

Evaluación del punto de conmutación unicast-multicast para ahorro de potencia de transmisión en redes MBMS

On the evaluation of the unicast-multicast switching point in MBMS networks for transmission power saving

Raúl Tamayo Fernández¹, Ángel Gabriel Andrade Reátiga², Arturo Serrano Santoyo¹, Roberto Conte Galván¹*

¹Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas, CP. 22860. Ensenada, México.

²Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Benito Juárez S/N. CP. 21280. Mexicali, México.

(Recibido el 13 de febrero de 2013. Aceptado el 02 diciembre de 2013)

Resumen

La oferta de aplicaciones y servicios multimedia para terminales móviles se hace principalmente a través de las redes celulares de tercera y cuarta generación (3G/4G) existentes. El envío de los datos en este tipo de redes se realiza en modo unicast, es decir, a cada usuario se le dedican recursos de radio (ancho de banda y potencia de transmisión) durante toda la sesión. Esto presenta algunos inconvenientes, tales como agotamiento rápido del ancho de banda del operador móvil, alto consumo de potencia de transmisión, incremento de la interferencia, y costos altos del servicio. Los operadores móviles requieren de nuevas tecnologías que optimicen el uso de sus recursos de radio y así lograr un mayor índice de penetración de los servicios. De ahí la necesidad de cambiar de paradigma hacia un modo de transmisión en multicast o broadcast, en el que una misma señal pueda recibirse por varios usuarios simultáneamente, de tal forma que los recursos de radio se puedan compartir. Para ello, la solución técnica sobre redes celulares LTE (Long Term Evolution) se dio en la especificación 3GPP Release 6, llamada Servicio Multimedia por Broadcast/Multicast (MBMS, Multimedia Broadcast Multicast Service). La especificación de MBMS permite que una transmisión cambie de modo unicast a modo multicast a partir de un “punto de conmutación”, que determina el momento de hacer el cambio para obtener un ahorro tanto en ancho de banda como en potencia de transmisión. Este artículo

* Autor de correspondencia: teléfono: + 52 + 646 + 1750500 ext. 23213, fax: + 52 + 646 + 1750597, correo electrónico: rtamayo@cicese.mx (R. Tamayo)

presenta una evaluación para determinar los puntos de conmutación de modo de transmisión óptimos en el estándar MBMS para diferentes ambientes de propagación inalámbrica. Además, dado que MBMS se puede utilizar en topologías de Red de Frecuencia Única (SFN, Single Frequency Networks), que tienen la propiedad de “ganancia de red”, también se determina el ahorro de potencia de transmisión adicional que se obtiene en esta configuración.

----- *Palabras clave:* Transmisión multicast, redes de frecuencia única, MBMS

Abstract

Current multimedia services are mainly offered through existing 3G and 4G mobile network infrastructure. Data transmission using these kind of networks is accomplished using multicast mode; in this case, the network allocates radio resources (bandwidth and transmission power) during the whole communication process. This has several drawbacks, such as bandwidth and transmission power consumption, interference and higher operational expenses. Mobile operators require new technologies to optimize their radio resources in order to get more effective operation geared to increase the customer base. Hence the need for a paradigm shift towards multicast or broadcast modes, in which several users can receive the same signal simultaneously, sharing the radio resources. In relation to the above, 3GPP provided a technical solution in the LTE Release 6 standard, which is specified as Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS). MBMS allows unicast to multicast transition from a “switching point” that determines the time and conditions for bandwidth and power transmission savings. This paper presents an evaluation to determine the optimal switching point under the MBMS standard for different wireless contexts. Furthermore, given that MBMS allows the use of Single Frequency Networks (SFN) topologies, with network gain properties, we also determine the additional power savings for this configuration.

----- *Keywords:* Multicast transmission, single frequency networks, MBMS

Introducción

Las tecnologías inalámbricas emergentes, junto con las tecnologías de las redes IP (Internet Protocol), están cambiando la forma en que la gente se comunica, trabaja y entretiene. Debido a estos avances es posible ofrecer comunicación en cualquier instante, en cualquier lugar, con cualquier persona. Para el año 2017, dos terceras partes del tráfico móvil que se genere en el mundo corresponderán a tráfico de video [1]. Con las capacidades que ofrecen las redes celulares

actuales no es posible atender tal crecimiento, y desplegar nuevas redes dedicadas para difusión de video (tales como DVB-H y ATSC-M/H) es muy costoso. Una solución emergente, propuesta por el consorcio 3GPP (3rd Generation Partnership Project), es la especificación MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service). MBMS es un servicio punto-a-multipunto para transmisión desde una única fuente a múltiples receptores, permitiendo que los recursos de red sean compartidos entre ellos [2].

La especificación MBMS establece dos tipos de servicio al usuario, denominados “Streaming” y “Download” [3]. El servicio de “download” permite la transmisión unidireccional de archivos, por ejemplo, para la entrega de noticias o actualizaciones de software. El servicio de “streaming”, que permite la transmisión continua de datos, se utiliza para la descarga de música en vivo o de eventos deportivos.

Punto de conmutación de modo de transmisión

Uno de los principales beneficios del sistema MBMS está en la forma de administrar los recursos de red, ya que con un solo flujo de datos es posible ofrecer el servicio a múltiples usuarios simultáneamente. Dependiendo del número de usuarios que soliciten un contenido vía MBMS, la red selecciona, ya sea, una transmisión punto-a-punto (unicast) o una punto-a-multipunto (multicast).

En la transmisión unicast se utiliza un canal dedicado (DCH, Dedicated Channel) para cada solicitud de servicio. Cada canal lleva el mismo contenido y tienen la capacidad de controlar la potencia de transmisión, de manera que sólo se utilice lo necesario para atender al usuario en turno. La potencia de transmisión total que se requiere para servir a múltiples usuarios a través de canales DCH depende principalmente del número de usuarios, su ubicación (distancia a la estación base), el entorno de propagación, la tasa de transmisión y la tasa de bits erróneos (BER, Bit Error Rate) deseada. En cambio, en una transmisión punto-a-multipunto se utiliza un sólo canal de acceso común (FACH, Forward Access Channel) para atender todas las solicitudes de servicio. La potencia de transmisión de la estación base es fija e independiente del número de usuarios y se determina con base a la distancia máxima que se desea cubrir para una calidad de servicio específica. A diferencia de la transmisión unicast, la transmisión multicast es eficiente cuando existe una alta tasa de solicitudes de servicio en la celda, pero ineficiente para una baja cantidad de solicitudes [4].

La tasa de solicitudes de servicio en una red MBMS es variante con el tiempo, por lo que es conveniente utilizar un modo de transmisión dinámico para eficientar el uso de los recursos de la red. Esto es, que el sistema seleccione entre utilizar un modo de transmisión unicast o multicast considerando la cantidad de solicitudes de servicio existentes. Al momento en que se realiza el cambio entre un modo de transmisión y otro se le conoce como “punto de conmutación”. Actualmente la especificación que describe la tecnología MBMS no establece un criterio que permita determinar el valor adecuado del punto de conmutación. Una propuesta es que la conmutación entre los modos de transmisión se realice con base a la potencia de transmisión total que requieren los usuarios activos y su distribución en el área de cobertura [5]. En algunos trabajos se reportan valores del punto de conmutación que van desde cinco hasta nueve usuarios [6, 7]. Sin embargo, dado que la potencia de transmisión que se requiere para una calidad de servicio determinada es dependiente del entorno de propagación inalámbrico, y existe interés en esquemas de ahorro de potencia de transmisión [8, 9], en este artículo se presenta un análisis del valor del punto de conmutación considerando tres tipos de ambientes de propagación: rural, urbano y urbano denso.

MBMS en Redes de Frecuencia Única

Para asegurar que la experiencia de usuario sea uniforme sobre toda el área de cobertura y que la utilización de los recursos espectrales sea eficiente, los sistemas con transmisión en broadcast o multicast utilizan el concepto de Redes de Frecuencia Única (SFN, Single Frequency Network) [10]. En una SFN todos los transmisores se sincronizan para transmitir la misma señal, a la misma frecuencia y al mismo tiempo, de tal modo que las terminales reciben la misma señal proveniente de varios transmisores, de forma que al sumarlas se logra una mejor calidad de señal. En la especificación de la tecnología MBMS se establece su utilización en redes de frecuencia única [2], lo que se denomina

como MBMS over a Single Frequency Network (MBSFN). La transmisión de información multimedia en MBSFN mejora la relación señal a ruido, con respecto a solo utilizar MBMS [11]. Esto es especialmente útil en los bordes de las celdas, ya que mientras en MBMS se produce una interferencia intercelulas debido a que no hay sincronía de señales, en MBSFN esa interferencia se traduce en una ganancia por diversidad, también conocida como ganancia de red SFN (SFN network gain), con lo que se mejora la cobertura en entornos urbanos densos [12, 13].

En general, MBSFN ofrece mejor desempeño comparado con las transmisiones punto-a-punto o punto-a-multipunto de una sola celda

[11]. Por ello, otro aspecto que se trata en este artículo es determinar el punto de conmutación en una red MBSFN en diferentes ambientes de propagación y ejemplificar el ahorro de potencia de transmisión que se obtiene al operar en esta configuración.

Modelo de evaluación

Para evaluar el punto de conmutación se desarrolló una arquitectura que permite simular el canal de comunicación inalámbrico para los ambientes de propagación rural, urbano, y urbano denso. La arquitectura diseñada se muestra en la figura 1.

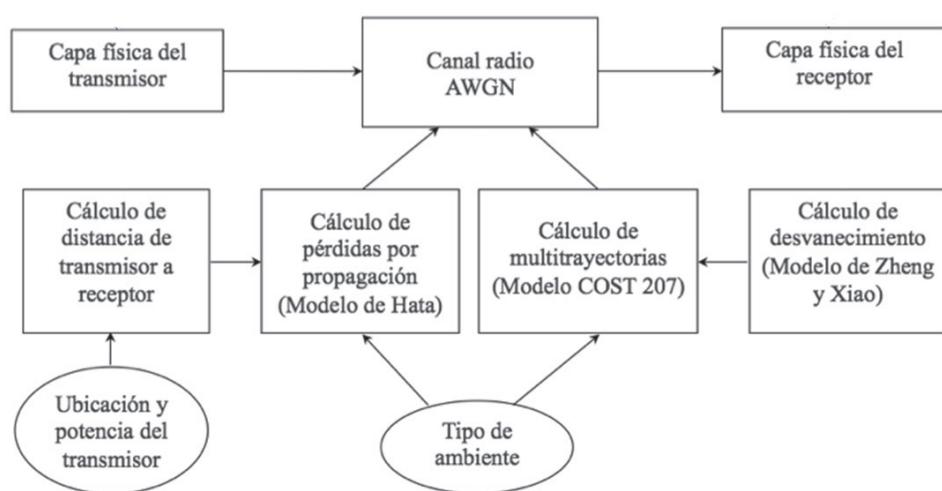


Figura 1 Arquitectura de evaluación del punto de conmutación

El bloque “Capa física del transmisor” realiza las operaciones de la capa física de LTE, entre las cuales se incluyen: cálculo del código de redundancia cíclica (CRC, Cyclic Redundancy Check); la aplicación del turbo código; la modulación (QPSK, 16QAM ó 64QAM); el mapeo a elementos de los recursos; y la multicanalización por división de frecuencias ortogonales (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Esta señal es la que se transmite en el bloque “Canal radio”, donde se pueden evaluar tres ambientes de propagación: rural, urbano, y urbano denso. Para cada uno de

los ambientes de propagación se modelaron tres efectos importantes que actúan sobre la señal: las pérdidas por propagación, el desvanecimiento por sombreo, y la interferencia multirayos [14]. Para calcular las pérdidas por propagación se utilizó el modelo de Hata, que predice la atenuación total a lo largo de un enlace de microondas terrestre o de algún otro tipo de comunicaciones celulares [15]. Para representar el desvanecimiento por sombreo de la señal, cuando ésta se difracta o refleja por algún objeto presente en el ambiente, se seleccionó el modelo de desvanecimiento propuesto por

Zheng y Xiao [16]. Los efectos de la interferencia constructiva o destructiva generados por las múltiples trayectorias de la señal se modelaron de acuerdo a las especificaciones de potencia promedio y retardo de propagación definidos por el grupo de trabajo COST 207, que considera cuatro categorías (RICE, CLASS, GAUSS1 y GAUSS2) [17, 18]. El tipo de ambiente a evaluar es un parámetro de entrada para los modelos de Hata y COST 207. La ubicación y potencia de cada uno de los transmisores que conforman la red a evaluar son parámetros de entrada fijos (el transmisor en el centro de cada celda), mientras que los receptores se ubican en diferentes puntos de un área de cobertura de la red de forma circular de acuerdo a una distribución normal, de manera que es posible obtener un trazado de la calidad de la señal en diferentes puntos del área de cobertura.

En el receptor se realizan los procesos inversos (demulticanalización OFDM, demodulación en banda base y decodificación de bits) para tratar de recuperar los datos originales, con lo cual se puede realizar el cálculo del BER.

La topología de red que se utilizó se muestra en la figura 2, la cual consiste de una celda central (área a evaluar) rodeada por dos anillos de 6 y 12 celdas respectivamente; el efecto de interferencia de celdas más allá de esta distancia no se consideró significativo. Los parámetros de operación de la red se muestran en la tabla 1.



Figura 2 Topología para evaluación de red MBMS

Tabla 1 Parámetros de operación para evaluación de red MBMS

Parámetro	Valor
Distancia entre estaciones base	1 Km
Radio de la celda	0,577 Km
Potencia Tx máxima (celda bajo estudio)	20 W
Potencia Tx otras celdas	5 W
BER objetivo	1×10^{-3}
Ambientes de propagación	Rural, Urbano y urbano denso

Resultados y discusión

Evaluación del punto de conmutación en una red MBMS

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación de una red MBMS como la descrita en la sección de modelo de evaluación. En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos para un ambiente rural, y se puede observar que los valores para el punto de conmutación son 24, 19 y 13 usuarios, para coberturas de 50%, 75% y 95%, respectivamente, ya que para esa cantidad de usuarios, la potencia de transmisión de los canales dedicados excede la potencia requerida por el canal multicast. De forma similar, en las figuras 4 y 5 se presentan los resultados para los ambientes urbano y urbano denso, de donde se obtiene que los valores de los puntos de conmutación para un ambiente urbano son de 19, 13 y 9 usuarios, mientras que para un ambiente urbano denso son de 15, 10 y 6 usuarios, para coberturas de 50%, 75% y 95%, respectivamente.

Como se puede observar, en los ambientes urbano y urbano denso se requiere cambiar de un modo de transmisión unicast a multicast con menos usuarios, comparados con los resultados presentados en [7]. Lo anterior se debe a que en este trabajo se considera el efecto de las multirayos y el desvanecimiento por sombreo de la señal, fenómenos que degradan la calidad de la señal según el ambiente en que se propague. De manera que para obtener un BER de 1×10^{-3} , la estación base transmite con mayor potencia, tanto en los canales dedicados como en el canal multicast.

La suma acumulativa de estos incrementos de potencia de transmisión que requieren los canales

dedicados traen como consecuencia que se logre el umbral de conmutación con menos usuarios.

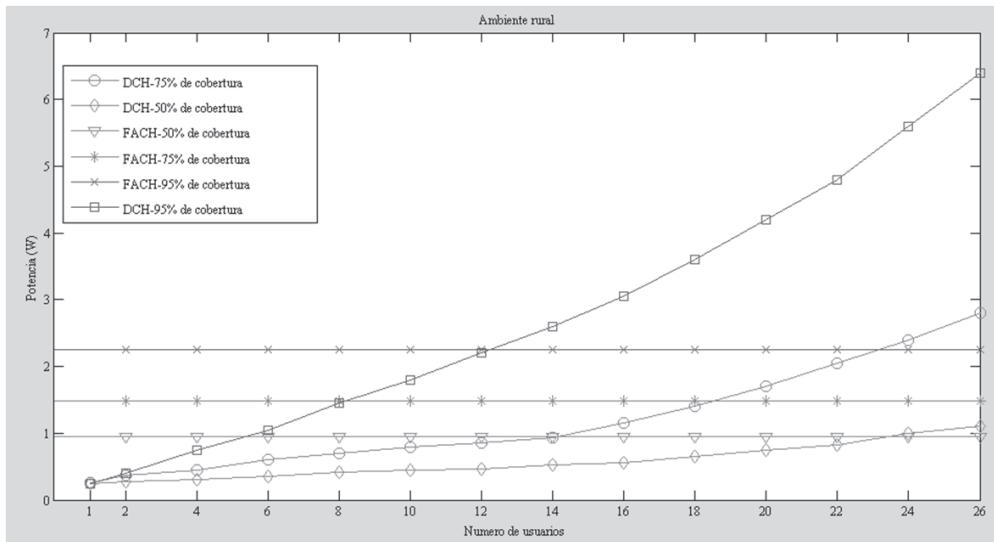


Figura 3 Potencia vs Número de usuarios en ambiente rural

Otro aspecto importante que se puede observar en las figuras 3, 4 y 5, es la diferencia en el número de usuarios en el que se debe hacer la conmutación de modo de transmisión según el tipo de ambiente. Para una cobertura del 50% en un ambiente rural, la conmutación se logra cuando 24 usuarios solicitan el mismo contenido, mientras que en el ambiente urbano denso el cambio ocurre con 14 usuarios.

Esta diferencia se debe a que en un entorno urbano denso se requiere que la estación base transmita con mayor potencia para poder superar los obstáculos que se presentan en la propagación de la señal para una misma calidad de servicio; lo que conlleva a que con menos cantidad de usuarios se alcance el umbral de potencia de transmisión para hacer el cambio de modo de transmisión.

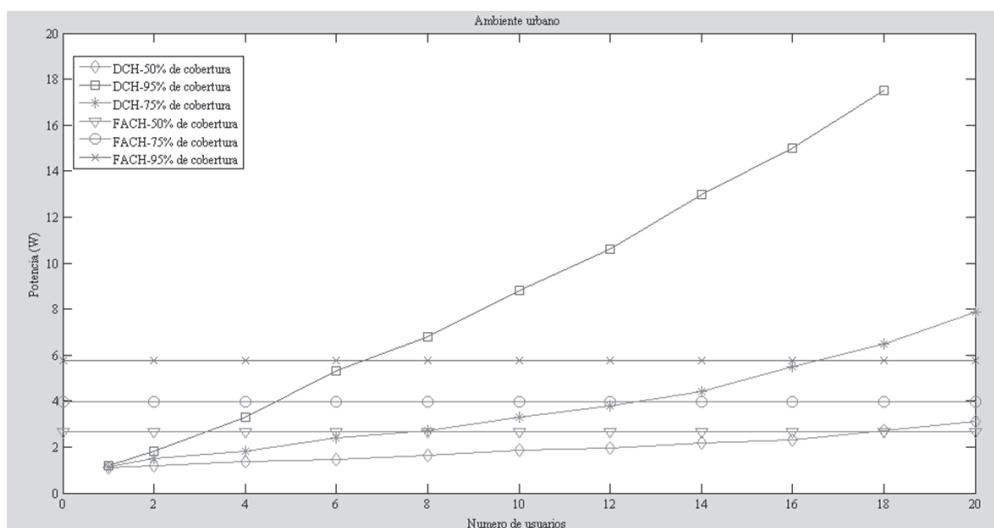


Figura 4 Potencia vs Número de usuarios en ambiente urbano

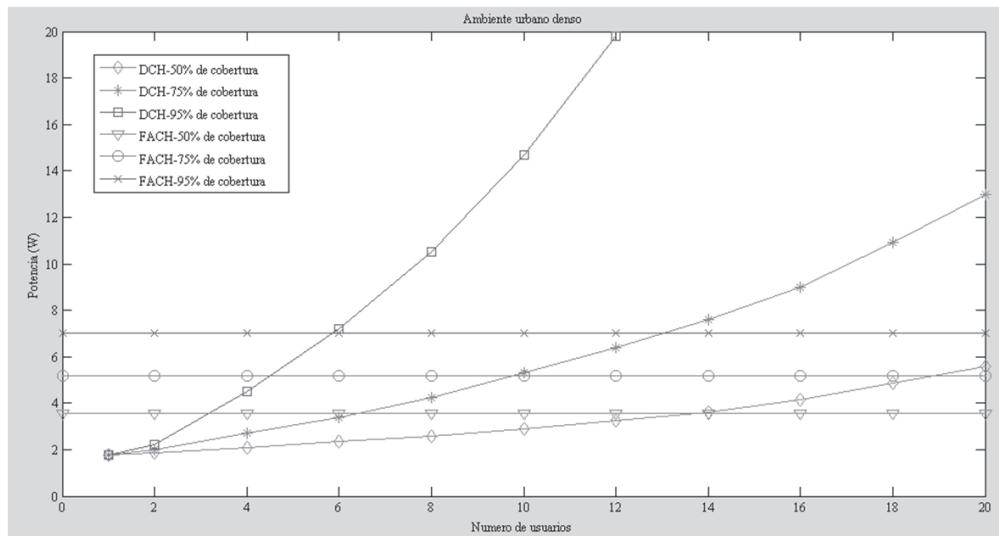


Figura 5 Potencia vs Número de usuarios en ambiente urbano denso

Por otra parte, debido a que en un ambiente urbano denso se incrementa la probabilidad de que un mayor número de usuarios solicite el mismo servicio, es importante que se realice el cambio del modo de transmisión de forma oportuna ya que además del ahorro de potencia y de ancho de banda (ya que estos usuarios dejan de utilizar los canales dedicados para empezar a utilizar el canal de acceso común), también se reduce la interferencia hacia celdas vecinas al haber un menor número de transmisiones simultáneas.

Evaluación de punto de conmutación en una red MBSFN

Los resultados presentados en la evaluación del punto de conmutación de una red MBMS

consideran que las celdas vecinas son interferentes (aunque transmiten el mismo contenido en la misma frecuencia, lo hacen fuera de sincronía). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las celdas se pueden configurar en un esquema de Red de Frecuencia Única y aprovechar las ventajas que éstas ofrecen (específicamente la ganancia de red). Esto es lo que se denomina una MBSFN (MBMS over a Single Frequency Network).

En las figuras 6, 7 y 8 se presentan los resultados de la evaluación del punto de conmutación para una MBSFN con la misma topología de red y parámetros de operación que los utilizados para evaluar la red MBMS con celdas fuera de sincronía.

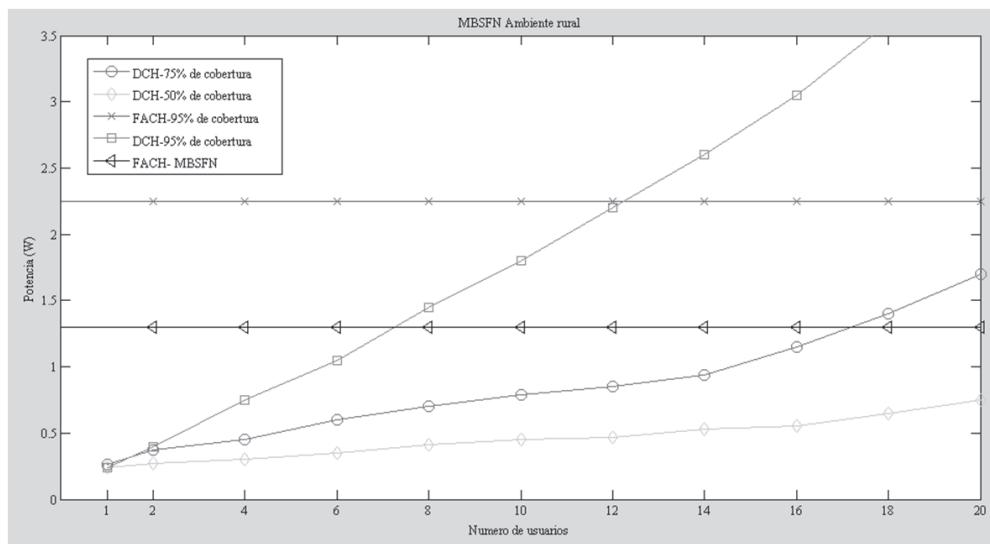


Figura 6 Punto de conmutación de MBSFN en ambiente rural

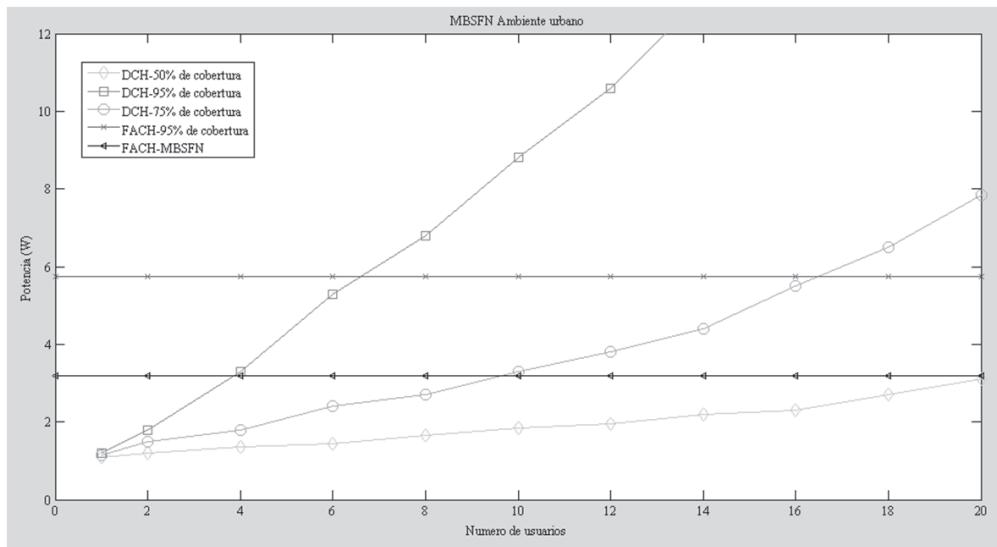


Figura 7 Punto de conmutación de MBSFN en ambiente urbano

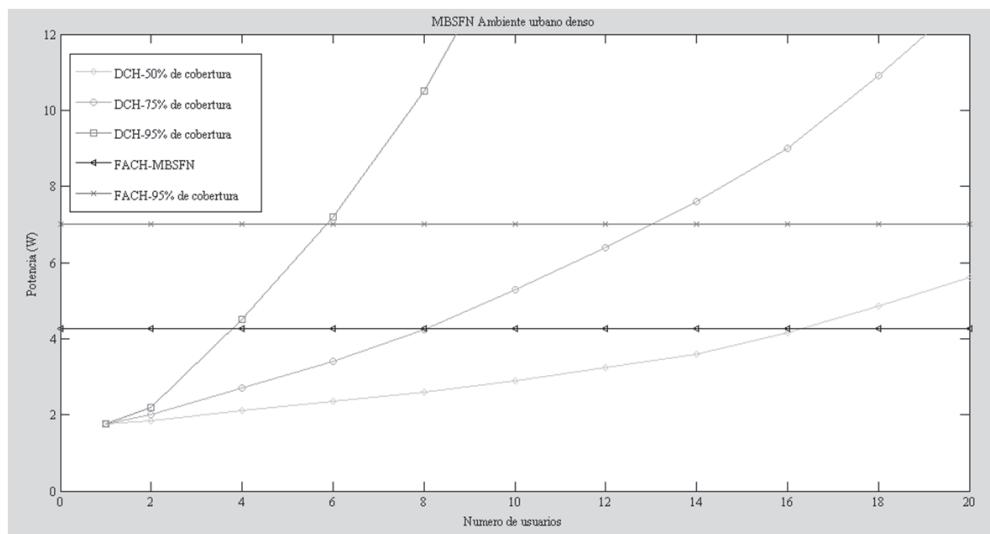


Figura 8 Punto de conmutación de MBSFN en ambiente urbano denso

Analizando los resultados del ambiente rural presentados en la figura 6, se observa que, para obtener una calidad de señal con BER de 1×10^{-3} en el canal multicast de una MBSFN, la estación base requiere una potencia de transmisión de 1,3 W, lo que representa un ahorro de 0,95 W, comparado con la potencia requerida en una red MBMS por el canal de acceso común (2,25 W; ver figura 3). Esto implica que el punto de conmutación de modo de transmisión se obtenga con un número menor de usuarios. Por ejemplo, si se considera una cobertura de la red MBMS de 95%, el punto de conmutación se logra en 13 usuarios (ver figura 3), mientras que en el esquema de MBSFN se reduce a 8 usuarios (ver figura 6). Para los ambientes urbano y urbano denso se obtienen ahorros de potencia aún más significativos: 2,56 W (figura 7) y 2,73 W (figura 8), respectivamente. Con respecto al punto de conmutación, para el ambiente urbano disminuye de 7 a 4 usuarios, mientras que para el ambiente urbano denso se reduce de 6 a 4 usuarios. Esto indica que al utilizar una configuración de MBSFN las celdas vecinas dejan de interferir y contribuyen a lograr una mejor calidad de la señal, por lo que el punto de conmutación de modo de transmisión se alcanza con un menor número de usuarios, lo que implica una menor potencia de transmisión para lograr un BER de 1×10^{-3} .

Los resultados aquí presentados ejemplifican el comportamiento del sistema con las condiciones indicadas; si se desean obtener valores específicos para otras condiciones de la red (diferente potencia de transmisión, diferente área de cobertura, etc.) es necesario realizar simulaciones con esos nuevos parámetros, ya que no hay una relación directa entre los valores de entrada y los de salida. Una ventaja del modelo de simulación que se diseñó es que permite el cambio de varios parámetros de entrada, sin necesidad de hacer nueva programación, y así obtener nuevos valores de salida.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, es posible lograr un ahorro de potencia de transmisión y de ancho de banda al utilizar redes de comunicaciones móviles con capacidad para transmisión en broadcast o multicast, como las redes con la funcionalidad de MBMS. Para optimizar el ahorro de potencia de transmisión es importante determinar correctamente el valor del punto de conmutación de modo de transmisión, ya que se encontró que difieren significativamente de acuerdo a las condiciones de propagación en que se implante la red celular. También se demostró que utilizar la configuración en Red

de Frecuencia Única con MBMS (MBSFN) disminuye el valor del punto de conmutación del modo de transmisión, obteniendo ahorro en ancho de banda y potencia de transmisión, adicionales a los obtenidos por la sola conmutación entre el modo de transmisión de unicast a multicast.

Referencias

1. Cisco. *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012–2017*. Available on: http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html. Accessed: January 17, 2013.
2. 3GPP TS 23.246. *Technical Specification Group Services and System Aspects; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description (Release 6)*. 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification. Valbonne, France. 2007. pp. 1-48.
3. ETSI TR 126 946. *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) user service guidelines (3GPP TR 26.946 version 11.1.0 Release 11)*. Technical Report. European Telecommunications Standards Institute. Sophia, France. 2011. pp. 1-42.
4. J. Chuang, M. Sirbu. “Pricing Multicast Communication: A Cost-Based Approach.” *Telecommunication Systems*. Vol. 17. 2001. pp 281-297.
5. A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos, G. Tsichritzis. “Performance evaluation of LTE for MBSFN transmissions”. *Wireless Networks*. Vol 18. 2012. pp. 227-240.
6. A. Soares, A. Correia, J. Silva, N. Souto. *UE Counting Mechanism for MBMS Considering PTM Macro Diversity Combining Support in UMTS Networks*. IEEE 9th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications. Manaus, Brazil. 2006. pp. 361-365.
7. A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos, E. Rekkas. *Evaluation of the multicast mode of MBMS*. IEEE 18th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC’07). Athens, Greece. 2007. pp. 1-5.
8. C. Wu, X. Sun, T. Zhang. *A Power-saving Scheduling Algorithm for Mixed Multicast and Unicast Traffic in MBSFN*. Proceedings on Computing, Communications and Applications Conference. Hong Kong, China. 2012. pp. 170-174.
9. H. Shin. “Energy- and latency-efficient broadcasting mechanism supporting long-term evolution e-multimedia broadcast/multicast service transmission.” *IET Communications*. Vol. 7. 2013. pp. 1644-1655.
10. M. Chari, F. Ling, A. Mantravadi, R. Krishnamoorthi, R. Vijayan, G. Walker, R. Chandhok. “FLO Physical Layer: An Overview.” *IEEE Transactions on Broadcasting*. Vol. 53. 2007. pp. 145-160.
11. 3GPP R1-071049. *Spectral efficiency comparison of possible MBMS transmission schemes: Additional results*. Technical Report. 3rd Generation Partnership Project. St. Louis, Missouri, USA. 2007. pp. 1-4.
12. D. Gómez, A. Salieto, A. García, J. Moserrat, N. Cardona. “Planificación de una red DVB-H en entorno urbano.” *Sistemas y Telemática*. Vol. 5. 2007. pp. 13-34.
13. G. Malmgren. “Pulse shaping in OFDM based single frequency networks.” *Wireless Personal Communications*. Vol. 10. 1999. pp. 155-173.
14. R. Prasad. *OFDM for Wireless Communications Systems*. 1st ed. Ed. Artech House. London, England. 2004. pp. 1-272.
15. M. Hata “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services.” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol. 29. 1980. pp. 317-325.
16. Y. Zheng, C. Xiao. “Simulation Models With Correct Statistical Properties For Rayleigh Fading Channels.” *IEEE Transactions On Communications*. Vol. 51. 2003. pp. 920-928.
17. M. Pätzold. *Mobile fading channels*. 1st. ed. Ed. John Wiley & Sons. New York, USA., 2002. pp.1-418.
18. M. Failli. *COST 207: Digital Land Mobile Radio Communications*. Final Report. Commission of the European Communities. Luxembourg, Luxembourg. 1989. pp. 1-386.