

Predicción de la intensidad del campo eléctrico en las macrocélulas del relieve urbano en la banda de VHF

Por Ing. José Ignacio Pérez González e Ing. José Rafael Sandianes Gálvez
Profesor del ITM y Profesor Titular Adjunto del ISPJAE
reglaqglez@infomed.sld.cu, sandianes@electronica.cujae.edu.cu

Introducción

En la actualidad es de interés creciente determinar los métodos adecuados de predicción de la intensidad del campo eléctrico en relieves urbanos en los que operan sistemas radiomóviles de la banda de VHF y UHF. En estas áreas, los edificios tienen una influencia notable en la propagación, lo que ha estimulado el desarrollo de modelos [1,2] que incorporan el efecto de las estructuras urbanas en cuyo entorno está situado el móvil.

Walfisch en su artículo "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments" [1] muestra que para estimar los niveles de la intensidad del campo eléctrico en zonas urbanas, a partir de mediciones realizadas, es necesario hacer uso de los mecanismos de difracción múltiple. Por otra parte, el método que plantea Ikegami [2] emplea un mecanismo simple de difracción, unido con una descrip-

ción de rayos ópticos del campo cercano al receptor.

Con el objetivo de resolver la inexactitud de los métodos anteriores, se ha desarrollado el método de Plano de Filos (PF) [3] que constituye una solución analítica al problema de la difracción sobre múltiples filos colineales. El grupo responsable del proyecto europeo COST 231 ha propuesto un método [4] basado en los de Ikegami-Yoshida y Walfisch-Bertoni, con la adaptación de algunas de sus variables a las características urbanísticas de las ciudades europeas. Este método ha sido validado para enlaces en 900 y 1800 MHz.

El propósito del presente trabajo es presentar las expresiones generales de un método híbrido CPF (COST-PF) y mostrar los resultados de las predicciones realizadas para un transmisor que opera en Ciudad de La Habana en una frecuencia perteneciente a la banda de VHF.

Métodos de predicción

Los métodos que se referirán a continuación están descritos con profundidad en la literatura, por lo tanto, sólo se analizarán los elementos fundamentales que los componen.

Método de Walfisch-Bertoni

Este método tiene en cuenta la influencia de todos los edificios que se interponen entre el transmisor y el receptor móvil. Tiene en cuenta, además, que las ondas principales que desde la antena transmisora llegan al techo del edificio próximo al móvil, experimentarán una pérdida por difracción debido a la proximidad entre el rayo y los edificios próximos al móvil. Walfisch [1] modela al conjunto de edificios como múltiples pantallas difractoras separadas entre sí.

La pérdida total en dB se obtiene como la suma de las pérdidas propuestas por el método y las pérdidas en el espacio libre, y queda finalmente:

$$L_b = 89,55 + A + 21 \log f + 38 \log d - 18 \log \Delta h_B - 18 \log \left[1 - \frac{d^2}{17 \Delta h_B} \right] \quad (1)$$

donde:

d : distancia entre la antena de la Estación Base (EB) y el móvil (km)

Δh_B : altura de la antena de la EB sobre la altura media de los edificios circundantes (m)

f : frecuencia (MHz)

A : parámetro que tiene en cuenta la influencia de los edificios que se interponen entre el transmisor y el receptor, expresado en dB

$$A = 5 \log \left[\left(\frac{b}{2} \right)^2 + \Delta h_r \right] - 9 \log b + 20 \log \left[\tan^{-1} \left(\frac{2 \Delta h_r}{b} \right) \right] \quad (2)$$

donde:

Δh_r : altura media de los edificios sobre la altura de la antena del móvil (m)

b : distancia entre los centros de los edificios (m)

De acuerdo con Saunders [3], este método necesita tener en cuenta un gran número de edificios para lograr resultados aceptables

Modelo de Ikegami-Yoshida

El modelo de Ikegami [2], basado en la óptica geométrica, supone una estructura ideal de la ciudad con alturas uniformes de los edificios por manzana y tiene presente la orientación del móvil con respecto a la calle.

Las pérdidas básicas de propagación (dB), en un punto situado a una distancia d (km) del transmisor, se determinan por la siguiente expresión:

$$L_b = 26,65 + 30 \log f + 20 \log d - 10 \log \left[1 + \frac{3}{l_r^2} \right] - 10 \log W + 20 \log (H - h_r) + 10 \log (\sin \Phi) \quad (3)$$

donde:

H : altura del edificio en el que se produce la difracción (m)

h_r : altura de la antena receptora (m)

W : distancia desde el receptor hasta el edificio donde se produce la difracción (m)

Φ : ángulo formado por el rayo incidente y la dirección de la calle (°)

d : distancia entre el transmisor y el móvil (km)

l_r : parámetro que depende del coeficiente de reflexión en las fachadas de los edificios, cuyos valores típicos son 2 y 3,2 para las bandas de VHF y UHF, respectivamente

f : frecuencia de trabajo (MHz)

En general, el método ofrece buenos resultados de predicción cuando la altura de la antena transmisora es grande, de forma que prácticamente en la propagación sólo influyen los edificios inmediatos al móvil.

Modelo de plano de filos

El método de plano de filos [3] ha encontrado utilidad en casos reales cuando la posición de los edificios no es conocida, pero puede hacerse una estimación de la altura y separación de estos.

La función de atenuación propuesta por Saunders [3] está dada por la siguiente expresión:

$$A_{flat} = A_{n-1} \cdot Dfb \quad (4)$$

donde:

A_{n-1} : término que tiene en cuenta la atenuación que sufre la onda al propagarse sobre los fillos (edificios) que se interponen entre la antena de la EB y el móvil

D_{fb} : término que tiene en cuenta la atenuación que sufre la onda debido a la difracción que provoca el edificio anterior al móvil

Para obtener el primer término (A_{n-1}), se introduce la integral de Fresnel compleja en un algoritmo de recurrencia que valora la influencia de la fila de edificaciones en la propagación. El segundo término (D_{fb}) se determina teniendo en cuenta la atenuación que sufre el rayo que se difracta en el techo del edificio anterior e incide, directamente, en la antena receptora y la atenuación que sufre el rayo que se difracta en el techo, incide en la pared del edificio contiguo y se refleja en dirección al móvil receptor.

Método COST-231

El método COST-231 [4] fue propuesto por los miembros del Subgrupo de Modelos de Propagación del proyecto europeo COST—*Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research*— con el objetivo de mejorar las predicciones que se obtienen con otros métodos. El método propuesto es una combinación de los de Walfisch-Bertoni e Ikegami-Yoshida, con la adaptación de algunas de sus variables a las características urbanísticas de las ciudades europeas.

Además, propone calcular las pérdidas básicas de propagación (dB) como función de tres términos:

$$L_b = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} \quad (5)$$

donde:

L_{bf} : pérdidas en el espacio libre (dB)

L_{rts} : pérdidas por difracción que se producen debido a la proximidad entre el rayo y el techo del edificio próximo al móvil (dB). La determinación de este factor se basa en el modelo de

Ikegami [2], pero con una función de orientación de la calle diferente

L_{msd} : pérdidas debidas a la difracción **multiobstáculos** que experimenta el rayo en los edificios interpuestos entre la antena transmisora y el móvil (dB).

Este método se ha validado en un rango de frecuencias desde 800 MHz hasta 2000 MHz y alturas de la antena de la EB entre 4 m y 50 m [5]. En estas restricciones, el término L_{msd} tiene un fuerte papel, es muy susceptible de la frecuencia, así como del factor Δh_B , el cual no está incluido en el método de Ikegami. L_{msd} se determina por:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log d + k_f \cdot \log f - \log b \quad (6)$$

donde:

L_{bsh} : pérdidas que tienen lugar cuando la altura de la antena de la EB es mayor que la altura de las edificaciones (dB)

k_a : parámetro de control que está determinado por la diferencia de alturas entre la antena de la EB y las edificaciones (dB)

k_d : parámetro de control que valora la dependencia de las pérdidas por múltiples fillos de la distancia (dB)

d : distancia del enlace (km)

k_f : parámetro de control que valora la dependencia de las pérdidas por múltiples fillos de la frecuencia (dB)

b : distancia entre los centros de los edificios (m)

Simulación computacional de los métodos y comparación de la exactitud de las predicciones

Como primer paso y sobre la base de los métodos de Walfisch, Ikegami y Plano de Fillos, se realizó la simulación computacional, a través del sistema de programas profesional Mathcad 2001. Esto permite evaluar la exactitud de las predicciones que brindan estos métodos.

Para determinar la altura de los edificios, se utilizó el Sistema de Información Geográfico (SIG) de Ciudad de La Habana, desarrollado sobre una plataforma profesional MapInfo 6.5. El ancho de las calles se obtuvo de un mapa digital, elaborado a partir del sistema de programas profesional AutoCAD 2004.

En la figura 1 se muestran las curvas resultantes de la intensidad del campo eléctrico (dBμV/m) en función de la distancia (km), pronosticadas por los métodos para un trayecto seleccionado. Se decidió incorporar los valores del

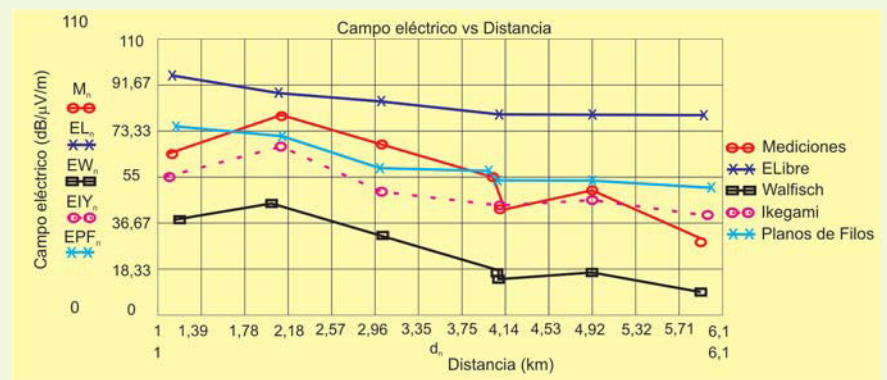


Figura 1 Intensidad del campo en función de la distancia

campo en el espacio libre, que constituye una referencia para el resto de los métodos, y los valores del campo medido.

Para valorar la correspondencia entre los resultados que ofrecen los métodos de predicción y los valores obtenidos en las mediciones, se

utilizan [6] los denominados parámetros de control: el valor medio del error ΔE y su desviación estándar σ . El error de predicción es la diferencia entre el valor calculado teóricamente E_c y el valor medido E_m , ambos expresados en dB μ V/m:

$$\Delta E = E_c - E_m \quad (7)$$

La Recomendación UIT-R- SM-1447 establece, como error admisible para valorar la exactitud de un método de predicción de coberturas en zona urbana, el de ± 6 dB en el 80 % de los puntos medidos.

Durante la investigación se escogieron ocho radiales, con una separación angular que oscila entre los 40°- 50°, en zonas densamente edificada en Ciudad de La Habana, debido a la importancia que esta reviste para las coberturas del Servicio Móvil Terrestre (SMT).

Durante las mediciones [6], se tomaron trescientas muestras del campo en cincuenta puntos, a partir de las cuales se obtuvo su valor medio. La comparación de la exactitud de las predicciones arrojó como resultado que el método de Walfisch sólo cumple con la Recomendación UIT-R- SM-1447 en un 0,08 %, el método de Ikegami en un 44 % y el de Plano de Filos en un 40 % del total de los puntos. Estos resultados parciales corroboran que dichos métodos, al menos en el entorno analizado, no satisfacen las exigencias de exactitud necesarias.

Método híbrido propuesto CPF

Al valorar los resultados expuestos anteriormente, se observa que no existe correspondencia entre los valores que brindan los métodos de predicción simulados y los valores obtenidos en las mediciones.

Para solucionar esta problemática se propone el método híbrido CPF, basado en la unión de elementos de los dos anteriormente analizados, lo que permite considerar las fortalezas y debilidades de cada uno.

La expresión resultante de las pérdidas básicas de propagación (dB) del método propuesto es la siguiente:

$$L_b = L_{bf} + L_{rtsC} + L_{msdPF} \quad (8)$$

donde:

L_{bf} : pérdidas en el espacio libre (dB)

L_{rtsC} : pérdidas por difracción que se producen debido a la proximidad entre el rayo y el techo del edificio próximo al móvil, calculadas por el método de COST-231 (dB)

L_{msdPF} : pérdidas que sufre la onda al propagarse sobre los filos (edificios) que se interponen entre la antena de la EB y el móvil, calculadas por el método PF (dB).

La comparación de la simulación computacional a través del empleo del nuevo método con las mediciones, arrojó como resultado que en

No. Punto	Valor del campo calculado (dB μ V/m)	Valor del campo medido (dB μ V/m)	Valor medio del error de predicción (dB μ V/m)
1	67,455	62,442	5,013
2	74,99	76,532	-1,542
3	62,192	67,082	-4,89
4	50,493	55,222	-4,729
5	47,184	41,702	5,482
6	50,002	48,548	1,454
7	41,772	32,677	9,095

Tabla 1 Comparación de los resultados

cuarenta de los cincuenta puntos analizados (80 %) se cumple el criterio de ± 6 dB recomendado por la UIT-R.

En la tabla 1 se muestran los resultados del campo medido, el campo calculado por el método y el valor medio del error de predicción.

Conclusiones

A partir de la investigación realizada, se propone un método híbrido para calcular las pérdidas básicas de propagación que tienen lugar cuando el sistema de radio opera en un relieve urbano. La expresión presentada puede aplicarse para cualquier altura de la antena de la EB y a frecuencias de la banda de VHF, limitantes fundamentales del método de COST-231. En tal sentido, el método propuesto satisface los requerimientos planteados en las exigencias de la UIT-R y constituye una generalización.

Referencias bibliográficas y bibliografía

- [1] Walfisch, J and Bertoni, H. L. "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 36, no. 12 (1988): 1788-1796.
- [2] Ikegami, E; Yoshida, S.; Tacheuchi, T and Umehira, M. "Propagation factors controlling mean field strength on urban streets". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 32, no. 8 (1984): 822-829.
- [3] Saunders, S. R. and Bonar, F. R. "Prediction of Radio Wave Propagation Over Buildings of Irregular Heights and Spacings". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, no. 2 (February 1994): 37-144.
- [4] European Communities. "COST 231 Final Report, Digital Mobile Radio Toward Future Generation System", 1999, págs.134-148.
- [5] Hernando, J. M. "Transmisión por Radio". Centro de Estudios Ramón Areces, 1996, pp 183-201.
- [6] Grosskopf, R. "Comparison of Different Methods for the Prediction of the Field Strength in the VHF range". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 35, no. 7 (1987): 852-859.
- [7] Data de mediciones de la intensidad del campo de un Sistema de Radio en Ciudad de La Habana, Dirección de Comunicaciones, MININT, 2002.