipath) generados por el sistema MIMO en el ambiente exterior. Allí se observa como

las ondas electromagnéticas simuladas como rayos llegan en diferentes direcciones y con diferentes valores de potencia (indicadas por colores en los rayos). Es importante indicar que la simulación con trazado de rayos es una aproximación de campo lejano (ondas planas) y no existe un análisis de campo cercano que logre simular el acoplamiento mutuo entre las antenas de los arreglos MIMO.

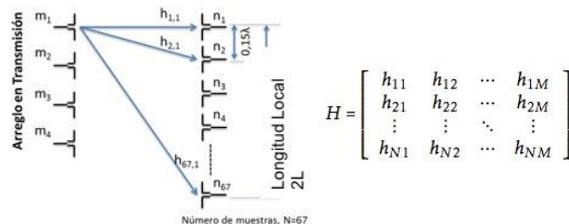


Fig. 4 Método de Obtención de las 67 matrices del Canal MIMO con base en un arreglo transmisor de 4 antenas y un arreglo en recepción de 67 antenas. Cada coeficiente de la matriz (h_{nm}) representa la potencia recibida generada por el enlace entre el transmisor m (1, 2, 3 o 4) y el receptor n (1, 2, ..., 67)

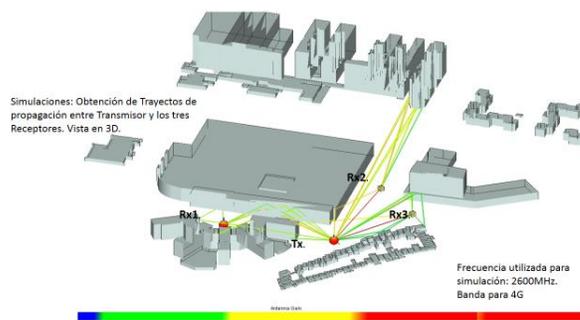


Fig. 5 Componentes Multipath generados en una Simulación con el Software de análisis de Propagación en 3D.

Otra conjunto de resultados son los de capacidad y correlación. En la figura 6 se muestra la capacidad con diferentes sistemas MIMO (número de antenas en transmisión y recepción), es importante indicar como en la medida que aumentamos el número de antenas la capacidad de transmisión de datos se incrementa sustancialmente. Esto último, muestra que los sistemas de arreglos MIMO logran aumentar las velocidades de transmisión sin la necesidad de aumentar la potencia de transmisión.

La Fig. 6 muestra dos configuraciones de arreglos MIMO. En la curva superior de la Fig. 6 presenta una configuración en paralelo, donde los arreglos en transmisión y recepción están enfrentados en paralelo, y en la curva inferior el arreglo transmisor esta perpendicular al arreglo en recepción, esta última configuración muestra un mejor desempeño debido a que la interacción de esta configuración con el medio de propagación mejora la distribución espacial de los multipath que arriban a cada antena del arreglo en recepción.

La figura 7 muestra la correlación espacial del canal MIMO. Esta métrica de desempeño/rendimiento es un muy buen indicador de la cantidad de subcanales independientes que puede llegar a establecerse en un canal MIMO, esta es la

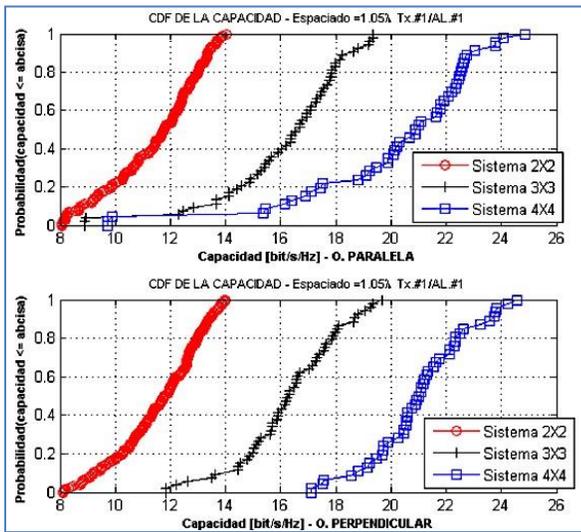


Fig. 6 Función de Densidad acumulada (CDF) de la capacidad del Canal MIMO tomando el enlace Tx.-Rx.1.

esencia de los sistemas MIMO, la de generación de canales poco correlacionados e independientes por donde enviar o transmitir información.

Es importante decir que la correlación del canal depende de la distribución multipath (rayos) ligado a la cantidad y configuración de las estructuras físicas que están rodeando a los arreglos de antenas, es decir a más estructuras físicas mejor será la distribución multipath del canal, se reduce la correlación espacial, y por ende un mejor desempeño del sistema MIMO, aumentando la capacidad del sistema de comunicaciones inalámbrico.

La Fig. 7, nos muestra como en la medida que aumentemos el espaciado de las antenas de los arreglos en recepción la correlación disminuye drásticamente (ver coeficientes #1 y #2), esto contribuye con el aumento de subcanales poco correlacionados. Al aumentar el espaciado entre las antenas en recepción las señales que arriban a cada antena están poco correlacionadas entre sí, este comportamiento garantiza el mejor desempeño del sistema.

IV. CONCLUSIONES

En los nuevos escenarios de comunicaciones que hoy en día se nos presentan, la necesidad de estudiar sistemas de telecomunicaciones que nos permitan aumentar las velocidades de transmisión de datos, así como el de mantener una comunicación de calidad es de suma importancia. En este trabajo no solo se muestra la pertinencia del estudio, se resalta en la aplicación de software de simulación de propagación que lleva el análisis de canales a un espacio más real que el encontrado en un amplio espectro de estudios en el tema, haciéndolo muy novedoso en su campo. El desempeño de estos sistemas para los sistemas de comunicaciones de última generación depende en gran medida de la conformación geométrica/física del ambiente de propagación la cual afecta directamente la distribución espacial de los componentes

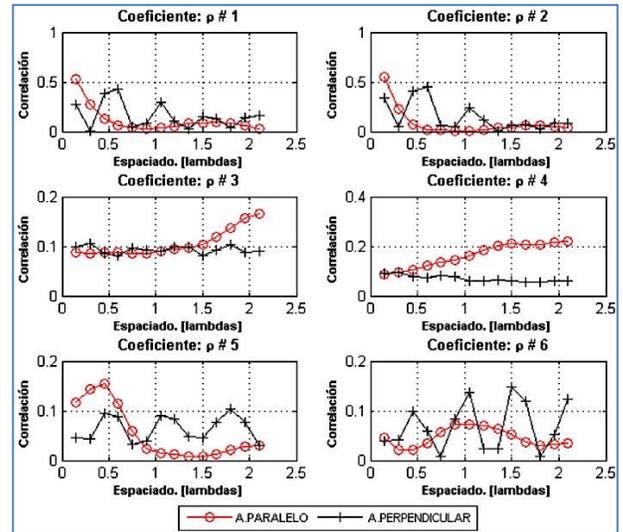


Fig. 7 Correlación espacial (coeficientes) para el canal MIMO tomando el enlace Tx.-Rx.1

multipath en cada enlace de comunicación, esto permite que la correlación espacial pueda reducir sus valores (menores a 0.5) aumentando subcanales poco correlacionados y por ende aumentando la capacidad del sistema MIMO. Es posible aumentar los valores de capacidad para sistemas de comunicaciones de 5G para lo cual es necesario trabajar en sistemas MIMO masivo, antenas adaptativas y retos en el manejo del radio espectro.

REFERENCIAS

- [1] Loredó S, Rodríguez-Alonso, A. and Torres R.P. (2008). Indoor mimo channel modeling by rigorous go/utd-based ray tracing. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 57(2), 680–692.
- [2] Ali, S., Kohandani, F. and Geyi, W. (2007). Analysis of a mimo outdoor channel with hybrid em-based modeling. *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, 6, 506–509, 2007.
- [3] Peng Yang, X., Chen, Q. and Sawaya, K. (2014). Effect of antenna locations on indoor mimo system. *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, 6, 165–167.
- [4] Mammassis, K., Stewart, R.W. and Thompson, J.S. (2009). Spatial fading correlation model using mixtures of von mises fisher distributions. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 8(4), 2046–2055.
- [5] Forenza, A., Love, D.J. and Heath, R.W. (2007). Simplified spatial correlation models for clustered mimo channels with different array configurations. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 56(4), 1924–1934.
- [6] Hong, X., Wang, C.X., Allen, B. and Malik, W.Q. (2007). Correlation-based double-directional stochastic channel model for multiple-antenna ultra-wideband systems. *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, 1(6), 1182–1191.
- [7] Kafle, P.L., Sesay, A.B. and McRory, J. (2007). Capacity of mimo-ofdm systems in spatially correlated indoor fading channels. *Communications, IET*, 1(3), 514–519.
- [8] Matthaiou, M., Laurenson, D.I. and Thompson, J.S. (2008). A mimo channel model based on the nakagami-faded spatial eigenmodes. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 56(5), 1494–1497.
- [9] Holter, B. and Oien, G. E. (2007). Impact of spatial correlation on adaptive coded modulation performance in Rayleigh fading. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 56(3), 1176–1186.
- [10] Rodríguez, E and Sanchez, H. D. (2010). Analysis of MIMO Technics and Adaptive Antennas and Its Performance in 3G-LTE Systems. *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA)*, 277-282. doi: 10.1109/CERMA.2010.39.
- [11] "Wireless InSite," in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 46, no. 5, pp. 188-188, Oct. 2004.