

Implementación y verificación del modelo Saunders-Bonar uniforme en lenguaje Java sobre la ciudad de Cali

Alex A. Cardona O.

Universidad Icesi
augustoc@telesat.com.co

César A. Rodríguez H.

Universidad Icesi
cesar_rodriguez@correo.icesi.edu.co

Andrés Navarro C.

Universidad Icesi
anavarro@icesi.edu.co

Fecha de recepción: 11-01-2005

Fecha de aceptación: 29-04-2005

ABSTRACT

This paper makes part of an investigation development about the relief influence in the radio wave propagation for an urban environment working in the UHF band used in the actual mobile communications systems as TDMA (800Mhz), CDMA1x (850Mhz) y GSM (900Mhz),

KEYWORDS

Saunders-Bonar, Java, GIS, Arcview, propagation models, Path Loss, diffraction, Fresnel zones,

RESUMEN

Este artículo hace parte del desarrollo de una investigación realizada

acerca de la influencia del relieve en la propagación electromagnética para un entorno urbano trabajando en la banda UHF utilizada en los actuales sistemas de comunicación móviles, tales como TDMA (800Mhz), CDMA1x (850Mhz) y GSM (900Mhz), con el fin de realizar un algoritmo basado en el modelo de propagación de Saunders-Bonar. El proyecto se basó en el desarrollo de un algoritmo en Java basado en el método de Saunders-Bonar uniforme para el cálculo de Path Loss. Además se utilizaron las herramientas Arcview GIS (Sistema de información geográfico), VisualAge (Herramienta de desarrollo Java) y Matlab, y se realizaron me-

diciones en la ciudad de Santiago de Cali haciendo uso de una unidad móvil de la empresa Bellsouth Colombia (actualmente Telefónica móviles). El modelo base demostró beneficio con respecto a otros como Walfish Bertoni para la realización de cálculos de propagación, estimación de coberturas y planificación de sistemas móviles celulares. Aquí se describen los conceptos básicos para el desarrollo del algoritmo y las consideraciones que se tuvieron en cuenta tanto para su adaptación a terrenos urba-

nos no uniformes como para las simulaciones, mediciones de campo y su posterior comparación y análisis de resultados. La investigación realizada mostró resultados que permiten prever un buen comportamiento del modelo en entornos escarpados.

PALABRAS CLAVE

Saunders-Bonar, Java, GIS, Arcview, modelos de propagación, Path Loss, difracción, zonas de Fresnel, sistemas de comunicación móviles.

INTRODUCCIÓN

Generalmente en Colombia y países de la región Andina los sistemas de comunicaciones móviles son instalados en zonas o sectores de superficies irregulares. Dicha característica debe ser tomada en cuenta en los algoritmos para estimar las pérdidas por propagación o Path Loss. Los modelos de propagación “outdoor” son una herramienta muy útil para estas situaciones ya que consideran parámetros como el perfil del terreno que puede variar en diferentes características (montañoso o muy inclinado), así como los demás elementos que no deben pasar desapercibidos, como la presencia de árboles, colinas, edificios y otros obstáculos. El uso de herramientas de planificación y Sistemas de Información Geográfica permiten hacer un mejor análisis de los resultados arrojados por un modelo como el Saunders-Bonar, con modificaciones para entornos urbanos no uniformes como los de la ciudad de Santiago de Cali.

Se han hecho varias propuestas de modelos que van enfocados a un tipo de terreno en especial, urbano, rural o montañoso, pero ninguno de estos permite una valoración aproximada para entornos urbanos no uniformes sobre terreno inclinado. En el presente trabajo se muestra una propuesta para dicho fin y se consideró conveniente hacer uso del modelo Saunders-Bonar, un modelo que tiene en cuenta los factores de propagación dados sobre edificios entre la estación base y los equipos móviles y provee una alternativa para el caso en que la altura de edificios y espaciamiento entre ellos son no uniformes.

Con el fin de comprobar los resultados obtenidos haciendo uso del mo-

delo con datos reales, se utilizaron medidas facilitadas por el operador Bellsouth (actualmente Telefónica Móviles), que contienen ganancia de receptor en dB e información geográfica basada en GPS.

La aplicación de este proyecto se verá reflejada en el futuro desarrollo de sistemas móviles que dependan de un entorno como el descrito a través de este trabajo, y permitirá a los operadores minimizar costos de planificación, maximizar el cubrimiento de sus redes, mejorar la calidad de servicio, y a las entidades reguladoras, ejercer control sobre la radiación electromagnética y establecer parámetros adecuados para la distribución del espectro electromagnético.

EL MODELO SAUNDERS-BONAR

Antes de pasar a explicar los puntos específicos del algoritmo realizado, se debe hacer un estudio detallado del modelo base utilizado y los factores que este implica.

El modelo Saunders-Bonar se plantea como una propuesta híbrida del modelo de filo de cuchillo (The knife edge model) y la integral de Vogler con el fin de facilitar cálculos de pérdida de propagación en el caso de muchos edificios de variación media en alturas y espacio entre ellos. El modelo de filo de cuchillo provee un medio para predecir los factores de propagación a través de un número grande de edificios de altura y distancia uniforme, entre la estación base y los abonados móviles. Por otro lado, la integral de Vogler proporciona una alternativa para el caso en el cual los edificios que obstaculizan la propagación de la señal son de alturas y distancia no uniforme, pero está li-

mitado para un número pequeño de edificios (edificios significantes).

El modelo incorpora los parámetros que describen las características de un ambiente urbano, como son alturas de edificios (h), ancho de las calles (w), separación entre edificios (b) y parámetros propios del modelo como altura de la estación base (H), altura del equipo móvil (hm) y número de edificios entre la estación base y el equipo móvil (R).

El modelo calcula las pérdidas medias por propagación a través de la sumatoria de pérdidas por espacio libre, pérdidas por difracción sobre los edificios del perfil y pérdidas por difracción sobre la azotea del último edificio del perfil.

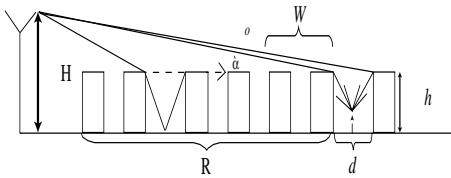


Figura 1. Parámetros del modelo.

El modelo diferencia dos casos de propagación claros, cuando existe visión directa (línea de vista) con el equipo móvil y cuando no la hay. El segundo caso está dado por:

$$L_{Tot} = L_o + L_{edif} + L_{dif}, \text{ para } L_{edif} + L_{dif} > 0 \quad (1)$$

donde L_o son las pérdidas por espacio libre, L_{edif} las pérdidas por difracción sobre los múltiples filos de cuchillo en el perfil y L_{dif} las pérdidas por difracción hacia la calle sobre la azotea del último edificio del perfil. Las pérdidas por espacio libre están dadas por:

$$L_o(\text{dB}) = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2)$$

para d expresado en Km y f en Mhz.

Las pérdidas por difracción sobre los múltiples edificios están dadas por el modelo de filo de cuchillo como sigue a continuación:

El campo en el techo del n th edificio está dado por:

$$L_n(t) = S_n(t) \exp(jt^2) \quad (3)$$

donde

$$t = \alpha \sqrt{\frac{kw}{2}} = \alpha \sqrt{\frac{\pi w}{\lambda}} \quad (4)$$

asumiendo que $r \gg nw$.

$$S_n(t) = \frac{1}{n} \sum_{m=0}^{n-1} S_m(t) F_s(jt \sqrt{n-m}, n \geq 1) \quad (5)$$

Aquí $F_s(jt)$ debe ser expresado en términos de las integrales de Fresnel seno y coseno.

$$S(w) = \int_0^w \sin\left(\frac{\pi}{2} r^2\right) d\tau \quad (6)$$

$$C(w) = \int_0^w \cos\left(\frac{\pi}{2} r^2\right) d\tau \quad (7)$$

así la integral de Fresnel en términos de senos y cosenos:

$$F_s(jt) = e^{-jt^2} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{1-j} \left[C\left(t \sqrt{\frac{2}{\pi}}\right) - jS\left(t \sqrt{\frac{2}{\pi}}\right) \right] \right\}$$

El campo total en el móvil está dado por la siguiente ecuación:

$$A_{flat} = A_{n-1} D_{fb} \quad (8)$$

Aquí A_{n-1} es calculado de la ecuación 3.

$$D_{fb} = \sqrt{A^2 d + \rho A_r}^2 \quad (9)$$

donde:

$$A_{d,r} = 1 F(w_{d,r}) \exp\left(\frac{-jr}{4}\right) + \frac{1}{2} \quad (10)$$

La ecuación 9 corresponde a la potencia media del campo recibida por el móvil al recibir la potencia de los dos rayos combinados en fase aleatoria, como lo muestra la Figura 1.

A_d en la ecuación 10 corresponde al rayo difractado directamente en el último edificio y pA_r , al rayo reflejado por el edificio posterior al móvil.

En la ecuación (10) $F(w)$ corresponde a:

$$F(w) = C(w) + jS(w) \quad (11)$$

Los parámetros de difracción w_d para el rayo directo y w_r , para el rayo reflejado, son:

$$W_d = -\left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{d_m}{h_o - h_m}\right) - \alpha\right] \sqrt{\frac{2d_m}{\lambda}} \quad (12)$$

$$w_r = -\left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{2w - d_m}{h_o - h_m}\right) - \alpha\right] \sqrt{\frac{2(2w - d_m)}{\lambda}} \quad (13)$$

Aquí el parámetro corresponde al ancho de las calles y los otros parámetros están definidos en la Figura 3.

ALGORITMO ADAPTADO PARA ENTORNOS SEMI-URBANOS AFECTADOS POR COLINAS

Para tener en cuenta todas las consideraciones necesarias para el cálculo de Path Loss en entornos semi-urbanos afectados por colinas se efectuaron algunas aproximaciones en el algoritmo desarrollado para el Modelo Saunders-Bonar.

La aproximación realizada sigue los preceptos de difracción generada por múltiples obstáculos entre el transmisor y el receptor, teniendo en cuenta las características físicas del terreno para el cálculo de las pérdidas de señal, como se puede observar en la Figura 2.

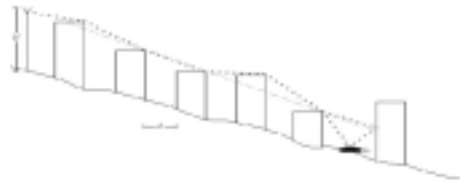


Figura 2. Geometría del algoritmo implementado para la aproximación en terreno escarpado.

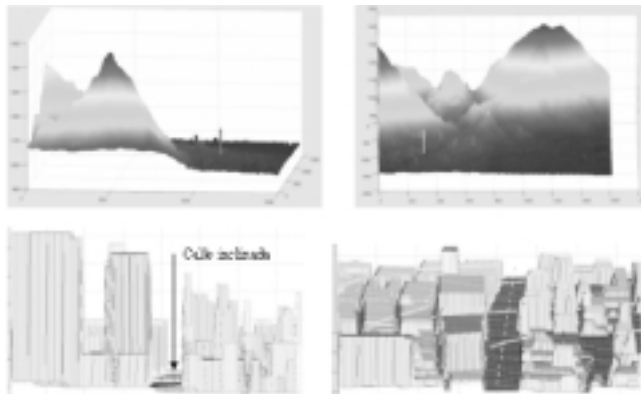


Figura 3. Sector de la ciudad de Cali con terreno inclinado.

Para incluir en el algoritmo las particularidades del terreno se tuvieron en cuenta la altura de la Estación Base (H), la altura de cada uno de los edificios u obstáculos entre la Estación Base y el equipo móvil, y la altura del receptor. Cada una de estas alturas en el mapa digital tiene referencia cero; así, por ejemplo, una altura de 12 m correspondiente a un edificio sobre una colina cuya altura en ese punto es 30 m tendrá una elevación total de 42 m.

Según los fundamentos de este algoritmo todos los obstáculos presentes en los perfiles son tratados como si fueran entes de la misma especie, independiente de si son edificios o colinas; a excepción de los casos en los que existe Línea de Vista (LOS), en donde se calcula el rayo reflejado en la tierra (Modelo de dos rayos).

El método utilizado para calcular el perfil de alturas entre el transmisor y el receptor fue diseñado para funcionar correctamente en tres circunstancias diferentes e independientes: entornos urbanos sobre terreno plano, entornos urbanos sobre terreno escarpado y entornos montañosos. Para diferenciar los obstáculos de las calles dentro del conjunto de alturas del perfil se utilizó comparación entre alturas adyacentes. De esta forma, si la diferencia entre dos alturas contiguas supera una constante, la cual depende del promedio de las alturas de los edificios de la ciudad, entonces la última altura se considera un edificio u obstáculo; de lo contrario, se interpreta que esta última corresponde a una calle.

Después de ejecutar este proceso, el algoritmo conoce con exactitud las posiciones del perfil en las cuales se

presentan obstáculos. En este punto el algoritmo está en capacidad de decidir si aplicar el Método de los Dos Rayos, en caso de que exista visión directa entre el transmisor y el receptor, o utilizar el Modelo Saunders-Bonar en la otra situación.

PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Para la simulación, se utilizaron los parámetros de ubicación, altura de antena, tipo de antena y potencia suministrados por la empresa Bellsouth (ahora Telefónica móviles), de tal forma que se pudieran comparar los resultados del modelo con respecto al conjunto de mediciones facilitado por Bellsouth.

Estos parámetros se muestran en la Tabla 1 para la estación base localizada en la zona de Plaza de Caycedo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figura 4 se observa gráficamente el resultado de la simulación en la zona de Aguacatal. Los colores más rojos representan las zonas con mejor señal y los más amarillos representan los menores niveles de señal, que se van degradando hacia los azules.

Con el fin de comparar los resultados obtenidos en la simulación con las mediciones realizadas por Bellsouth, se superpusieron las medidas a los resultados de la simulación y se obtuvieron las diferencias de señal.

Las mediciones suministradas por Bellsouth estaban dadas en coordenadas WSG-84, tal como las entregan los GPS utilizados por el sistema de *drivetest*. Dado que la cartografía de Cali está en coordenadas planas utilizando proyección UTM, se realizó la conversión de WSG-84 a UTM utili-

Tabla 1. Parámetros del transmisor en la zona de Plaza de Caycedo.

Parámetro	Valor
PIRE del transmisor	48,5 dBm
Ganancia del receptor	3 dB
Ganancia antena BCD8007	6.5 dBd
Frecuencia CCA	800 MHz
Altura del transmisor	36 m
Altura del receptor	2 m
Tamaño de celdas del Grid para Simulación	3 m
Coordenada UTM en X	1058960.250000
Coordenada UTM en Y	873595.187500

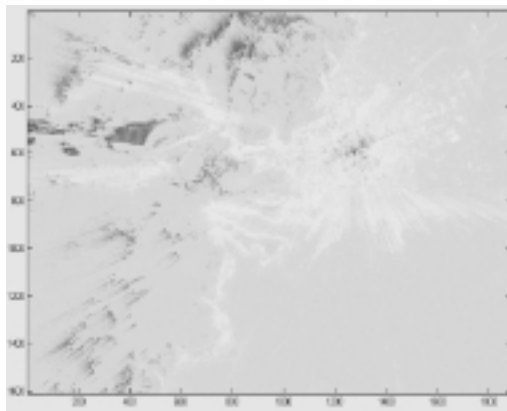


Figura 4. Resultados del modelo en la zona de Aguacatal.

zando un programa de conversión desarrollado por la empresa TE-SAmérica Andina, con resultados no muy precisos en algunos casos, como se muestra en la Figura 5. A juzgar por las diferencias obtenidas, los autores consideran que estas diferencias se pueden deber a la precisión de los GPS empleados y a la posible obstrucción de la señal GPS en la zona, aunque es necesario realizar un análisis más detallado de los datos.

Esta diferencia en la posición relativa de las medidas respecto al mapa necesariamente va a afectar la preci-

sión de la comparación, por lo que dicha comparación se hizo de dos formas diferentes, a saber: La primera consistió en tomar una pequeña muestra de los datos de mediciones y corregirla manualmente, de tal forma que los puntos de medición coincidieran con una zona del mapa digital, tal como se muestra en la Figura 6. La segunda forma de comparación consistió simplemente en tomar todo el archivo de mediciones y compararlo directamente con el resultado de la simulación sin ninguna modificación en las coordenadas de las mediciones.



Figura 5. Grupo de medidas superpuestas al mapa digital de Cali.



Figura 6. Grupo de datos corregido para que coincidan con la “U” del mapa digital.

Los puntos que aparecen en la Figura 6 sobre la “U” del mapa arrojaron los resultados que se muestran en la Tabla 2. La media que se muestra en la tabla corresponde a la diferencia entre los resultados del modelo y las mediciones.

Para el segundo caso, los resultados de la comparación se muestran en la

Tabla 2. Resultados estadísticos de los datos corregidos manualmente.

Media	Desviación estándar
13.22 dB	4.2189 dB

Tabla 3. Se puede observar en esta tabla que la variación de los datos así como la precisión de los resultados es menor que con los datos que tienen corrección de coordenadas.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La implementación que se ha hecho en Java ha permitido revisar el comportamiento del modelo Saunders-Bonar Uniforme sobre entorno montañoso de una manera aceptable.

Es claro luego de los resultados obtenidos, que es necesario realizar ajustes al modelo, con el fin de mejorar la

Tabla 3. Resultados de la comparación para todas las mediciones, sin corrección de coordenadas.

	Máx	Mín	Media	Desviación
Bellsouth	-35	-126	-81,258	13,6187
Saunders	-8,874	-142.110	-68.072	12.9974
Diferencia			-13.185	17.5174

precisión de las predicciones para la ciudad de Cali.

Actualmente se está trabajando en dos frentes que permitan mejorar los resultados obtenidos hasta ahora; primero, la corrección de coordenadas de todas las mediciones que se tienen, y segundo, implementar mejoras al modelo con el fin de mejorar los resultados.

REFERENCIAS

1. Simon R. Saunders. Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, Baffins Lane, Chichester, West Sussex U.K: John Wiley & Sons, Ltd., 1999.
2. S.R.Saunders and F.R. Bonar. Prediction of Mobile Radio Wave Propagation Over Buildings of Irregular Heights and Spacings. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 42, No. 2, February 1994, pp. 137-144.
3. Joram Walfisch and Henry L. Bertoni. A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 36, No. 12, December 1998, pp. 1788-1796.
- 4 .A. Paolo García A., Homero Ortega B., Andrés Navarro C. y Alexys H. Rodríguez A. Effect of terrain on electromagnetic propa-

gation in urban environments on the andean region, using the Cost 231-Walfisch-Ikegami model and GIS planning tools". IEE International Conference on Antennas & Propagation, Conference Publication No.491, April 2003, pp. 270 - 275.

5. Theodore S. Rappaport. Wireless communication: principles and practice, Prentice Hall USA, 1996.

CURRÍCULOS

Alex Augusto Cardona Ovalle.

Nació en Armenia, Colombia, el 24 de marzo de 1983. Obtendrá el título de Ingeniero Telemático en diciembre de este año en la Universidad ICESI, Cali-Colombia. Actualmente, como proyecto de grado y base de este artículo, realiza investigaciones en el ámbito de Modelos de Propagación aplicables a la región andina y a regiones de topografía similar, en cooperación con TES América y la UIS. Sus áreas de interés incluyen sistemas móviles, redes de datos móviles y redes de datos.

César Augusto Rodríguez Hernández.

Nació en Armenia, Colombia, el 18 de febrero de 1982. Obtendrá el título de Ingeniero Telemático en diciembre de este año en la Universidad ICESI,

Cali-Colombia. Actualmente, como proyecto de grado y base de este artículo, realiza investigaciones en el ámbito de Modelos de Propagación aplicables a la región andina y a regiones de topografía similar, en cooperación con TES América y la UIS. Sus áreas de interés incluyen redes móviles y redes de datos en general.

Andrés Navarro Cadavid. Nació en Medellín, Colombia, el 28 de mayo de 1969. Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Boliva-

riana. Obtuvo la Maestría en Gestión Tecnológica en la Universidad Pontificia Bolivariana y el Doctorado en Ingeniería de Telecomunicaciones en la Universidad Politécnica de Valencia, España. Actualmente trabaja como profesor e investigador de la Universidad ICE-SI, Cali-Colombia. Dirige el grupo de Investigación en Informática y Telecomunicaciones-I2T-Icesi. Sus áreas de interés incluyen sistemas de tercera generación, CDMA, sistemas móviles y redes de datos móviles. ☼