

Simulación de enlaces Wi-Fi y UMTS con J-Sim para estimar el BER y PER

*Simulation of Wireless and UMTS links J-Sim to estimate
the BER and PER*

Francisco Javier González Páez *

Jorge Eduardo Ortiz Triviño**

Fecha de recepción: abril 30 de 2010

Fecha de aceptación: mayo 20 de 2010

Resumen

Este artículo presenta la implementación de una nueva herramienta de simulación, desarrollada en J-Sim para las capas físicas y de enlace de los sistemas Wi-Fi y UMTS, para estudiar el comportamiento de los enlaces de estas dos tecnologías referente al error generado y hacer su respectivo análisis. En particular, aquí se presentan resultados preliminares de las medidas de la tasa de error de bit, BER, y la tasa de error de paquete, PER; además se presentan otras simulaciones genéricas, independientes de la tecnología, para mostrar la utilidad de la herramienta desarrollada.

Palabras Clave: simulación, J-Sim, Wi-Fi, estimación del error, UMTS, *bit error rate*, BER, *packet error rate*, PER.

Abstract

This paper depicts the deployment of a new simulation tool, developed in J-Sim, for Physical and Link layers of Wi-Fi and UMTS systems, for the study of its behavior related to its error and for analysis making. Being more specific, we present preliminary results of Bit Error Rates (BER) and Packet Error Rate (PER) measures and additionally we depict other simulations to show the tool's usefulness.

Key Words: Simulation, J-Sim, Wi-Fi, Error estimation, UMTS, *bit error rate*, BER, *packet error rate*, PER.

* MsC(c) Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: fgonzalezp@unal.edu.co

** MsC en Estadística. Ms en Ingeniería de Telecomunicaciones. PhD (c) en Ingeniería de Sistemas, Ms en Filosofía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: jeortizt@unal.edu.co

Introducción

EN los últimos años, las redes heterogéneas han cobrado importancia dentro del marco de las redes 4G, lo que genera la necesidad de estudiar y comparar de forma paralela pares de tecnologías que pueden llegar a trabajar conjuntamente. Específicamente en este artículo se desarrolla una herramienta de simulación en J-Sim (herramienta basada en Java) para simular el par de tecnologías, *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) y Wi-Fi (estándar IEEE 802.11). El interfuncionamiento de este par de tecnologías aprovecha las ventajas de ambas como son; la movilidad de las redes UMTS y el bajo precio y altos anchos de banda de las redes Wi-Fi. La herramienta descrita en este artículo se desarrolló utilizando la herramienta de J-Sim la cual permite emular el comportamiento de los circuitos integrados. Este sistema, además, tiene la ventaja de ser totalmente flexible dado que, al utilizar el lenguaje de programación Java, es fácil la creación o modificación de las estructuras necesarias para realizar la simulación del sistema deseado.

En el transcurso de este documento se presentara los modelos de propagación de las señales para UMTS y Wi-Fi, las formas como fluyen los datos en estas dos tecnologías, una breve descripción de la herramienta de simulación J-Sim, una breve descripción del diseño del simulador, los resultados de las simulaciones y lo que se concluye de lo observado.

Modelos de propagación

Para simular la tasa de error de bit – BER del inglés *Bit Error Rate* – de los enlaces se debe, en primer lugar, determinar la potencia recibida. Para esto se utilizaron los modelos de propagación descritos más adelante. En segundo lugar, al conocer la potencia

recibida y el ruido electromagnético, se halla la relación señal - ruido que determina la BER utilizando las ecuaciones de las Ecuaciones 5 y 6, obtenidas de mediciones hechas en los artículos “*Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement*” (del Prado Pavon; 2002) y “*BER Performance Analysis of Rake Receiver in Rayleigh Fading Channel for UMTS environment*” (Kumar; 2010). El ruido - ruido electromagnético depende mucho del ambiente en el que se encuentra la antena receptora; por esta razón se hicieron varias mediciones con varias relaciones señal ruido diferente. Como se dijo anteriormente, finalmente se utilizan las ecuaciones Ecuaciones 5 y 6 para, a partir de la relación señal ruido, obtener la BER de Wi-Fi y UMTS, respectivamente.

La potencia recibida de una señal determina su correcta interpretación, por lo que en la planificación y simulación de comunicaciones inalámbricas es importante establecer un modelo de propagación, el cual está estrechamente relacionado con el *Path Loss*, que estime los resultados reales.

Todos estos modelos parten del la propagación de las señales en el vacío cuya ecuación se expone en la Ecuación 1 (Mishra; 2007).

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Ecuación 1

Con la ecuación (1) se obtiene P_r , que es la potencia recibida a partir de parámetros propios de los dispositivos, que son P_t : la potencia transmitida, G : la ganancia de la antena que trasmite, y G_r : la ganancia de la antena receptora; a su vez, se adquieren parámetros propios de la afectación por el recorrido de la señal, que son la distancia y el λ (longitud de onda) de la señal portadora. El *Path Loss* es la atenuación independiente

de los dispositivos, lo que hace que sea la misma ecuación de la Ecuación 1 sin P_t , G_t ni G_r , como se muestra en la Ecuación 2, donde L es la atenuación producida por el *Path Loss*. En la Ecuación 3 se ve la misma ecuación de la Ecuación 1 expresada en decibelios, donde f está en megahercios y d en kilómetros [1].

$$L_0 = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Ecuación 2

$$L_0 = 32,4 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d)$$

Ecuación 3

En la realidad, los enlaces inalámbricos que se utilizan no obedecen al modelo de propagación en el espacio vacío, por lo que se han desarrollado otros modelos más precisos. Para las redes celulares se utilizan los siguientes dos modelos de propagación: el modelo Okumura-Hata, para celdas mayores a un kilómetro, y el modelo Walfish-Ikegami, para celdas de menor tamaño. En este reporte se tratará únicamente el modelo Walfish-Ikegami con línea de vista, expuesto en (4), y ampliamente descrito en el capítulo 4 de la acción 231 de la COST (Cooperación Europea en el campo de la ciencia y la investigación técnica) (Kürner; 1999: 134).

$$L = 42,6 + 20 \log_{10}(f) + 26 \log_{10}(d)$$

Ecuación 4

En la Ecuación 4, L está en decibelios, f en megahercios y d en kilómetros.

El modelo Walfish-Ikegami es válido para un rango de frecuencias entre 800 y 2000 megahercio, una altura de la antena de la estación con bases entre 4 y 50 metros, una altura del dispositivo móvil de 1 a 3 metros y una distancia de entre 0.02 y 5 kilómetros.

El modelo de propagación para la simulación de los enlaces Wi-Fi está descrito en el Anexo C de la recomendación IEEE 802.15.2. Este modelo tiene dos ecuaciones que se utilizan dependiendo de la distancia entre el nodo móvil y el punto de acceso lo que se describe en la Tabla.

Ecuación	Condiciones
Path loss = $40.2 + 20 \log_{10}(d)$,	$0.5 \text{ m} \leq d \leq 8 \text{ m}$
Path loss = $58.5 + 33 \log_{10}(d/8)$	$d > 8 \text{ m}$

Tabla 1. Ecuaciones del *Path Loss* en 2.4 GHz.

La distancia d está en metros y este modelo es válido para distancias mayores a 0.5 metros.

La Ecuación 5, con la que se obtiene la BER a partir de la relación señal - ruido para Wi-Fi, se deduce de la función correspondiente a la modulación *Complementary Code Keying* para 11Mbs (CCK 11), utilizado en el estándar 802.11b, que se muestra en la Figura 1, obtenida de las mediciones realizadas para describir el comportamiento del enlace Wi-Fi, para un estudio sobre el desarrollo de una estrategia de adaptación de enlace (del Prado Pavon; 2002).

$$BER_{W-F} = 5.4 * SNR^{-4.976}$$

Ecuación 5

La ecuación 6 se obtiene de la Figura 2 para $k=1$, que describe el comportamiento del enlace UMTS como resultado del análisis de desempeño de un receptor RAKE, con un solo usuario obtenido de Kumar (2010).

$$BER_{Wi-Fi} = 5.4 * SNR^{-4.976}$$

Ecuación 6

En estas ecuaciones SNR y E_b/N_0 están dadas en decibelios. Además para dejar la ecuación de la Ecuación 6 en términos de

SNR en vez de E_b/N_0 se utiliza la ecuación de la Ecuación 7.

$$BER_{UMTS} = 0.022 * (Eb/No)^{-4.9133}$$

Ecuación 7

Donde fb es igual a 800 kbps y BW a 5Mhz en el sistema UMTS simulado.

Figura 1. Relación BER y SNR de Wi-Fi (del Prado Pavon; 2002).

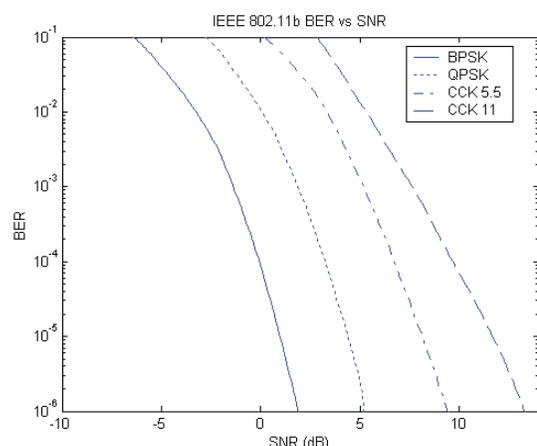
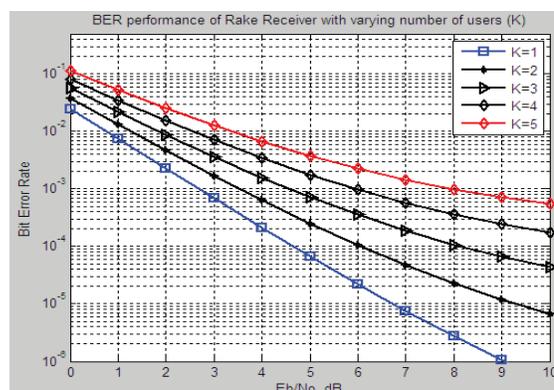


Figura 2. Relación BER y E_b/N_0 de UMTS (Kumar; 2010).



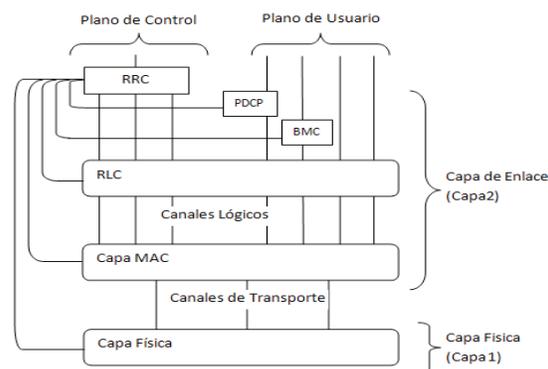
Flujo de Datos

Flujo de Datos en UMTS

En la Figura 3 se muestra como fluyen los datos a través del sistema UMTS, donde se tienen dos planos; el plano de control, l por

donde fluye los datos destinados al control, y el plano de usuario, que es donde fluyen los datos de las capas superiores. La capa física, capa 1, utiliza el medio físico para generar varios canales físicos, utilizando acceso múltiple por división de código (en inglés *Code Division Multiple Access* CDMA). La capa de enlace, capa 2, se divide en dos subcapas. La capa MAC que mapea varios canales lógicos sobre los canales físicos y la capa control de enlace de radio (RLC de inglés *Radio Link Control*) que maneja los paquetes para hacer posible la segmentación y retransmisión entre otras utilidades. El protocolo de convergencia de paquete de datos (PDCP, en inglés *Packet Data Convergence Protocol*) solo existe para los servicios basados en paquetes y su principal función es la compresión de los encabezados del paquete. El protocolo de control Broadcast/multicast (BMC, en inglés *Broadcast/multicast control protocol*) se utiliza para el manejo de los mensajes de difusión. El protocolo de Control de recursos de radio (RRC, en inglés *Radio Resources control*) maneja los recursos de la capa 1 y 2 por medio de mensajes RRC.

Figura 3. Arquitectura de Interfaz de Radio Capa 1 y 2 (Holma; 2006: 150).



El datagrama en UMTS tiene una duración constante de 10 ms y la cantidad de información que éste contiene depende del factor de esparcimiento (*spreading factor*) que tenga el datagrama, cuyo valor oscila entre 1 y 255.

El formato de este datagrama depende del canal lógico en el que se transmite.

Flujo de datos en Wi-Fi (Caballar; 2005)

Los datos provienen de las capas superiores en formato IP del terminal de origen y pasa a la capa de control lógico de enlace (LLC, en inglés *Link Layer Control*). De la capa LLC pasa a la capa de control de acceso al medio (MAC, en inglés *Media Access Control*) que, a su vez, se los pasa a la capa física. En este punto los datos fluyen desde la capa física del terminal de origen hasta la capa física del terminal de destino. Desde allí la información fluye a las capas superiores del terminal de destino de forma inversa: de la capa física a la MAC, de la MAC a la LLC y de la LLC a las capas superiores.

La capa física se divide en dos capas; la capa dependiente al medio físico (PMD, en inglés *Physical Medium Dependent Layer*) que es la capa que maneja el medio de difusión y la capa de procedimientos de convergencia a la capa física (PLCP, en inglés *Physical Layer Convergence Procedures*) que acopla el medio de difusión con la capa MAC, teniendo en cuenta que existen varios medios de difusión pero solo una capa MAC dentro del estándar IEEE 802.11.

Los paquetes de datos que se intercambian entre las capas LLC y MAC se conocen como unidad de datos de Servicio MAC (MSDU, *Mac Service Data Unit*) y los paquetes de datos que se intercambian entre las capas MAC y física se conocen como Unidad de Datos del Protocolo MAC (MPDU, *MAC Protocol data Unit*). En la Figura 4 se muestra lo anterior y las entidades de gestión de la capa MAC y Física.

Figura 4. Flujo de Datos en la arquitectura Wi-Fi (Caballar; 2005).



La herramienta J-Sim

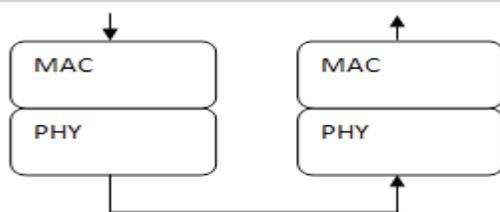
J-Sim es una herramienta desarrollada por la universidad de Illinois en sus comienzos llamada JavaSim y, posteriormente renombrada, J-Sim debido a conflictos sobre los derechos del nombre JAVA que pertenecen a Sun Microsystems. Esta herramienta es un ambiente de simulación basado en componentes independientes, construido sobre la noción del Modelo de Programación de Componentes Autónomos, que imita el comportamiento de los circuitos integrados, donde cada circuito es independiente de los demás y se comunica con los demás circuitos integrados por medio de sus puertos; esto le da modularidad a la programación. Esta herramienta está basada en componentes similar a COM/COM+, JavaBeans™ o CORBA y está totalmente desarrollado en Java, por lo que la implementación virtual (codificación) de los elementos a simular se realizan en el lenguaje de Java, donde los elementos son codificados como clases. Vale la pena aclarar que existe otra herramienta del mismo nombre desarrollada por la universidad de Washington y que no tiene ninguna relación con esta (Hou; 2005).

Diseño del Simulador

Tanto para simular el enlace Wi-Fi como UMTS se implementaron dos capas: la capa física, PHY, y la capa de control de acceso al medio, MAC. La capa PHY introduce el error de bit de forma aleatoria, por lo que

tiene una distribución uniforme en contraste a los errores por ráfagas. La capa MAC organiza el datagrama para ser enviado, incluyendo el encabezado y el CRC. Éste último para detectar errores en el paquete. La Figura 5 muestra el flujo de datos entre las capas para la simulación de ambas clases de enlaces; sin embargo, a pesar de tener el mismo flujo entre las capas, estas se implementan con códigos diferentes.

Figura 5. Flujo de datos en la simulación.



Para Wi-Fi se implementan solamente las capas PMD y PLCP en la capa PHY del simulador y la MAC en la MAC del simulador. Para UMTS la capa física se implementa en PHY del simulador y la MAC en la MAC del simulador.

Los datos que llegan de las capas superiores a la MAC son empaquetados en el respectivo formato del datagrama para Wi-Fi y UMTS, donde se le añade un encabezado y un código de redundancia cíclica CRC. Aunque en el sistema UMTS no se utiliza el término encabezado, sí existe información adicional a los datos que cumplen en parte la misma función del encabezado en Wi-Fi. En la capa PHY se introduce el error causado por la atenuación de la señal al propagarse por el espacio y el ruido electromagnético presente.

Resultados de las simulaciones

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones. En cada figura se muestran los resultados para una relación potencia, ganancias y ruido RP determinado

en la Ecuación 8, donde G_t es la ganancia de la antena transmisora, G_r es la ganancia de la antena receptora, P_{tx} es la potencia de transmisión y P_n es la potencia del ruido.

$$RP = \frac{G_t * G_r * P_{tx}}{P_n} \quad \text{Ecuación 8}$$

Las Figuras 6 y 7 muestran la BER en relación a la distancia para varias relaciones de potencia transmitida, ganancias y ruido para Wi-Fi y UMTS, respectivamente. Y las Figuras 8 y 9 muestran la PER correspondiente a cada vez, para un datagrama de longitud de 128 bytes de información. Las mediciones hechas para Wi-Fi se realizaron en un rango de distancia entre 0 y 50 metros, mientras para UMTS se realizaron en un rango entre 0 y 500 metros. Adicionalmente, en la Figura 10 se muestra cómo la longitud del datagrama afecta la PER.

Figura 6. BER Wi-Fi.

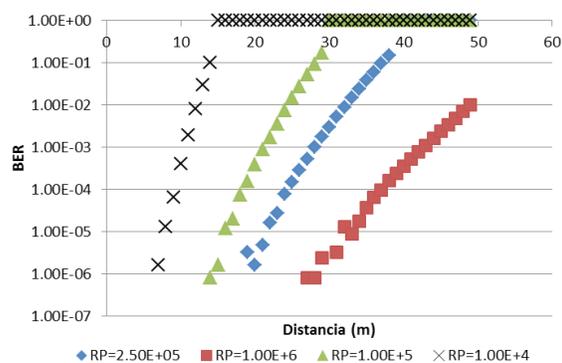
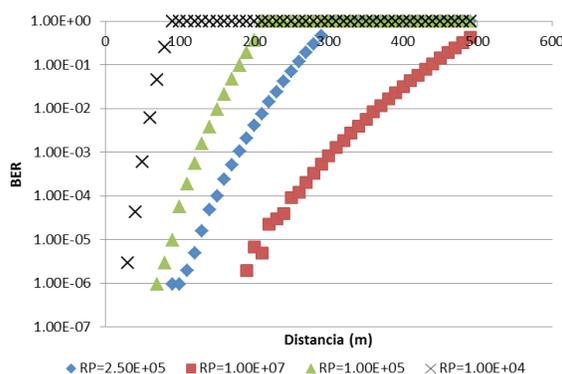
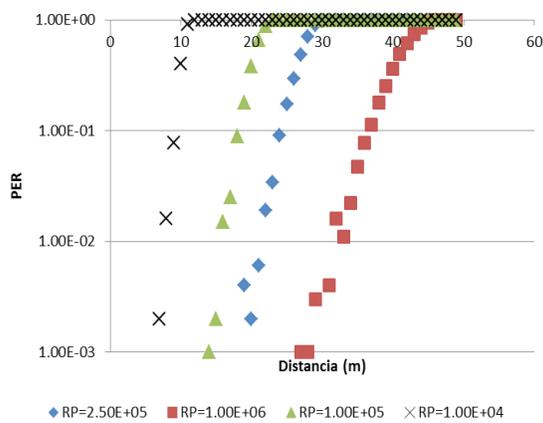
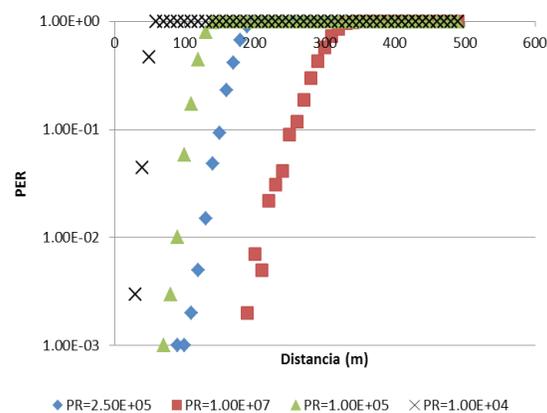


Figura 7. BER UMTS.

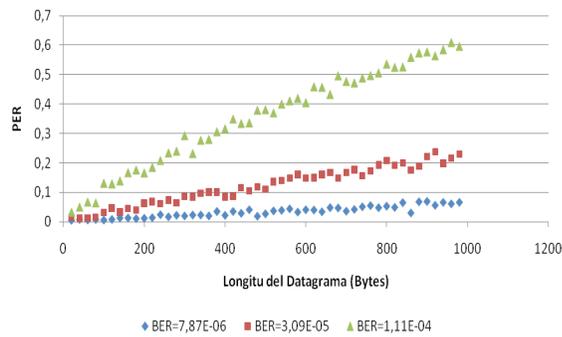


Se observa que las Figuras 6, 7, 8 y 9 utilizan una escala logarítmica, dado que la variación de la BER y de la PER es exponencial. También se observa que el sistema UMTS es menos susceptible al ruido si observamos la BER para una relación RP similares. Esto se debe al uso adicional del ancho de banda en UMTS lo que le da más inmunidad al ruido, como se ve en la Ecuación 7.

Figura 8. PER Wi-Fi.

Figura 9. PER UMTS.


Con respecto a la PER, vemos que la relación BER y PER es igual para ambas tecnologías: Wi-Fi y UMTS, si observamos la PER para una determinada BER. Esto se debe a que la longitud de los datagramas es 128 bytes, más el encabezado para las simulaciones descritas en las Figuras 6, 7, 8 y 9.

Sin embargo, si observamos la Figura 10 se puede ver que la PER depende de la longitud del datagrama.

Figura 10. Relación entre la longitud del datagrama y la PER.


Conclusión

Las conclusiones a las que se llegó en el desarrollo de estas simulaciones fueron que la tasa de error de bit depende de la capa PHY y la tasa de error de paquete depende de la BER y de la longitud del paquete, donde el uso de paquetes de mayor longitud aumentan la PER. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el uso de paquetes de menor tamaño disminuye la información transmitida, dado que aumenta el porcentaje de bytes destinados a los encabezados de los paquetes. Si la cantidad de información efectiva, información diferente al encabezado, aumenta con la longitud del datagrama, pero la pérdida de paquetes también aumenta, esto significa que existe una longitud óptima que magnifica la transmisión de información dependiente de la BER.

Referencias

- Caballar J. A., (2005). *WIFI como construir una red inalámbrica*. México: Alfaomega.
- del Prado Pavon J. y Choi S. (2003). *Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal*

Strength Measurement., Conferencia Internacional sobre Comunicaciones (IEEE), USA.

Holma H., Toskala A. (2004). *WCDMA for UMTS* (cuarta edición). John Wiley & Sons Ltd, Inglaterra.

Hou J., (2005), *DRCL J-Sim*, Disponible en <http://j-sim.cs.uiuc.edu/>

Kumar P., Kanaujia B. K. y Gangadharappa M. (2010). *BER Performance Analysis of Rake Receiver in Rayleigh Fading Channel for UMTS environment*. International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2(6), p.p. 1690-1698

Kürner T. (1999). *Propagation Prediction Models*. Dusseldorf : E-Plus Mobilfunk GmbH,

Mishra A. R. (2007). *Advanced Cellular Networks planning and Optimisation.* , John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9780470057629.ch3