

# PREDICCIÓN DE COBERTURA EN UN AREA ALREDEDOR DE UN PUNTO RECEPTOR PARA ENTORNOS MICROCELULARES

Rubén Ibernón Fernández, José María Molina García-Pardo y Leandro Juan-Llácer

Dpto. Tecnologías de la Información y Comunicaciones

Universidad Politécnica de Cartagena, Antiguo Hospital de Marina, 30202 Cartagena

e-mail : [ruben.ibernon@upct.es](mailto:ruben.ibernon@upct.es), [josemaria.molina@upct.es](mailto:josemaria.molina@upct.es), [leandro.juan@upct.es](mailto:leandro.juan@upct.es)

**Abstract-** In this paper a prediction model used to predict electric field in an area is presented. This model uses the parameters of the contributions (complex amplitude, angle of arrival and diffraction parameters) that arrive to a point and it predicts the coverage in the area close to the point. Parameters are taken from a single simulation with a ray launching application. The model assumes that contributions do not change in the area of reconstruction. Simulations in an area of 100 m<sup>2</sup> in an urban environment are presented. Results and computational cost are compared with a ray launching application. This model reduces the computational cost in a large factor.

## I. INTRODUCCIÓN

Los modelos de propagación se usan ampliamente para predecir parámetros como la dispersión del retardo y las pérdidas de propagación, importantes en el diseño y despliegue de sistemas de comunicaciones inalámbricas [1]. Los modelos de propagación dependen del escenario bajo estudio. En microceldas, una de las técnicas más usadas para el estudio de la propagación es el trazado de rayos [2,3]. El uso de este modelo requiere un gran conocimiento del entorno de propagación, como la situación de las paredes de los edificios y sus propiedades eléctricas. El modelo del trazado de rayos está basado en Óptica Geométrica (GO) y Teoría Uniforme de la Difracción (UTD) y es capaz de predecir el campo creado por las contribuciones reflejadas, difractadas y por visión directa (LoS). El principal problema del uso del trazado de rayos en el cálculo del campo eléctrico en un área es el elevado coste computacional, el cual es proporcional al número de puntos en los que se evalúa el campo en dicho área.

El objetivo de este trabajo es reconstruir el campo eléctrico en el área a partir de una simulación realizada en un único punto, con el fin de reducir el coste computacional. La reconstrucción se realiza estudiando los diferentes mecanismos de propagación que sufren los rayos que llegan al receptor. Esta estrategia ha sido seguida por varios autores para reconstruir el canal en arrays virtuales [4,5].

## II. MODELO DE PROPAGACIÓN

El modelo de propagación asume que, en el área donde el campo eléctrico va a ser estimado, el número de contribuciones que llegan al receptor no cambia, así como el coeficiente acumulado de reflexión (aunque sí su amplitud y dirección de procedencia). En general, estas hipótesis se pueden tener en cuenta en las cercanías del punto receptor simulado.

Las contribuciones consideradas han sido: visión directa (LoS), reflejadas, difractadas y la combinación entre reflejadas y difractadas.

Los parámetros necesarios de cada contribución para estimar el campo eléctrico en el resto del área son: el modulo y fase del campo eléctrico producido, el ángulo de llegada y los parámetros de difracción, que son calculados y almacenados por la aplicación que realiza el lanzamiento de rayos desde el transmisor al punto central del área.

El rayo directo se reconstruye en  $\vec{r}$  por medio de la siguiente ecuación:

$$H_{Los}(\vec{r}) = H_{Los}(\vec{r}_0) \cdot \frac{\exp\left(-j \frac{2p}{l}(R - R_0)\right)}{|R - R_0|} \quad (1)$$

donde  $\vec{r}$  es la nueva posición del receptor, donde se va a estimar el campo eléctrico,  $\vec{r}_0$  es la posición original del receptor,  $R_0$  es la distancia entre el transmisor y el receptor original,  $R$  es la distancia entre el transmisor y la nueva posición del receptor y  $H_{Los}(\vec{r}_0)$  es el campo complejo obtenido con la aplicación de trazado de rayos.

Para la reconstrucción de los rayos reflejados se usa la teoría de imágenes, con el fin de calcular la posición imagen del transmisor. La nueva posición del transmisor para un rayo reflejado es la siguiente:

$$\vec{t}x_c = r\vec{x}_c + \vec{t} \cdot \vec{v} \cdot (\cos(j_{rx})\hat{x} + \sin(j_{rx})\hat{y}) \quad (2)$$

donde  $\vec{t}$  es el retardo del rayo,  $\vec{v}$  es la velocidad de la luz y  $j_{rx}$  es el ángulo de llegada del rayo reflejado. Sería sencillo

calcular la posición imagen del transmisor en un problema 3D, simplemente añadiendo la tercera coordenada. Con estas consideraciones, el problema se reduce a una situación de visión directa entre el transmisor y el receptor. Los rayos reflejados múltiples veces se reconstruyen a partir de la siguiente expresión:

$$H_{MR}(\vec{r}) = H_{MR}(\vec{r}_0) \cdot \frac{\exp\left(-j\frac{2p}{l}(R'-R_0)\vec{k}\right)}{|R'-R_0|} \quad (3)$$

donde  $R_0'$  es la distancia entre el transmisor y la posición del receptor original y  $R'$  la distancia entre el transmisor y la nueva posición del receptor, ambas expresadas en las nuevas coordenadas dadas por la ecuación (2), y  $H_{MR}(\vec{r}_0)$  es el campo eléctrico complejo del rayo reflejado en la posición original.

La reconstrucción del rayo difractado se realiza por las siguientes expresiones:

$$\mathbf{y}(s, s', \mathbf{f}, \mathbf{f}') = D(s, s', \mathbf{f}, \mathbf{f}') e^{-jk(s+s')} \sqrt{\frac{1}{ss'(s+s')}} \quad (4)$$

donde  $s$  es la distancia recorrida por el rayo antes del impacto en la esquina difractora y  $s'$  la distancia recorrida después del impacto,  $\mathbf{f}$  es el ángulo de impacto del rayo con la esquina difractora y  $\mathbf{f}'$  es el ángulo de salida del rayo difractado,  $D(s, s', \mathbf{f}, \mathbf{f}')$  es el coeficiente de difracción y  $\mathbf{y}(s, s', \mathbf{f}, \mathbf{f}')$  es una función que contiene la parte variable del campo eléctrico. Finalmente, el campo difractado en la nueva posición del receptor se calcula por la siguiente expresión:

$$H_{DIF}(\vec{r}) = H_{DIF}(\vec{r}_0) \cdot \frac{\mathbf{y}(s_r, s_0, \mathbf{f}_r, \mathbf{f}'_r)}{\mathbf{y}(s_0, s_0, \mathbf{f}_0, \mathbf{f}'_0)} \quad (5)$$

donde  $H_{DIF}(\vec{r}_0)$  es el campo eléctrico difractado en la posición original del receptor y los subíndices  $r$  y  $0$  diferencian la posición nueva y original del receptor respectivamente.

### III. RESULTADOS POR CONTRIBUCIONES

Se han realizado simulaciones teniendo en cuenta cada uno de los rayos por separado con el fin de comprobar que las reconstrucciones se realizan correctamente de forma individual. Para ello se han elegido tres escenarios en los que únicamente existiera uno de los diferentes tipos contribuciones, pudiendo observar así el comportamiento de cada una por separado. Para cada una de las simulaciones se ha escogido una cuadrícula de 10.000 puntos separados 0,1 metros en forma de cuadrado donde se reconstruirá el campo eléctrico (10m x 10m). Para obtener la información necesaria de las contribuciones que llegan al punto central del área se ha realizado una simulación en ese punto con una aplicación de lanzamiento de rayos. La frecuencia escogida ha sido de 2,1 GHz. Los parámetros eléctricos de las paredes escogidos han sido  $s=0,01$  S/m para la conductividad y  $\epsilon_r=5$  para la permitividad. Las antenas son isotrópicas polarizadas verticalmente

#### A. Visión directa (LoS).

Para la simulación de la componente de visión directa se ha elegido un área en la que únicamente llega esta contribución, en la que el transmisor se encuentra a 30 metros del punto central del área. Para comprobar que la reconstrucción se realiza correctamente se ha comparado con los resultados de una simulación realizada sobre la misma área con la aplicación de lanzamiento de rayos. El error máximo cometido en la reconstrucción de esta contribución con respecto al lanzamiento de rayos es de  $10^{-6}$  dB, la media del error es de  $9,5 \cdot 10^{-7}$  dB y la varianza es de  $4,10 \cdot 10^{-3}$  dB. Estos errores son debidos a que la aplicación de lanzamiento de rayos se lanza un rayo cada 0,1 grado, con lo que los resultados calculados por la aplicación no son exactos. En la figura 1 se puede observar el error en la reconstrucción por medio del método de predicción respecto al lanzamiento de rayos.

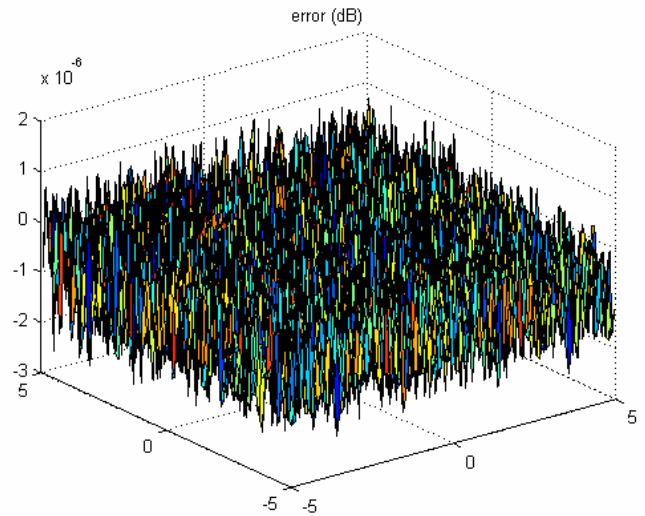


Figura 1. Error cometido en la reconstrucción de la contribución de visión directa.

#### B. Contribución reflejada.

Para comprobar que la contribución reflejada se reconstruye correctamente se ha ejecutado una simulación similar a la realizada para la contribución de visión directa, pero en un área en la que únicamente llega un rayo reflejado una vez. En este caso el rayo recorre una distancia de 36 metros, encontrándose el punto de reflexión en el mitad del camino. En la comparación de los resultados obtenidos con los calculados con el lanzador de rayos se observa que el error máximo es de  $3 \cdot 10^{-3}$  dB, la media del error es de  $1,3 \cdot 10^{-3}$  dB y la varianza es  $7,79 \cdot 10^{-7}$  dB. Se puede observar que estos errores aumentan con respecto a los calculados en el caso de visión directa. La razón de estos errores, al igual que en el caso de visión directa, es la inexactitud de los datos calculados por la aplicación de lanzamiento de rayos. Estos errores son mayores debido a que por medio existe una reflexión, y es necesaria para la reconstrucción correcta las coordenadas exactas, dato que no proporciona el lanzador de rayos por el hecho de tener limitaciones en cuanto al número de rayos lanzado. Se puede observar que si se aumenta este número los resultados mejoran, pero el tiempo de computo por parte de la aplicación de lanzamiento de rayos (el método de predicción no varía su tiempo) aumenta notablemente. En la

figura 2 se puede observar el error obtenido en la reconstrucción de la contribución reflejada.

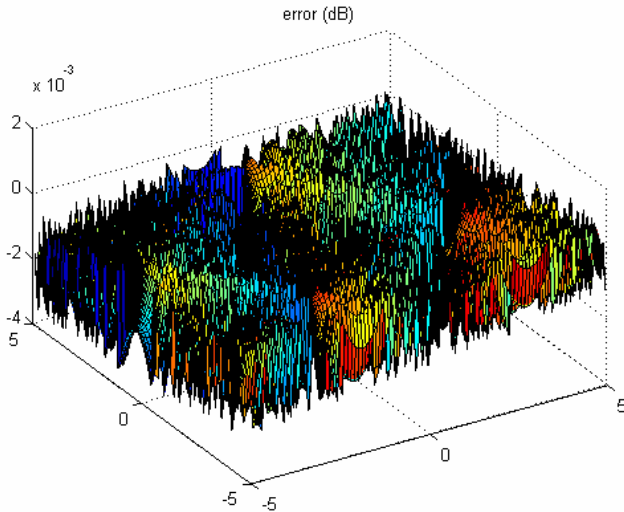


Figura 2. Error cometido en la reconstrucción de la contribución reflejada.

### C. Contribución difractada

Al igual que en los dos casos anteriores, se ha elegido un área en el que únicamente llegue un rayo difractado y se ha comparado el método de predicción y el de lanzamiento de rayos. En esta simulación, la esquina difractora se encontraba a 10 metros tanto del transmisor como del punto central del área. En este caso el máximo error cometido es de 0,12 dB, y se produce en la zona más cercana a la esquina difractora. El error medio es de  $10^{-2}$  dB y la varianza es  $1,83 \cdot 10^{-4}$  dB. El error en este caso aumenta por con respecto a los otros por el hecho de que el número de rayos lanzado desde la esquina difractora es menor que desde el transmisor, concretamente se lanza un rayo cada grado. En la figura 3 se representa el error cometido en la reconstrucción del rayo difractado, pudiendo observar que aumenta en las zonas próximas a la esquina difractora.

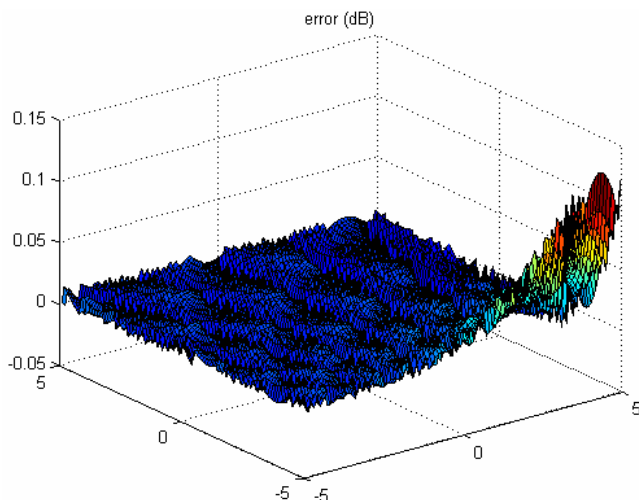


Figura 3. Error cometido en la reconstrucción de la contribución reflejada.

## IV. RESULTADOS EN ENTORNO MICROCELULAR

En la figura 4 se muestra un entorno microcelular donde los edificios están representados en color gris. Se ha realizado una simulación en este entorno, situando el

transmisor en el punto representado en la figura, y la reconstrucción del campo se ha realizado en una cuadrícula de 10.000 puntos, separados 0,1 metros en un cuadrado de 10 metros de lado ( $100 \text{ m}^2$ ). La distancia entre el transmisor y el punto central del área es de 20 metros. La frecuencia escogida ha sido de 2,1 GHz, la conductividad de las paredes ha sido fijada a  $\sigma=0,01 \text{ S/m}$  y la permitividad a  $\epsilon_r=5$ . Las antenas son isotrópicas polarizadas verticalmente. En la simulación se han tenido en cuenta hasta 10 reflexiones y 2 si el rayo ha sufrido alguna difracción. Se ha realizado una única simulación en el centro del cuadrado, con el fin de reconstruir el campo eléctrico en el resto del cuadrado por medio del modelo de predicción expuesto.

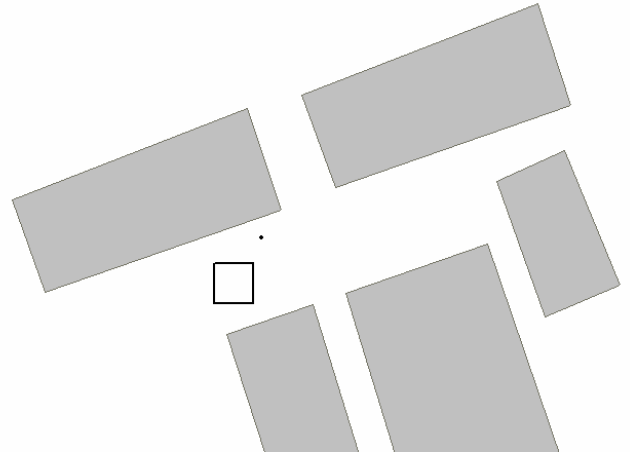


Figura 4. Entorno microcelular de la simulación.

Las pérdidas de propagación han sido calculadas por el método de lanzamiento de rayos y por el modelo de predicción. En la figura 2 se muestra las pérdidas de propagación calculadas por la aplicación de lanzamiento de rayos. Los valores varían entre -54 dB y -76 dB. El valor máximo se corresponde con la esquina superior derecha (zona más cercana al transmisor) y el mínimo en la esquina opuesta.

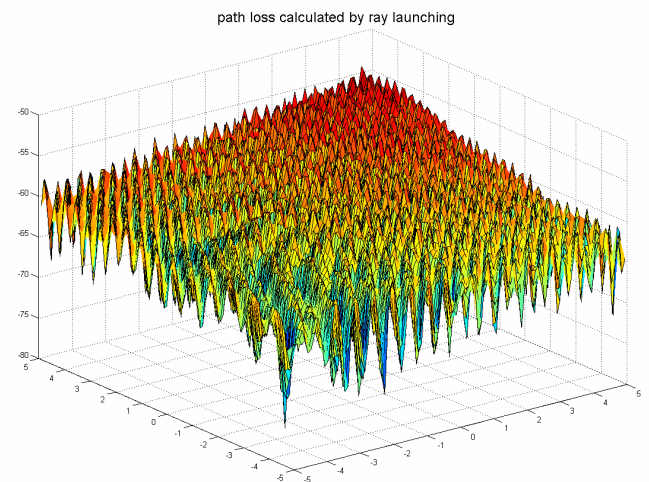


Figura 5. Pérdidas calculadas mediante lanzamiento de rayos.

En la figura 6 se muestra el error en dB cometido por el modelo de predicción respecto a las pérdidas de propagación calculadas por la aplicación de lanzamiento de rayos. Se puede observar como el error crece en la parte más lejana del transmisor. Una de las razones por las que se producen errores es por que se ha asumido que el número de

contribuciones es el mismo en toda el área y solo se tiene información de las contribuciones que llegan al punto central. Otra de las razones es que el campo calculado en el área por el lanzador de rayos no es exacto; esto es así porque el número de rayos lanzado no es infinito y los ángulos de incidencia en las paredes y retardos de los rayos no son exactos.

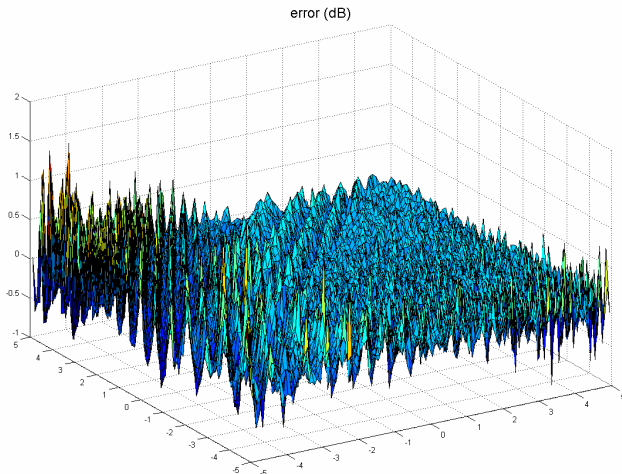


Figura 6. Error del modelo de propagación.

La media del error es de 0,154 dB y la varianza es 0,026 dB. El valor máximo del error es de 1,9 dB en un punto situado en la parte superior izquierda del cuadrado, donde el número de contribuciones ha cambiado de forma significativa, más que en el resto del área. El coste computacional del modelo de predicción ha sido 210 veces más rápido que la simulación por lanzamiento de rayos en los 10.000 puntos.

## V. CONCLUSIONES

El uso de las técnicas de trazado de rayos tiene asociado un alto coste computacional, que se ve incrementado proporcionalmente al número de puntos del área de simulación. En este trabajo se presenta un modelo que predice el campo eléctrico en un área que cubre las proximidades de un punto, donde se realiza una simulación para obtener la información de los rayos que llegan a esa posición. Este modelo asume que el número de contribuciones que llegan a todas las posiciones del área no cambia. Se tiene en cuenta el rayo directo, reflejado y difractado, y está basado en la teoría de imágenes. La mayor ventaja de este modelo es la reducción del coste computacional.

Se ha realizado una simulación en un entorno microcelular. El área seleccionada ha sido una cuadrícula de 10.000 puntos separados 0,1 metros ( $100 \text{ m}^2$ ). Se ha observado que el error absoluto en esta simulación no supera los 2 dB. La media del error ha sido de 0,154 dB y la varianza de 0,026 dB. En una de las esquinas el error ha aumentado porque el número de contribuciones ha cambiado. El coste computacional se ha reducido 210 veces con respecto a la aplicación de lanzamiento de rayos. Este modelo se puede usar para la predicción determinista de forma rápida.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores están agradecidos al Ministerio de Educación y Ciencia por financiar este trabajo (TEC2004-04866-C04-04/TCM).

## REFERENCIAS

- [1] H. L. Bertoni, *Radio Propagation for Modern Wireless Systems*, New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [2] C. Oestges, B. Clerckx, L. Raynaud and D- Vanhoenacker-Janvier, "Deterministic Channel Modeling and Performance Simulation of Microcellular Wide-Band Communication Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 51, no. 6, pp. 1422-1429, November 2002.
- [3] B. S. Lee, A. R. Nix and J. P. McGreehan, "A Spatio-Temporal Ray Launching Propagation Model for UMTS Pico and Microcellular Environments", *Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 367-371, 2001.
- [4] R. S. Thomä, D. Hampicke, A. Richter, G. Sommerkorn, "MIMO Vector Channel Sounder Measurements for Smart Antenna System Evaluation", *European Transaction on Telecommunications, ETT*, Vol. 12, No. 5, pp. 427-438, September/October 2001.
- [5] Jose-Maria Molina-Garcia-Pardo, Jose-Victor Rodríguez and Leandro Juan-Llacer, "Parametric MIMO Model for Ray Tracing/Launching Simulations", *IEEE Vehicular Technology Conference Fall, Los Angeles, September 2004*