

Estudio comparativo de modelos de simulación para canal físico 802.16

Sergio Almagro-Carrión, Fernando Cerdan, Juan J. Alcaraz, Joan García-Haro
 Dpto. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
 Universidad Politécnica de Cartagena
 Campus Muralla de Mar. Edificio C/Dr. Fleming s/n.
 30202 Cartagena
 Teléfono: 968325368 Fax: 968 32 5338
 E-mail: {sergio.almagro, fernando.cerdan, juan.alcaraz, joang.haro}@upct.es

Resumen. Los modelos de simulación son herramientas clave dentro de la evaluación de prestaciones en los sistemas de comunicación actuales. Asimismo, para valorar las mejoras introducidas en el proceso de optimización, hay que tener en cuenta la información acerca de los efectos introducidos en el sistema. Para Wimax y otros estándares inalámbricos, la calidad de una simulación depende especialmente de las particularidades en el modelado a nivel de enlace. El presente documento resume las aproximaciones más destacadas en la bibliografía científica actual en referencia al modelado de la capa física 802.16e-2005, identificando las más adecuadas para simulaciones enfocadas a caracterización del sistema Wimax a nivel TCP/IP.

1 Introducción

Las tecnologías inalámbricas de acceso móvil se esfuerzan en explotar el mercado de los servicios de banda ancha. La velocidad, la calidad de servicio y la reducción de costes son factores clave en el negocio de los servicios emergentes.

Las características que diferencian a la tecnología Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) de otras aplicables en su mismo ámbito se encuentran fundamentalmente en la capa física. A ese nivel, hay numerosos modelos predictivos aproximados para el comportamiento de los canales radio. En general, todos buscan reflejar el comportamiento del sistema ante un canal variante en el dominio frecuencial y temporal.

La dificultad estriba en la elección del modelo óptimo para cada caso de estudio, teniendo en cuenta cómo influyen las mejoras que aportan los mecanismos introducidos por esta tecnología. Se persigue un claro objetivo: caracterizar el sistema mediante el menor conjunto posible de parámetros y variables.

2 Características de nivel físico

La capa física de Wimax Mobile está basada en el estándar 802.16e-2005 [1], que hereda parte de sus características de otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi.

La capa física puede resumirse en una serie de bloques, que son: aleatorizador, correctores de errores (FEC), separador y el bloque de modulación y transmisión al canal (fig.1).

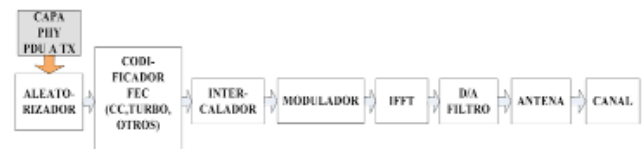


Fig. 1 Bloques de la capa física en transmisor.

Primero, el bloque aleatorizador cifra el flujo de datos a transmitir y los códigos correctores de errores introducen redundancia reduciendo la probabilidad de error. Tras ello, el intercalador entremezcla símbolos de diferentes PDU's con objeto de minimizar errores de ráfaga. Finalmente, la información alcanza al bloque modulador y se envía al canal. En el receptor se invierten los efectos de cada bloque anterior.

2.1 Efectos del canal

El canal introduce una serie de efectos no deseables que hay que tener en cuenta a la hora de modelarlo. Entre estos se incluyen las pérdidas de trayecto, multicamino, el fenómeno de ensombrecimiento, los desvanecimientos, la dispersión temporal, ruidos e interferencias provenientes de estaciones adyacentes. Además debido a la movilidad, aparecen desplazamientos de frecuencia y una alta variabilidad temporal del canal radio causadas por el desplazamiento del usuario.

No todos los efectos son mitigados por los mecanismos de la estación base (BS). En especial, los desvanecimientos rápidos y los derivados de la movilidad de la estación móvil (MS) tienen efectos perniciosos en la calidad de la señal. Por lo tanto, deben tenerse muy en cuenta en una simulación.

2.2 Medidas de compensación

La introducción de modulaciones, estimación de canal y ecualización avanzadas permite reducir el impacto de un buen número de efectos en el canal. Destacan como principales las siguientes:

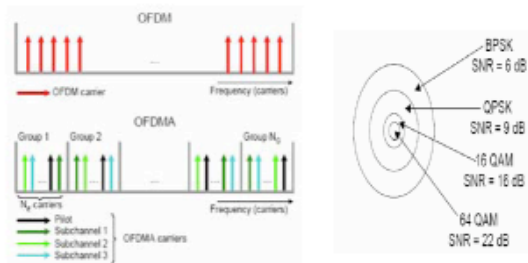


Fig. 2 Modulación adaptativa ortogonal OFDM.

OFDM adaptativa: Diseñada para evitar el comportamiento dispersivo del canal. Divide la señal de banda ancha en subportadoras de periodo suficiente como para evitar que haya interferencia intersimbólica (ISI) (fig2, izda.). Cada subportadora adapta la modulación según la SNR en el canal. Wimax utiliza 4 técnicas (BPSK, QPSK, QAM16, QAM64) que varían en robustez y eficiencia espectral (fig2, dcha.).

Códigos convolucionales adaptativos: Introducen bits redundantes en una secuencia digital para proporcionar una corrección de errores. Son obligatorios los Reed Solomon (RS) y opcionalmente los códigos turbo convolucionales (CTC).

Otras técnicas: Wimax además cuenta con técnicas de diversidad espaciales como MIMO, y la codificación espacio temporal STC permiten compensar efectos del desvanecimiento. Estas no son obligatorias en el estándar.

3 Modelos de simulación

Todo modelo de nivel físico, debe estar provisto de una interfaz entre éste y los mecanismos de capas superiores como p.ej H-ARQ. La mayoría de los autores resumen el comportamiento de este nivel mediante dos parámetros: la tasa de error a nivel de bit (BER), y la de bloque (BLER o PER). Ambos se expresan en función de SNR.

3.1 Estimación del canal: SNR

Numerosos estudios han analizado estos efectos con objeto de elaborar modelos predictivos para estimar la intensidad de la señal recibida. En ellos se tienen en cuenta efectos de la propagación tanto a gran escala como los desvanecimientos a pequeña escala. Los primeros predicen las atenuaciones que varían lentamente en el espacio y tiempo, mientras que los segundos predicen cambios en la intensidad de la señal en distancias de unas pocas longitudes de onda. La fig. 3 muestra cada uno de los efectos.

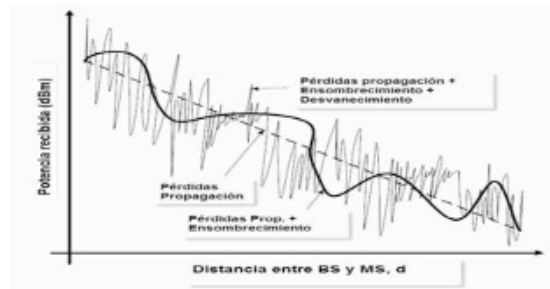


Fig. 3 Efectos del canal en la intensidad de la señal

El autor de [2] establece un criterio según el cual divide los modelos en dos clases: teóricos y empíricos.

Los modelos teóricos se clasifican en deterministas y estadísticos. Su ventaja es que son aplicables a un margen amplio de entornos, especialmente a efectos a gran escala. Su desventaja es la alta complejidad y coste computacional a la hora de relacionar los fenómenos con parámetros prácticos como p.ej. la altura de una antena.

La solución a dicho problema la tienen los modelos estadísticos. Estos son utilizados para estimaciones de desvanecimientos, p.ej. Ricean [3] para entornos LOS y Rayleigh [4] para entornos NLOS.

El modelo Rayleigh predice la intensidad de la envolvente que forman los múltiples rebotes de señal recibidas. Este modelo supone un alto número de rebotes de la señal transmitida sin correlación entre ellos. En este modelo, la intensidad de la señal sigue una f.d.p. de tipo Rayleigh (1):

$$f_{|r|}(x) = \frac{2x}{P_r} e^{-x^2/P_r}, \quad x \geq 0, \quad (1)$$

Donde x es la distancia y P_r es la potencia media recibida considerando los efectos de ensombrecimiento y pérdidas de propagación, abordados más adelante.

Otro efecto del canal a considerar por un modelo es el cálculo de las variaciones de potencia a consecuencia de desplazamientos de la frecuencia Doppler. Modelos como el de Jake [5] o el de Clarke [6] abordan un canal Rayleigh introduciendo el efecto de selectividad frecuencial considerando rebotes multicamino distribuidos uniformemente.

Por otro lado, encontramos los *modelos empíricos*. Su ventaja está en que reflejan la influencia de parámetros más prácticos en la señal recibida. Su desventaja es que no son generalizables. No obstante, tanto [7] como [8] corroboran que modelos como el de Walden [9] sirven como referencia a la predicción de la propagación en canales Wimax. Otro ejemplo de modelos empíricos es el modelo 3GPP [10].

Una alternativa muy utilizada son los *modelos semi-empíricos*, que aproximan de forma bastante precisa el comportamiento del canal con respecto a parámetros prácticos, y cuyo coste computacional es inferior a los estadísticos y deterministas.

Dentro de este grupo podemos encontrar los 3GPP2 [11] y los seis modelos SUI de la universidad de Standford [12].

3.2 Modelado del BER.

El cálculo de este parámetro depende, además de la anterior estimación de la SNR, del esquema de modulación elegido, de la técnica OFDM y de las ganancias obtenidas por elementos de diversidad espacial.

Diversos textos como [13] admiten una relajación en la consideración de canal variante, tomando un canal constante al menos durante la transmisión de una trama (block fading). Esto permite abordar el modelo con cadenas de Markov de j estados finitos definidos entre dos umbrales de SNR (A_j, A_{j+1}), donde la probabilidad de estar en una región SNR [13] viene dada por:

$$\pi_i = p(\gamma \in R_j) = p(A_j \leq \gamma < A_{j+1}). \quad (3)$$

y el BER medio se extrae de (4):

$$\bar{P} = \sum_{j=1}^n \pi_j \cdot P(\bar{\gamma}_j) \quad \text{con} \quad \bar{\gamma}_j = \frac{\int_{A_j}^{A_{j+1}} \gamma \cdot f(\gamma) d\gamma}{\pi_j} \quad (4)$$

Donde γ es la envolvente de la señal desvanecida, $f(\gamma)$ la probabilidad asociada a ese valor y $\bar{\gamma}_j$ el valor medio de la envolvente para la región j -ésima.

El resultado no es del todo extrapolable al caso de 802.16e, dado que los mecanismos de la capa física tienen un efecto claro en el BER y en el BLER conjuntamente [8], lo que exige una simulación para obtener las curvas SNR – BER.

3.3 Relación entre BLER y BER

Es común considerar una distribución i.i.d. de errores de bits, con lo que la relación entre el BLER y el BER resultaría de tipo binomial. Sin embargo, a la hora de obtener la probabilidad de descarte de la trama entra en juego un decisor (decodificador tipo Viterbi* en receptor) y la capacidad de corrección de los códigos convolucionales. Autores como [13] inciden en que dicho cálculo del BLER es inadecuado, y proponen un estimador distinto, que no supone uniforme la distribución de los errores y contempla errores internos de los decodificadores.

En [8] se asume la anterior suposición de que existe una correlación entre bits y se lleva a cabo la

estimación mediante curvas obtenidas a partir de simulaciones en Matlab.

4 Conclusiones

En este artículo se presentan los factores a considerar y modelos válidos de un simulación a nivel físico Wimax. Finalmente, se considera como la opción más razonable la de utilizar un modelo mixto de canal Rayleigh o semiempírico SUI, complementado con datos de simulaciones para aproximar el BLER en diferentes escenarios.

5 Agradecimientos

TIC-TEC 07/02-0002 (PLEDAX), Fundación Séneca y al "programa de becas asociadas a la realización de proyectos en I+D, innovación y transferencia de tecnología 2007", de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la RM".

6. Referencias

- [1] IEEE. 802.16e ieee "Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands", 2005.
- [2] Andrews, Jeffrey; Ghosh, Arunabha; Muhamed, Rias. *Fundamentals of Wimax*. Prentice Hall. ISBN: 0132225522. 2007.
- [3] S. O. Rice. *Statistical properties of a sine wave plus random noise*. *Bell Systems Technical Journal*, 27:109–157, 1948.
- [4] Carruthers, Robert Ward. *Improved Markov chain modeling of the Rayleigh fading channel*. (2007).
- [5] Jake W C, "Microwave Communication", Jone Wiley, 1974.
- [6] "T.S. Rappaport, Wireless Communications", Prentice Hall, 2002
- [7] Rial, Alvaro Valcarce, et al. "Empirical propagation model for WiMAX at 3.5 GHz in an urban environment." *Microwave and optical technology letters*, 2008
- [8] Betancur, L., Hincapie, R.C., and Bustamante, R. "WiMAX Channel - PHY Model in NS2" ACM International Conference Proceeding Series. (2006).
- [9] M. Frank J. Rowsell. "Urban propagation measurements and statistical path loss model at 3.5 Ghz". IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2005.
- [10] 3GPP TS 25.201, "Physical Layer-General Description".
- [11] 3GPP2 C.R1002-0, CDMA2000 Evaluation Methodology, 2004
- [12] IEEE 802.16.3c00/49r2. *Interim Channel Models for G2 MMDS Fixed Wireless Applications*. IEEE 802.16 Working Group.2000. 13p.
- [13] "A new analytic approach to evaluation of packet error rate in wireless networks" 14, R., and K.Salamatian. *Communication Networks and Services Research Conference*, 2005.

*También Reed Solomon o convolucional, pero al no haber estudios o análisis de su PER o BLER , requiere una estimación mediante simulación.