

DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA IMPLEMENTACION DE MODELOS DE PROPAGACION Y LA SIMULACIÓN DE UN CANAL MÓVIL PARA LAS BANDAS DE 850 MHz Y 1900 MHz

Cevallos Christian
ccevallost@yahoo.com

Duque Darío
dduque@fie-espe.edu.ec

León Rubén
rleon@fie-espe.edu.ec

Departamento de Electrónica-ESPE

ABSTRACT

The following article explains and illustrates the principle models of how to predict the amount of lost signal to a mobile channel while analyzing its principle characteristics. With software, it is possible simulate and characterize mobile channels and calculate amounts of lost signal in micro cells and macro cells environments.

RESUMEN

El presente artículo explica e ilustra los principales modelos de predicción de pérdidas de propagación y analiza las principales características de un canal móvil, a través de un software que permite calcular las pérdidas en ambientes celulares tanto de macroceldas como de microceldas además de simular y caracterizar un canal móvil.

El software, cuyo entorno es fundamentalmente didáctico, facilita el análisis de sistemas de comunicaciones móviles y permite una mejor comprensión del comportamiento de un canal móvil así como un mejor manejo de los resultados obtenidos. Permite el cálculo de las pérdidas de propagación para un amplio rango de frecuencias especialmente para las bandas de frecuencia asignadas a los operadores del servicio de telefonía móvil celular, para distancias que van desde los metros para microceldas a los kilómetros para macroceldas y toma en cuenta las diversas correcciones necesarias para caracterizar diferentes entornos móviles.

En lo concerniente a la simulación permite caracterizar un canal móvil multitrayecto utilizando el modelo de dispersores basado en la teoría de rayos, suponiendo que la señal que llega al receptor es la suma de rayos que, partiendo del transmisor, inciden, al menos, en un elemento dispersor y alcanzan el receptor. Además, permite obtener las funciones del

sistema móvil y funciones estadísticas para el análisis, diseño y simulación de comunicaciones móviles

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de telecomunicaciones móviles vienen caracterizados por tres aspectos fundamentales que los hacen diferentes del resto de sistemas en lo que a aspectos de propagación se refiere: cobertura alrededor de un emplazamiento de estación base, existencia de múltiples trayectos entre transmisor y receptor y, la variación continua en los ejes temporal y espacial de los trayectos entre estación base y terminal móvil.

Para poder predecir cuál será el estado en que se pueden encontrar los usuarios del sistema en cada momento, se realizan cuatro actividades en relación con el modelamiento de los canales móviles (microceldas y macroceldas): parametrización y caracterización del canal móvil en banda estrecha, parametrización y caracterización del canal móvil en banda ancha, implementación de modelos de simulación de los canales en estudio y las medidas radioeléctricas destinadas a validar los modelos.

El presente artículo estudia los principales modelos de predicción de pérdidas de propagación utilizados para el modelamiento y diseño de ambientes celulares de macroceldas y ambientes abiertos, como de microceldas, así como las características de banda ancha y banda estrecha que involucran a un canal móvil. Para la parte de modelamiento y diseño de ambientes celulares, es necesario calcular las pérdidas de propagación tanto con modelos de propagación de macroceldas como con modelos de propagación para microceldas y tomar en cuenta las bandas de frecuencia en las que los operadores del

servicio de telefonía móvil celular en el Ecuador trabajan, correcciones para diferentes tipos de ciudades y entornos, tamaños de celdas celulares, etc.

Para la caracterización del canal móvil y la generación de gráficos de funciones estadísticas se utiliza el modelo determinístico de dispersores el cuál está basado en la teoría geométrica de la difracción y mediante el cual se obtienen parámetros estadísticos que caracterizan cada simulación. La herramienta de software desarrollada, genera un ambiente visual, didáctico y simple de usar la que permite una mejor comprensión del comportamiento de un canal móvil, ya que el usuario puede enfocarse en entender más claramente las pérdidas de propagación, resultados de simulaciones y funciones estadísticas mas que en la parte matemática que encierra el estudio de estas.

2. MODELOS DE PROPAGACION Y CANAL MULTITRAYECTO

MODELOS DE PROPAGACION

Las predicciones del nivel de señal y cobertura son de vital importancia en el diseño de sistemas de radio móviles.[1] Básicamente hay 3 maneras de obtener una aproximación del nivel de señal recibido:

- Modelos empíricos: simples pero no del todo exactos.
- Mediciones: exactas pero requieren de gran esfuerzo y tiempo.
- Una combinación de las dos anteriores, se utilizan modelos empíricos corregidos con algunas mediciones de cada una de las zonas a predecir.

Existe un sin número de modelos de propagación los cuáles varían en exactitud dependiendo de la complejidad del modelo y de las características del ambiente donde son aplicados. Los modelos de propagación tanto para microceldas como para macroceldas que son utilizados por el software han sido elegidos por las siguientes características: bajo error que presentan entre el valor estimado y el valor medido, utilización en la vida práctica, son los modelos de propagación recomendados por la International Telecommunication Union – Radiocommunications (UIT-R) y además algunos modelos han sido desarrollados por el Committe of Senior Officials for Scientific and

Technical Research (COST) lo que garantiza confiabilidad en los resultados.

Los modelos seleccionados son los siguientes:

MICROCELDAS:

Modelos Line of Sight (LOS):

- Modelo Lund.
- Modelo UIT-R 8/1.

Modelos Non Line of Sight (NLOS):

- COST-231-Lund.
- Modelo Dresde.

MACROCELDAS:

- Modelo de Egli.
- Modelo de Okumura-Hata.
- Modelo COST-231-Hata.
- Modelo de Ikegami.
- Modelo Walfish-Bertoni.
- Modelo Sakagami-Kuboi.
- Modelo COST-231 (Walfish-Ikegami).

TIPO DE MODELOS PARA CANAL MULTITRAYECTO

Para analizar e investigar el comportamiento y la calidad de las distintas técnicas de multiacceso y modulación digital en condiciones de propagación multitrayecto se han desarrollado diferentes modelos de estos canales, que podemos clasificar como sigue:

- Por su naturaleza:
 - Modelos matemáticos, basados en la representación de las ondas por rayos y su interacción con las estructuras dispersoras. Se les llama modelos de dispersores y se utilizan para estudios teóricos y para la simulación lógica.
 - Modelos físicos, son aquellos en que los fenómenos de multitrayecto se materializan mediante circuitos electrónicos. Se utilizan para la simulación física.
- Por su variabilidad:
 - Modelos estáticos, en los que el receptor es fijo.
 - Modelos dinámicos con receptor móvil
- Por el tipo de tratamiento:
 - Modelos determinísticos, que se caracterizan por manejar estructuras de dispersores no aleatorias.
 - Modelos aleatorios, que caracterizan al canal como un proceso aleatorio multidimensional

Para el desarrollo de los modelos se tiene en cuenta que por los canales de radiocomunicaciones se transmiten portadoras moduladas que son del tipo pasabanda. Sin embargo, el tratamiento matemático es más conveniente realizarlo con sus equivalentes de pasa bajo. Si $s(t)$ y $r(t)$ son las señales pasabanda transmitida al canal y recibida desde el mismo, respectivamente, y si llamamos $x(t)$ y $y(t)$ a sus respectivas representaciones pasabajo equivalente, las relaciones entre estas señales son:

$$s(t) = \text{Re}[x(t) \cdot \exp(j\omega_c t)]$$

$$r(t) = \text{Re}[y(t) \cdot \exp(j\omega_c t)]$$

donde $\omega_c = 2\pi f_c$, siendo f_c la frecuencia portadora [1].

MODELO DETERMINISTICO DE DISPERSORES

Para el estudio de un canal móvil multitrayecto se aplica el modelo que utiliza la teoría de rayos el mismo que supone que la señal que llega al receptor es la suma de N rayos que, partiendo del transmisor, inciden, al menos, en un elemento dispersor y alcanzan el receptor. El estudio se realiza en un intervalo elemental $0 \leq t \leq \Delta t$ en el que la estructura de dispersores es invariante y la variación de la señal modulada $x(t)$ es muy pequeña; así mismo se considera una emisión omnidireccional. La contribución del i -ésimo dispersor a la señal recibida puede expresarse como:

$$r_i(t) = A\rho_i(t) \text{Re}\{x[t - \zeta_i(t)] \exp j\omega_c [t - \zeta_i(t)]\}$$

En el intervalo de tiempo en que trabajamos podemos suponer que $\rho_i(t)$ es constante de valor real y que la función de retardo $\zeta_i(t)$ tiene una variación lineal:

$$\zeta_i(t) = \zeta_i + \dot{\zeta}_i t$$

Luego

$$r_i(t) = A\rho_i \text{Re}\{x[t - \zeta_i - \dot{\zeta}_i t] \exp j\omega_c [t - \zeta_i - \dot{\zeta}_i t]\}$$

Si BW_x es el ancho de banda de $x(t)$ y Δt es lo suficientemente pequeño para que $\zeta \Delta t \ll 1/BW_x$, se puede hacer la siguiente aproximación:

$$x(t - \zeta_i - \dot{\zeta}_i t) \approx x(t - \zeta_i)$$

Sin embargo, no puede hacerse lo mismo con la fase ya que una pequeña variación de ζ_i puede producir grandes cambios de fase.

Por ejemplo, para $\dot{\zeta}_i t = \pi / \omega_c$ la fase queda:

$$j\omega_c \left[t - \zeta_i - \frac{\pi}{\omega_c} \right] = j\pi [2f_c(t - \zeta_i) - 1]$$

Si $t - \zeta_i = 1/f_c$ la variación de fase es de π radianes. Para $f_c = 900\text{MHz}$, esto corresponde a una variación temporal de 0.556 ns . Como ζ_i no se conoce con exactitud, lo ponemos en la forma:

$$\zeta_i = \tau_i + \frac{\theta_i}{\omega_c}$$

Donde τ_i será un valor aproximado de ζ_i y θ_i una variable que describe las variaciones en torno a él con la condición $-\pi \leq \theta_i \leq \pi$.

Con esto tenemos:

$$r_i(t) = A\rho_i \text{Re}\{x(t - \tau_i) \exp j\omega_c (t - \tau_i - \theta_i / \omega_c - \dot{\zeta}_i t)\}$$

donde:

$$\dot{\zeta}_i = \frac{d_i(\Delta t) - d_i(0)}{c\Delta t}$$

Siendo c la velocidad de propagación y d_i las distancias del transmisor al móvil en los puntos inicial y final de estudio.

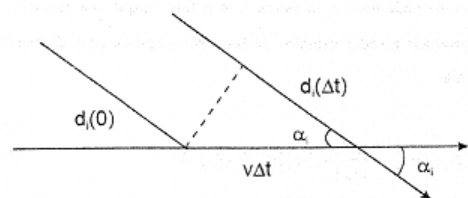


Figura. 2.1. Puntos inicial y final.

De la figura 2.1 se desprende:

$$d_i(\Delta t) - d_i(0) = v\Delta t \cos \alpha_i$$

Siendo v la velocidad del móvil que suponemos constante en el intervalo y α_i el ángulo formado por los vectores velocidad del móvil y dirección del rayo, con lo que queda:

$$\dot{\zeta}_i = \frac{v}{c} \cos \alpha_i, \text{ luego}$$

$$\omega_c \dot{\zeta}_i = 2\pi f_c \frac{v}{c} \cos \alpha_i = 2\pi \frac{v}{\lambda_c} \cos \alpha_i = -2\pi \mathcal{G}_i = -\omega_{di}$$

Donde ω_{di} es la pulsación Dopper debido al i -ésimo dispersor.

La señal recibida queda entonces:

$$r_i(t) = A\rho_i \operatorname{Re}\{x(t - \tau_i) \exp j[(\omega_c + \omega_{di})t - \omega_c \tau_i - \theta_i]\}$$

La señal total será la suma de todas las componentes individuales:

$$r(t) = A \operatorname{Re}\left\{\sum_i \rho_i x(t - \tau_i) \exp j[(\omega_c + \omega_{di})t - \omega_c \tau_i - \theta_i]\right\}$$

Y la expresión pasabajo equivalente será:

$$y(t) = A \sum_i \rho_i x(t - \tau_i) \exp j(\omega_{di}t - \omega_c \tau_i - \theta_i)$$

En el caso particular en que $s(t)$ sea un fador:

$$s(t) = A \operatorname{Re}[\exp(j\omega_c t)]$$

La señal recibida será:

$$r(t) = A \operatorname{Re}\left\{\sum_i \rho_i \exp j[(\omega_c + \omega_{di})t - \omega_c \tau_i - \theta_i]\right\}$$

En estas expresiones quedan patentes los cuatro parámetros que caracterizan a las componentes del multitrayecto; amplitud ρ_i , frecuencia Dopper ω_{di} , retardo τ_i y desfase

θ_i . En general, estos parámetros serán variables aleatorias por lo que $r(t)$ será un proceso estocástico [1].

3. DESARROLLO DEL SOFTWARE

La implementación de los modelos así como la simulación del canal móvil se la programa en Visual C++, usando Visual Basic y Matlab como herramientas auxiliares.

IMPLEMENTACION DE LOS MODELOS DE PROPAGACION

Los modelos seleccionados tanto para microceldas (LOS y NLOS) como para macroceldas son implementados en un ambiente amigable al usuario, el que mediante cuadros de diálogo facilita el ingreso de los parámetros necesarios para realizar los cálculos de las pérdidas de propagación. Igualmente, los resultados son suministrados al usuario de manera objetiva y ordenada.

IMPLEMENTACION DEL MODELO DE DISPERSORES

Para simular el canal móvil se implementa el modelo de dispersores desarrollado en el numeral 2, facilitando al usuario el ingreso de los diversos parámetros a través de cuadros de dialogo amigables. Igualmente, los resultados son suministrados al usuario de manera objetiva e ilustrativa.

IMPLEMENTACION DE LAS FUNCIONES DEL SISTEMA

Las funciones del sistema que se suministran al usuario mediante gráficos en la parte de la simulación del canal móvil son las que más interés tienen para el análisis, diseño, y simulación de sistemas de comunicaciones móviles, por lo tanto ayudarán al usuario del software a tener mayor capacidad de visualización de un entorno móvil.

Las funciones del sistema implementadas son las siguientes: Amplitud Relativa al LOS, Fase de la Señal Recibida, Módulo de la Respuesta en Frecuencia del Canal, Módulo del Espectro de la Señal Recibida, Perfil Retardo-Potencia, Rata de Cruce de Nivel, Duración Promedio de Desvanecimientos y otras.

4. OPERACIÓN DEL SOFTWARE

Para ilustrar los resultados que se obtienen mediante el software en su parte de simulación de modelos de propagación se realiza un ejemplo con el modelo Okumura-Hata, COST 231-Hata, y en su parte de simulador se realiza un ejemplo con un alto número de dispersores.

RESULTADOS MODELO OKUMURA-HATA/ COST 231-HATA

El cuadro de diálogo permite ingresar las variables de entrada frecuencia en MHz, ht en

metros, hm en metros y distancia en kilómetros. Permite además realizar las correcciones del entorno móvil, de altura del móvil y del tipo de ciudad. El cuadro de diálogo realiza los cálculos de pérdidas de propagación de frecuencias menores a 1500 MHz con el modelo Okumura-Hata, para frecuencias mayores a 1500 MHz con el modelo COST 231-Hata y para la frecuencia de 1500 MHz el usuario elige el modelo a utilizar. Para el ejemplo se ingresan los resultados siguientes en las variables de entrada: $f=1900$ MHz, $ht=60$ m, $hm=2$ m, $d=20$ Km. Se realiza las siguientes correcciones: para el entorno móvil se escoge Zona Suburbana, por la altura del móvil se escoge ciudad media o pequeña y por tipo de ciudad se escoge Tipo medio y áreas urbanas.

Los resultados que se obtienen son los siguientes: corrección $a(hm)$ en dB, constante cm, corrección del entorno en dB, pérdida básica en dB y atenuación total corregida, en este caso se tienen los valores siguientes: $a(hm)=1.5$ dB, pérdida básica $L_b=174.64$ dB, $cm=0$ dB, corrección del entorno suburbano -12.11 dB, atenuación corregida 162.53 dB.

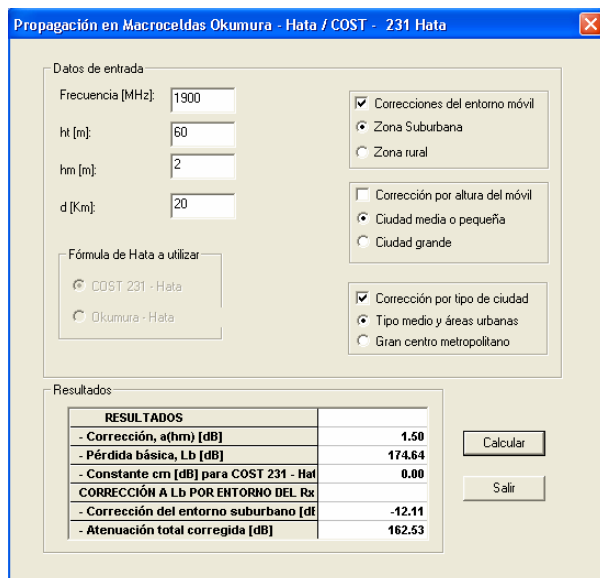


Figura 4.1. Resultados para el modelo Okumura-Hata.

RESULTADOS DEL SIMULADOR DEL CANAL MOVIL

Se simula un canal móvil con las siguientes características: número de dispersores 99, velocidad del móvil 60 Km/h, frecuencia de portadora 850 MHz, valor medio del retardo de los rayos 1 us, valor medio de la potencia del primer rayo -30 dBW, valor medio de la

diferencia de potencia entre el primer y último rayo 30 dB. La distancia recorrida siempre será de 10 metros para que el tiempo de simulación sea pequeño por lo tanto el cuadro de edición para la longitud recorrida siempre estará deshabilitado para el usuario. Los resultados de la simulación del canal móvil con los parámetros ingresados se ilustran en la figura 4.2.

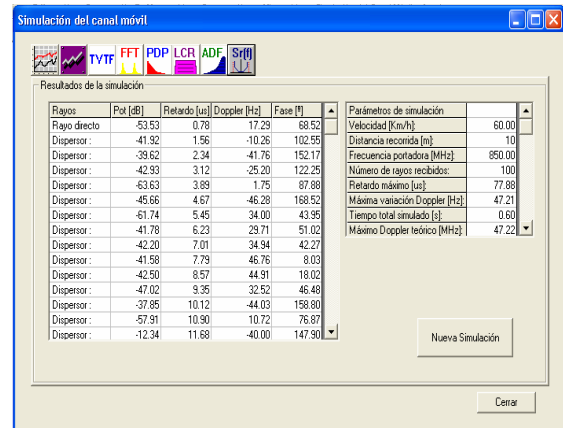


Figura 4.2. Resultados de la Simulación

Se obtienen los resultados de los niveles de potencia en dB, el retardo en us, la frecuencia Doppler en Hz y la fase en grados tanto para el rayo directo como para los rayos que llegan de los dispersores. Estos cuatro parámetros caracterizan a las componentes de multirayecto por lo que permiten obtener la señal recibida por el usuario móvil mediante el modelo de dispersores o sea la suma de los rayos que partiendo del transmisor llegan al receptor incidiendo en un elemento dispersor.

Se tiene también un cuadro de los parámetros de simulación y las estadísticas más importantes como el retardo máximo o sea el rayo que llegó mas tarde al usuario móvil, la máxima variación Doppler entre los rayos, el tiempo total simulado y el máximo Doppler teórico. Para observar los gráficos de las funciones del sistema se presionan los botones ubicados en la parte superior del cuadro de diálogo de la figura 4.2

5. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un software que permite el cálculo de las pérdidas de propagación en canales móviles, con los modelos de predicción más importantes y difundidos tanto

para microceldas como para macroceldas, así como para un amplio rango de frecuencias especialmente para las bandas de 850 MHz. y 1900 MHz.

Se ha desarrollado un simulador para un canal móvil mediante el cual se pueden obtener resultados matemáticos y estadísticos importantes para caracterizar el comportamiento de canales móviles.

El desempeño correcto de un modelo de propagación depende de las características de donde sea aplicado por lo que se deben analizar estas características e implementar el modelo de predicción que más se ajuste a las necesidades del diseño.

Los cuatro parámetros que caracterizan a las componentes multitrayecto en un canal móvil: amplitud, frecuencia Doppler, retardo y desfasamiento son aleatorios por lo tanto el proceso de simulación de un canal móvil es estocástico. Por esto los resultados de la simulación varían aún cuando se mantengan los valores de las variables de entrada.

El software de modelos de predicción permite al usuario variar los parámetros de entrada en un amplio rango por lo que se pueden tener un sin número de combinaciones posibles. Es el usuario entonces el que debe variar estos parámetros y comparar los resultados obtenidos ya que en el presente trabajo se ilustró apenas un ejemplo de lo que el programa es capaz de realizar.

Se puede realizar una comparación entre las pérdidas obtenidas con diferentes modelos de predicción que cumplan con las mismas características de diseño para así obtener una predicción de pérdidas de propagación que se ajusten más a la realidad.

Con el simulador de canales móviles se puede estimar la potencia, la fase y el espectro de la señal que recibe un terminal móvil, mediante estos parámetros se puede analizar la calidad de recepción de señal que tiene un usuario que se mueve a una velocidad determinada.

Es necesario estudiar los gráficos de las funciones del sistema para obtener un conocimiento más amplio de las características de un canal móvil ya que gracias a estos se pueden obtener resultados muy importantes a la hora de simular físicamente un canal o de verificar la calidad del servicio que se va a ofrecer.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] HERNANDO, José; PÉREZ, Fonlan, *Introduction to Mobile Communications Engineering*, 3ra Edición, Artech House, Boston 1999.
- [2] SENDIN, Alberto, *Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles*, 2da Edición, McGraw Hill, España 2004.
- [3] CAVERS, James, *Mobile Channel Characteristics*, Primera Edición, Springer, USA 2003.
- Comunicaciones móviles y modelos, <http://www.comunidadmovil.com.co>.
- Modelado propagación del canal móvil <http://www.usc.es/ursi99/articulos.html>,
- CDMA, <http://iee.fing.edu.uy/ense/assign/cdma>.
- Radiocomunicaciones móviles, <http://www.itu.int/itudoc/itu-r/publica>.
- Comunicaciones inalámbricas, <http://www.cio.com/technology/wireless>.
- Programación en Visual C++, Visual Basic y Matlab, <http://www.thecodeproject.com>.

Biografías



Christian Cevallos T.

nació el 23 de mayo de 1980 en la ciudad de Quito y obtuvo su título de Ing. Electrónico en la ESPE en el 2006.

Sus áreas de interés son el networking, la

programación en lenguajes visuales y la conmutación en centrales de telefonía celular.



Darío Duque Cajas

Nació en Quito, el 9 de diciembre de 1962 y obtuvo su título de Ing. Electrónico en 1988 ESPE. Egresado de la Maestría en Ciencias en Electrónica en 1996.

Master en Comunicaciones Móviles 2004 Politécnica de Catalunya España. Areas de conocimiento adquiridas y desarrolladas: GSM, CDMA, GPRS, UMTS, Servicios y Aplicaciones 2.5G y 3G. Redes IP.

Rubén León Vásquez nació el 30 de Abril de 1962, obtuvo el título de Ing. Electrónico en la ESPE-1985, su grado de Magíster en Ciencias en Brasil-1992 y sus áreas de interés son el Procesamiento Digital de Señales, Análisis Espectral Digital y su aplicación en los Sistemas de Telecomunicaciones.