

MIMOGIS: Herramienta SIG para el análisis de radiocanales MIMO

R. Ibernón Fernández, J. M. Molina García-Pardo, J. V. Rodríguez Rodríguez, D. Pardo Quiles y L. Juan Llácer

Grupo de Investigación SiCoMo

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Universidad Politécnica de Cartagena
Campus Muralla de Mar. Antiguo Cuartel de Antiguones

30202 Cartagena

Teléfono: 968 325954 Fax: 968 325973

E-mail: ruben.ibernon@upct.es, josemaria.molina@upct.es, jvictor.rodriguez@upct.es, leandro.juan@upct.es

Resumen. En este artículo se presenta la aplicación MIMOGIS, basada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), cuyo fin es facilitar la simulación de canales MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). MIMOGIS es capaz de estimar la capacidad máxima teórica MIMO en entornos de propagación microcelulares e indoor. El modelo de propagación para estimar la función de transferencia del canal está basado en Óptica Geométrica (OG) y en la Teoría Uniforme de la Difracción (UTD). MIMOGIS permite el uso de cualquier tipo de configuración de arrays de antenas, tanto en transmisión como en recepción, ya que el usuario es capaz de introducir las coordenadas en 3 dimensiones (3D) de cada uno de los elementos que forman ambos arrays.

1 Introducción

Dada la necesidad actual de disponer ya en la interfaz radio de una alta velocidad de transmisión de datos en las comunicaciones inalámbricas, los sistemas MIMO han tenido un gran impulso en los últimos años. Estos sistemas son capaces de aumentar la eficiencia espectral (bit/s/Hz) mediante el uso de múltiples antenas a ambos lados del bucle radio [1-2].

En los sistemas MIMO el entorno de propagación juega un papel crucial en el aumento de la capacidad, ya que éste va asociado a una baja correlación entre los elementos de los arrays de transmisión y recepción. Por tanto, los entornos con mayor capacidad (bit/s/Hz) son aquellos con una alta dispersión espacial de la señal. Debido a esto, es necesario el análisis del aumento de la capacidad en diferentes entornos con el fin de observar en qué entornos estos sistemas consiguen un mayor rendimiento.

Los cálculos para la simulación del canal se pueden simplificar haciendo uso de la Óptica Geométrica (OG) y de la Teoría Uniforme de la Difracción (UTD) [3]. La herramienta que se presenta (MIMOGIS) se encarga de simular la propagación en un escenario dado por medio de una aplicación de trazado de rayos, basada en OG y UTD, con el fin de obtener la capacidad (bit/s/Hz) en un entorno dado.

2 Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se puede contemplar como un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto (definido por unas coordenadas) tiene la misma localización en todos los mapas incluidos en el sistema de información. La información se encuentra

georreferenciada. De este modo, es posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas.

En un SIG hay dos métodos para almacenar información espacial: *raster* y vectorial. En el almacenamiento *raster* se utiliza una matriz de celdas y en el vectorial los elementos geográficos se almacenan mediante un conjunto ordenado de coordenadas de un sistema de referencia conocido. En cualquiera de los dos tipos la información se encuentra georreferenciada, es decir, las coordenadas de todos los elementos gráficos son conocidas en un sistema de referencia conocido (generalmente cartesiano).

3 Modelo de Propagación

El modelo de propagación que se ha programado para analizar el canal radio MIMO se basa en el trazado de rayos (UTD y GO). Éste es un método determinista para el cálculo radioeléctrico que nos permite obtener información acerca de los rayos que impactan en el receptor, ángulos y tiempos de llegada de cada uno de éstos, obteniendo así la matriz de transferencia ($\mathbf{G}_{N \times M}$) entre el transmisor (M antenas) y el receptor (N antenas). En cada receptor se calcula el coeficiente $G(n,m)$ como la suma coherente de todas las contribuciones tenidas en cuenta (Rayo directo (E_1), reflejado múltiples veces (E_2), difractados (E_3) y combinaciones difractados/reflejados (E_4)) donde n representa al receptor que estamos teniendo en cuenta y m a la antena que está transmitiendo en ese momento (modelo de banda estrecha):

$$G(n,m) = E_1(n,m) + E_2(n,m) + E_3(n,m) + E_4(n,m) \quad (1)$$

Donde:

$$E_1(n,m) = \frac{E_o}{r(n,m)} e^{-jkr(n,m)} \quad (2)$$

$$E_2(n, m) = \sum_i R_i \frac{E_0}{r_i} e^{-jkr_i} \quad (3)$$

$$E_3(n, m) = \sum_i \frac{E_0}{s_i'} e^{-jks_i'} D_i \sqrt{\frac{s_i'}{s_i(s_i + s_i')}} e^{-jks_i} \quad (4)$$

$$E_4(n, m) = \sum_i \frac{E_0}{s_i'} e^{-jks_i'} D_i R_i \sqrt{\frac{s_i'}{s_i(s_i + s_i')}} e^{-jks_i} \quad (5)$$

Este modelo puede ampliarse a banda ancha simplemente teniendo en cuenta los diferentes tiempos de llegada de cada contribución, en vez de hacer la suma coherente de los campos electromagnéticos.

4 Cálculo de la Capacidad

En un sistema MIMO de banda estrecha formado por M antenas transmisoras y N receptoras la capacidad máxima teórica que se puede alcanzar en el caso de que la potencia con la que se transmite es igual en todas las antenas que forman el array y la relación señal a ruido media en cada antena receptora es ρ se puede calcular mediante la siguiente expresión [1]:

$$C_{MIMO} = \log_2(\mathbf{I}_N + \frac{\rho}{M} \mathbf{H}\mathbf{H}^*) \text{ bits/s/Hz} \quad (6)$$

Donde \mathbf{H} es la matriz transferencia normalizada de dimensiones $N \times M$, cuyos elementos se determinan a partir de la matriz \mathbf{G} . Esta normalización suele llevarse a cabo mediante la norma de Frobenius [4].

5 Herramienta MIMOGIS

MIMOGIS está desarrollada sobre un entorno SIG, en particular ArcView 9 de ESRI. Este SIG, permite, entre otras muchas operaciones, la visualización de diferentes tipos de formatos (*raster* o vectorial). De esta manera se pueden realizar simulaciones sobre cualquier fichero que contenga datos vectoriales, que den información del lugar donde se encuentran las paredes. Este entorno también permite colocar directamente el transmisor y el área de simulación en la que se desea estimar la capacidad.

En una simulación la herramienta interactúa con varios programas y con el SIG. En primer lugar se recopila información solicitándola al usuario por medio de formularios programados en Visual Basic para, posteriormente, realizar el trazado de rayos. A partir de los resultados obtenidos por el trazador se calcula la capacidad en cada punto por medio de otro programa en el que se apoya también la herramienta. Una vez finalizado el cálculo de estas capacidades se pasa a la visualización de los resultados. El intercambio de información entre estos programas se realiza a través de ficheros de texto. Se han programado en Visual Basic todos los menús para la introducción de datos y llamadas a otros programas, como son el trazado de rayos (programado en C++) y el cálculo de la capacidad (programa realizado en

MATLAB), así como la lectura de los resultados dados por dichos programas.

MIMOGIS permite distintos tipos de simulaciones, como son la obtención de resultados en un punto, en un recorrido o en una superficie. Una vez cargado el entorno de propagación se elige la posición del transmisor y del receptor, pudiendo observar la situación real sobre el SIG.

Un dato necesario son las coordenadas de los elementos de las antenas. Debido a que el cálculo de estas coordenadas puede ser un poco dificultoso, sobre todo si se trabaja con coordenadas reales como UTM, se han incluido funciones que ayudan con dicho cálculo. Así, podemos elegir las coordenadas del primer elemento de las antenas de dos maneras: introduciendo las coordenadas manualmente o pinchando con el ratón directamente sobre el plano, eligiendo así la posición visualmente. El usuario puede elegir entre varias configuraciones de las antenas (lineal, circular o plana), creándose automáticamente las coordenadas de cada uno de los elementos una vez introducidos los datos necesarios. Estas coordenadas son tridimensionales, y tienen la posibilidad de modificarse, pudiendo así obtener cualquier tipo de configuración definida por el usuario, incluso pudiendo cambiar la altura de cada uno de los elementos independientemente.

Para el cálculo de la respuesta del canal se apoya en un trazador de rayos basado en Óptica Geométrica y Teoría Uniforme de la Difracción, el cual tiene en cuenta todo tipo de parámetros radioeléctricos y condiciones del entorno.

Antes de comenzar la simulación es necesario indicar que tipo de resultado deseamos. Se puede elegir un perfil de retardo, con lo que se obtiene información de todos los rayos (contribuciones) que impactan en cada elemento, pudiendo visualizar el rayo directo, rayos reflejados una vez y rayos difractados en las esquinas. La otra opción es elegir un perfil de potencias, con lo que se obtiene información sobre el campo eléctrico, pérdidas, número de rayos que han impactado, etc. pudiendo así calcular la capacidad en un recorrido o en un área.

El trazador de rayos está programado en lenguaje C, lo cual le da una gran potencia y rapidez de cálculo. El trazado de rayos realizado es en dos dimensiones, sin embargo, tiene en cuenta la altura de cada uno de los elementos del transmisor, los elementos del receptor, esquinas difractoras y paredes para el cálculo de los rayos reflejados en el suelo. Es lo que podemos denominar un modelo 2.5D.

Los resultados del trazador se dan en un fichero de texto, a partir del cual se calcula la capacidad. Esta tarea la realiza un programa realizado en MATLAB, debido a su sencillez a la hora de hacer cálculos con matrices. Este programa devuelve las capacidades calculadas en cada punto en un fichero de texto que es leído por la herramienta, mostrando finalmente la capacidad en el recorrido o en el área deseada.

5 Simulaciones

Con el fin de contemplar de las posibilidades que permite esta herramienta se ha optado por realizar una simulación en una zona de la ciudad de Murcia. La frecuencia de trabajo es 2.1 GHz y la relación señal a ruido (SNR) se ha considerado constante y de 20 dB (se asume una potencia recibida constante en el receptor). El transmisor consiste en un array de 5 elementos isotrópicos polarizados verticalmente, separados una distancia de λ entre sí. El receptor es un array lineal de 3 elementos isotrópicos polarizados verticalmente, separados $\lambda/2$.

La figura 1 muestra la situación del transmisor y el recorrido que describe el receptor, una línea de 80 metros a lo largo de la calle. El array del transmisor es perpendicular al del receptor, que a su vez es perpendicular a la dirección del recorrido descrito por éste. Uno de los resultados que se puede obtener es la capacidad en función de la posición, (gráfica de la figura 1). En este caso la capacidad varía entre 21 y 11 bit/s/Hz, situación que se da cuando el receptor ha recorrido unos 30 metros.

También permite el cálculo de la capacidad en un área determinada. En la figura 2 se muestra el resultado de una simulación en la que se puede ver como variaría la capacidad en función de la posición con la misma configuración del transmisor y receptor, pero sobre el área rodeada por el rectángulo. Se obtiene en este caso una visualización de dicha variación sobre el plano en una escala de colores, que en función de la intensidad da una idea del valor de la capacidad. Esta escala aparece en la parte izquierda de la figura, siendo el valor mínimo de 9,51 bit/s/Hz y el máximo de 21,23 bit/s/Hz. En este caso también se muestra el histograma (CCDF, *Contrary Cumulative Density Function*) de las capacidades calculadas en el área, gráfica que se puede observar en la parte inferior derecha de la figura.

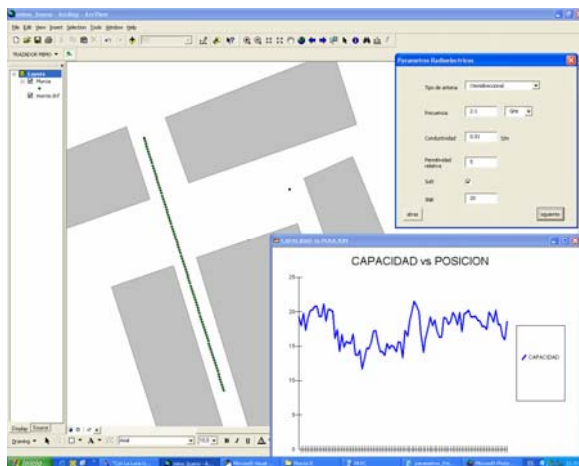


Figura 1. Escenario de la simulación y resultados.

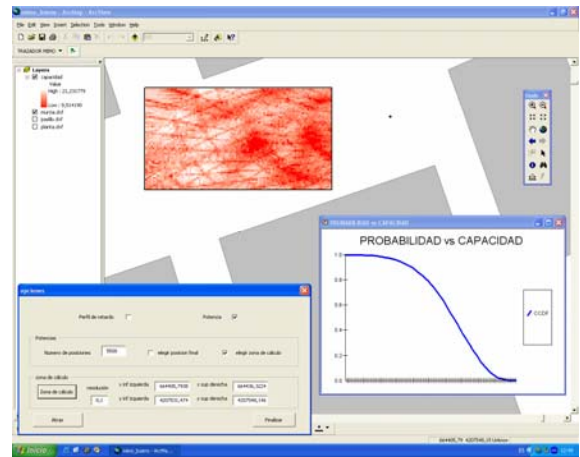


Figura 2. Cálculo de la capacidad en una superficie.

6 Conclusiones

MIMOGIS ha sido desarrollada sobre un entorno SIG, con lo que se consigue una fácil visualización de los resultados. La simulación electromagnética del canal radio MIMO ha sido realizado mediante el trazado de rayos, que está basado en OG y UTD. Esta herramienta puede ser utilizada para la planificación de sistemas MIMO, ya que permite entre otras cosas el cálculo de capacidades en entornos reales, como microcélulas e interiores.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Dirección General de Investigación (Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia) por su financiación de este trabajo a través del proyecto con referencia 2I05SU0031), y a las empresa TECNICA y 102NOVADOC.

Referencias

- [1] G. J. Foschini and J Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas" *Bell Labs Technical Journal*, vol. 1, no. 2, Lucent Technologies, pp 41-59, Autumn 1996.
- [2] Telatar, I. E, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels" *AT&T Bell Labs internal report*, June 1995.
- [3] C. A. Balanis, *Advance Engineering Electromagnetics*, New York, 1989.
- [4] P.Almers, F.Tufvesson, P.Karlsson and A.Molish, "The Effect of Horizontal Array Orientation on MIMO Channel Capacity", *Mitsubishi, TR-2003-39*, July 2003.