

TRANSMISIÓN HÍBRIDA MULTICAST-UNICAST DE SERVICIOS DE DESCARGA DE FICHEROS EN REDES MÓVILES 3G CON MBMS Y HSDPA



AUTOR

Ana Fernández Aguilera
Ing. De Telecomunicación
Investigadores del Grupo de Comunicaciones Móviles
Universidad Politécnica de Valencia
Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia
anferag@teleco.upv.es
ESPAÑA

AUTOR

David Gómez Barquero
Msc. en Telecomunicación
Investigadores del Grupo de Comunicaciones Móviles
Universidad Politécnica de Valencia
Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia
dagobar@iteam.upv.es
ESPAÑA

AUTOR

Narcís Cardona Marcet
Dr. En Telecomunicación
Investigadores del Grupo de Comunicaciones Móviles
Universidad Politécnica de Valencia
Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia
ncardona@dcom.upv.es
ESPAÑA

Fecha de Recepción del Artículo: Febrero 20 de 2008 **Fecha de Aceptación del Artículo: Abril 14 de 2008**

Artículo Tipo 1

RESUMEN

Este artículo presenta y analiza el problema de la transmisión multicast-unicast de servicios de descarga de archivos a varios usuarios simultáneamente en redes móviles 3G con HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) y con MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services). HSDPA soporta transmisiones de alta velocidad (hasta varios Mb/s) punto a punto (p-t-p), mientras que con MBMS el mismo contenido puede ser transmitido mediante una conexión punto a multipunto (p-t-m) a todos los usuarios en la celda de forma unidireccional.

La transmisión inicial del fichero se realiza mediante una conexión p-t-m con MBMS. Sin embargo, habrá usuarios que no sean capaces de recibir el archivo tras la transmisión inicial debido a que están situados en zonas de mala o nula cobertura. Éstos usuarios pueden realizar una fase de reparación de errores, en la cual es posible utilizar tanto conexiones p-t-p con HSDPA, como p-t-m con MBMS.

El artículo incide en la transmisión eficiente de estos servicios en futuras redes móviles 3G. El criterio adoptado ha sido el de minimizar la energía de transmisión necesaria para alcanzar una probabilidad de adquisición del fichero determinada (porcentaje de usuarios que reciben correctamente el fichero). Ésta se define como el producto de la potencia transmitida por el tiempo de transmisión. Se ha investigado la configuración óptima de la transmisión híbrida multicast-unicast, incluyendo la fase de transmisión inicial, y el balance entre la fase de la transmisión inicial y la fase de reparación. Además, se ha evaluado su ganancia con respecto al caso de utilizar solamente conexiones p-t-p con HSDPA o solamente conexiones p-t-m con MBMS.

PALABRAS CLAVE

MBMS, Servicio de Descarga de Ficheros

Transmisión híbrida multicast-unicast.

ABSTRACT

In this article we discuss multicast-unicast file delivery in Evolved 3G (E3G) mobile networks equipped with HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) and MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services). HSDPA supports high speed point-to-point (p-t-p) transmissions (up to several Mb/s), whereas with MBMS the same content is transmitted with a point-to-multipoint (p-t-m) connection to multiple users in a unidirectional fashion.

The initial file transmission is performed with a p-t-m connection with MBMS. However, there will be some users not able to receive the file after the initial transmission, as they might have experienced too bad reception conditions. These users can complete the download in a post-delivery repair phase, where it is possible to perform both p-t-p and p-t-m connections with HSDPA and MBMS.

The article focuses on the efficient transmission of file download services in future E3G mobile networks. The approach of minimizing the transmission energy to achieve a target file acquisition probability (percentage of users that successfully receive the file), defined as the product of the transmit power times the transmission time, has been adopted. We investigate the optimum multicast-unicast transmission configuration, including the initial file transmission and the trade-off between the initial file transmission phase and the post-delivery repair phase. Moreover, we evaluate its gain compared to results obtained using only HSDPA or MBMS.

KEYWORDS

MBMS, File Delivery, Hybrid multicast-unicast transmission.

INTRODUCCIÓN

Con la llegada de las redes móviles de tercera generación (3G), los operadores de telefonía móvil han empezado a ofrecer servicios multimedia. Sin embargo, las ofertas actuales de los operadores móviles están limitadas tanto desde un punto de vista técnico como de coste del servicio. Para satisfacer las crecientes demandas para acceso de datos de alta velocidad, el estándar 3G ha sido mejorado con la introducción de HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), el cual soporta altas tasas de datos (hasta varios Mb/s) incrementando considerablemente la capacidad de la red.

Otra limitación importante es el hecho de que las redes 3G fueron originariamente diseñadas para servicios unicast, transmitidos mediante conexiones dedicadas punto a punto (p-t-p) para cada usuario individualmente (incluido HSDPA). Esto limita el número máximo de usua-

rios activos que pueden ser soportados por el sistema, ya que los recursos radio y los recursos de la red de transporte son limitados. Las tecnologías de transporte multicast y broadcast (difusión) son más apropiadas para tratar con elevados números de usuarios consumiendo el mismo servicio simultáneamente [9], ya que no hay límite en el número de usuarios que pueden recibir el contenido. Debido a esto, el estándar 3G ha sido mejorado con MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services). MBMS utiliza una única conexión punto a multipunto (p-t-m), la cual permite transmitir el mismo contenido a un número ilimitado de usuarios dentro del área de cobertura. Como las transmisiones p-t-m MBMS están destinadas a múltiples usuarios, no es posible una configuración de los parámetros de transmisión adaptativa como en HSDPA, por lo que se emplea una potencia de transmisión y una tasa de datos constantes.

La configuración de estos parámetros de transmisión se debe hacer estadísticamente para servir al usuario en el peor caso contemplado. Para incrementar la robustez de las transmisiones p-t-m, MBMS introduce dos técnicas de diversidad para contrarrestar el fast fading y para combinar transmisiones de múltiples celdas, y un mecanismo adicional de corrección de errores en adelante FEC (Forward Error Correction) en la capa de aplicación basado en los códigos Raptor [11].

Los servicios MBMS se clasifican en dos tipos básicos: streaming y file download (descarga de archivos). Este artículo se centra en la transmisión de servicios de descarga de ficheros, en los que se transmite una cantidad finita de datos a los terminales, la cual es almacenada como un archivo.

Algunos ejemplos representativos son los periódicos digitales, video-clips, descarga de software, etc. Estos servicios se caracterizan por requerir una transmisión sin errores de los archivos, ya que un único bit erróneo conlleva la pérdida de todo el archivo. Como no se puede garantizar que todos los usuarios sean capaces de recibir correctamente el fichero después de una transmisión p-t-m MBMS, puede realizarse una fase de reparación para completar la descarga del fichero. La fase de reparación emplea por defecto transmisiones p-t-p, aunque también es posible emplear transmisiones p-t-m en el caso de que muchos usuarios no reciban el fichero correctamente. En este caso solamente se ha considerado reparación p-t-p con HSDPA ya que se puede demostrar que la configuración óptima no implica reparación p-t-m, ya que en ese caso resulta más eficiente incrementar la duración de la transmisión inicial.

El tema de la transmisión broadcast de servicios de descarga de ficheros en redes móviles 3G se abordó primero en artículos como el [6] y el [5]. El artículo [6] se centra en la transmisión eficiente de ficheros con MBMS con

el criterio de minimizar la energía. Utilizan simulaciones dinámicas a nivel de sistema en las que optimizan la tasa del turbo codificador de la capa física y la potencia de transmisión. En dicho artículo concluyen que es más eficiente permitir relativamente elevadas tasas de pérdidas en la capa física y utilizar, para compensar las pérdidas, cantidades significativas de información de paridad FEC en la capa de aplicación. Por otro lado, el artículo [5] introduce el problema de la transmisión híbrida multicast-unicast, señalando que es necesario un balance entre ambos tipos de transmisiones. En concreto estudian el balance entre la cantidad de protección FEC ofrecida en la transmisión inicial con MBMS y la fase de reparación del fichero.

Este artículo se centra en la transmisión eficiente multicast-unicast de servicios de descarga de ficheros a varios usuarios simultáneamente en la red celular 3G con MBMS y HSDPA. Utilizamos simulaciones dinámicas a nivel de sistema. Para determinar las configuraciones óptimas, y al igual que en [6], se ha adoptado el criterio de minimizar la energía de transmisión necesaria para conseguir una probabilidad de adquisición del fichero determinada (porcentaje de usuarios que reciben correctamente el fichero). Esta se define como el producto de la potencia transmitida por el tiempo de transmisión.

Sin embargo, en este artículo se optimiza la tasa de portadora y la potencia de transmisión. Una vez obtenida la configuración óptima que minimiza la energía de transmisión, comparamos MBMS y HSDPA para obtener el número umbral de usuarios a partir del cual es más eficiente utilizar MBMS que HSDPA (ya que en MBMS la energía es constante e independiente del número de usuarios mientras que en HSDPA es directamente proporcional). Finalmente se analiza la transmisión híbrida multicast-unicast determinando el balance entre la transmisión inicial del fichero con MBMS y la fase de reparación. En este artículo, a diferencia de [5], optimizamos la probabilidad de adquisición óptima de la fase inicial con MBMS. Además, evaluamos la ganancia en la energía que introduce la transmisión híbrida con respecto a la transmisión con sólo MBMS o HSDPA.

1. MULTIMEDIA BROADCAST MULTICAST SERVICES (MBMS)

1.1. Principales características

MBMS utiliza el canal FACH (Forward Access Channel), modulación QPSK y turbo códigos en la capa física, y una potencia y una velocidad de transmisión de información constante durante toda la

transmisión del servicio.

Como los servicios MBMS están dirigidos a múltiples usuarios, no es posible adaptar los parámetros de transmisión dinámicamente de acuerdo a las condiciones de recepción. Además, durante la transmisión MBMS no se utiliza el enlace ascendente, ya que hay ningún tipo de comunicación entre los terminales y el servidor MBMS. Cada intervalo de transmisión, (Transmission Time Interval, TTI), los terminales identifican y descartan los bloques de transporte de datos erróneos, sin solicitar su retransmisión. Por esta razón MBMS introduce dos técnicas de diversidad que no requieren realimentación desde los usuarios.

En particular MBMS soporta largos TTI, de hasta 80 ms, para proporcionar diversidad temporal para combatir los desvanecimientos rápidos de la señal debidos a la movilidad de los usuarios (fast fading), y combinación de transmisiones de múltiples celdas (sectores) para obtener una ganancia por macro diversidad. La utilización de largos TTIs aumenta la latencia de la red, aunque la naturaleza unidireccional de MBMS hace que no sea percibido por los usuarios.

Por otra parte, las técnicas de macro diversidad consiguen una reducción significativa de la potencia de transmisión en comparación con el caso en el que se recibe la señal de una única celda. Dos estrategias de combinación son posibles en MBMS: combinación por selección (selective combining), y combinación suave (soft combining). En la combinación por selección, las señales recibidas de diferentes celdas son decodificadas individualmente, de tal modo que los terminales seleccionan de cada TTI los bloques de datos correctos (si los hubiera). En la combinación suave, las señales radioeléctricas recibidas de los distintos emplazamientos son combinadas coherentemente antes de la decodificación.

De este modo se obtiene, además de una ganancia de diversidad, una ganancia de potencia en comparación con la combinación por selección. Sin embargo, esta estrategia es más difícil de implementar, ya que necesita que las transmisiones entre celdas estén sincronizadas.

MBMS ha adoptado también un mecanismo de corrección de errores FEC en la capa de aplicación basado en códigos Raptor para tratar los errores de transmisión radio experimentados por los usuarios por el hecho de emplear una potencia de transmisión y una tasa binaria constante durante la transmisión [6].

1.2. Arquitectura

MBMS proporciona una integración transparente de las tecnologías de transporte multicast y broadcast en las redes 3G, reutilizando muchas de las funcionalidades existentes. Así, se realizan una serie de pequeñas modificaciones en los protocolos radio y de red de transporte, así como en las entidades funcionales de la arquitectura, y se añade una entidad nueva denominada BM-SC (Broadcast/Multicast-Service Center) [4]. Este nuevo elemento reside entre el núcleo de la red de paquetes y los proveedores de contenidos, y es el punto de entrada de los contenidos que utilizan MBMS. Actúa como un servidor, y lleva a cabo ciertas tareas de control, como inicializar y finalizar las transmisiones MBMS, anunciar los servicios, codificación Raptor, tarificación, seguridad, etc.

1.3. Códigos raptor

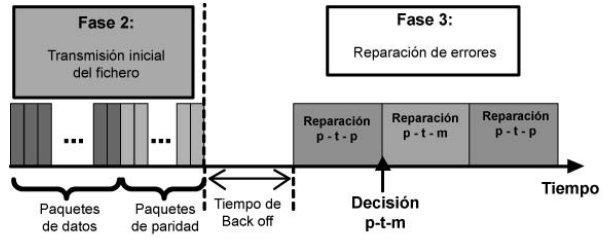
Los códigos Raptor son una implementación computacionalmente eficiente de un código fuente (fountain code) con unas prestaciones cercanas a las de un código FEC ideal, los cuales pueden ser implementados en software sin la necesidad de un hardware específico [8]. Los códigos fuente son una clase especial de códigos FEC que pueden generar una cantidad infinita de información de paridad. Su utilización en la capa de aplicación para aplicaciones multicast/broadcast en sistemas de comunicaciones inalámbricas ha resultado ser muy ventajosa. Los principales beneficios son:

- Proporcionan corrección de errores extremo a extremo.
- Son capaces de recuperar el archivo original incluso si todos los paquetes erróneos se producen consecutivamente.
- No se necesita ningún tipo de modificación o estandarización por debajo de la capa de aplicación.

El código estandarizado es un código sistemático, por lo que primero se transmiten los paquetes de datos originales, seguidos de paquetes adicionales de paridad. En el servidor MBMS, el codificador Raptor procesa la información a transmitir en bloques debido a las restricciones de memoria y procesamiento de los teléfonos móviles. En los terminales, los que reciben todos los paquetes del fichero original obviamente no necesitan ningún paquete adicional. Por otro lado, en los que sufren pérdidas el decodificador Raptor es capaz de recuperar la información original si se reciben correctamente un número total de paquetes (de datos o de paridad) ligeramente superior al tamaño del bloque de datos (en media un 1-5% más [2]).

2. TRANSMISIÓN DE SERVICIOS MBMS DE DESCARGA DE FICHEROS

FIGURA 1. Esquema temporal de un servicio de descarga de ficheros.



En general, un servicio MBMS de descarga de ficheros consta de tres fases:

1. Fase de anuncio del servicio.
2. Fase de transmisión inicial del fichero con MBMS.
3. Fase de reparación de errores.

En la Figura 1 se muestra un esquema temporal de las distintas fases explicadas a continuación.

2.1. Fase de transmisión inicial del fichero con MBMS

En esta fase el servidor MBMS debe garantizar que el archivo es correctamente recibido por la mayoría de usuarios, para evitar problemas de congestión en la fase de reparación de errores.

El grado de protección del fichero viene determinado fundamentalmente por el nivel de cobertura y por la cantidad de información de paridad transmitida. El nivel de cobertura depende de muchos factores (escenario, tipo de usuario, interferencias, etc.), pero los únicos parámetros que puede controlar el operador de red son la potencia transmitida, la velocidad de transmisión de información, y la cantidad de información de paridad transmitida (o alternativamente el tiempo de transmisión, el cual puede estar limitado). El tiempo de transmisión debe ajustarse de tal manera que se alcance la probabilidad de adquisición deseada para esta fase. Lógicamente cuanto mayor sea la potencia utilizada, el nivel de cobertura será mayor (para una misma velocidad de portadora), por lo que la cantidad de información de paridad necesaria será menor, disminuyendo el tiempo de transmisión del servicio. Sin embargo la configuración óptima no tiene por qué ser la de mayor potencia, ya que los sistemas 3G están limitados por interferencias, las cuales son directamente proporcionales a las potencias transmitidas. Por otro lado, en principio cuanto mayor sea la tasa de transmisión de datos los usuarios recibirán el fichero más rápidamente. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que un aumento de la velocidad de portado-

ra disminuye el nivel de cobertura (manteniendo la potencia constante), lo cual implica un aumento del tiempo de transmisión.

Como se ha comentado en la sección anterior, la configuración de la transmisión MBMS p-t-m debe hacerse estadísticamente para servir al usuario en el peor caso contemplado, que suele ser en el borde de la celda. La configuración óptima será aquella que minimice la energía de transmisión del fichero para conseguir la probabilidad de adquisición determinada, definida como el producto de la potencia transmitida por el tiempo de transmisión para la probabilidad de adquisición deseada:

$$E_{MBMS} = P_{MBMS} \cdot T_{TX MBMS}$$

Minimizar la energía supone maximizar el número de servicios que pueden ser transmitidos con la misma potencia y durante el mismo tiempo, por lo que esta medida es inversamente proporcional a la capacidad del sistema.

2.2. Fase de reparación de errores

El propósito de esta fase es reparar los ficheros que no se han recibido correctamente en la fase anterior. Para evitar problemas de congestión, las notificaciones de error de los terminales pueden ser distribuidos en una ventana temporal (back-off window) y a través de múltiples servidores de reparación. Los terminales calculan un tiempo de acceso aleatorio al proceso de reparación dentro de la ventana. Este intervalo de tiempo debe ser lo suficientemente largo para evitar que ocurran problemas de congestión, pero no demasiado como alargar innecesariamente la duración de la sesión de reparación.

Como se ha comentado anteriormente, cuando un terminal empieza la fase de reparación, esta comienza utilizándose una conexión p-t-p con HSDPA. En este caso, la información de reparación puede consistir en los paquetes especificados por el terminal, o simplemente paquetes de paridad adicionales. Si el número de usuarios presentes en esta fase es elevado, se puede utilizar una transmisión de reparación p-t-m con MBMS. En este caso, la información de reparación consiste en paquetes de paridad adicionales, ya que los códigos Raptor tienen la ventaja de que pueden ser utilizados por todos los usuarios. Una vez terminada la sesión de reparación p-t-m, se continuaría con otra sesión de reparación p-t-p si fuese necesario.

Como durante la fase de transmisión inicial del fichero no se produce ningún tipo de comunicación

entre los terminales y el servidor MBMS, al acabar la transmisión inicial no se dispone de ninguna información sobre el número de usuarios que no han recibido el fichero correctamente, ni la cantidad de datos de reparación necesaria por cada uno. Estos datos se pueden estimar al principio de la fase de reparación, mientras se llevan a cabo reparaciones p-t-p. La decisión de establecer una reparación p-t-m ha de tomarse una vez recibidas un número representativo de mensajes de reparación por parte de los terminales. Normalmente, se recomienda tomar esta decisión cuando se ha superado un 10% de la ventana de back-off [5]. Por otro lado, en el caso de que se detectasen problemas de congestión, el servidor de reparación también procedería a establecer una conexión p-t-m.

Además del tiempo de la ventana de back-off, el principal parámetro a configurar en la reparación p-t-p es la potencia dedicada a HSDPA. Mayores potencias implicarán que los usuarios reciben el fichero más rápidamente, sin querer esto decir que esta alternativa sea la más eficiente desde un punto de vista de gestión de los recursos radio como se ha explicado anteriormente. Hay que recordar que las prestaciones de la fase de reparación p-t-p con HSDPA dependen del número de usuarios que no hayan sido capaces de recibir correctamente el fichero, así como de sus posiciones dentro de la celda. No obstante, en este caso también se puede utilizar el criterio de minimizar la energía de transmisión para lograr una probabilidad de adquisición del fichero determinada conjuntamente (fase de transmisión inicial con MBMS más fase de reparación de errores con HSDPA) para un número determinado de usuarios. La energía empleada con HSDPA se calcula del mismo modo que para MBMS, pero teniendo en cuenta que el tiempo de transmisión es la suma de todos los intervalos de tiempo activos en los que los datos se transmiten a los usuarios.

Uniendo ambas fases de transferencia del fichero se obtiene la energía total del servicio, que es la que hay que optimizar:

$$E_{HIBRIDO} = E_{MBMS} + E_{HSDPA}$$

3. MODELOS DE SISTEMA

En esta sección presentamos los modelos y suposiciones más relevantes en las que se basa el simulador desarrollado durante este trabajo. Una descripción detallada del simulador puede encontrarse en [3].

3.1. Escenario de despliegue

El escenario de despliegue consiste en 19 celdas, con la celda bajo estudio en el centro (i.e., se consideran dos anillos de celdas interferentes). El radio de celda es 866 m, y la distancia entre estaciones base 1.5 km. Se han asumido en todos los emplazamientos antenas omnidireccionales y sin sectorización.

Los usuarios son del tipo pedestrian outdoor, y se mueven según el modelo de movilidad descrito en [3] (la función de distribución de velocidad es de tipo Rayleigh con una media de 3 km/h). Los usuarios están inicialmente uniformemente distribuidos en la celda central, y no salen de ella (rebotan en los bordes).

3.2. Balance de enlace

Se han utilizado valores típicos correspondientes a un escenario urbano a una frecuencia de 2000 MHz. El shadowing se ha caracterizado mediante una estadística log-normal con una desviación típica de 5.5 dB y una distancia de correlación de 50 m. También se ha considerado los desvanecimientos rápidos de la señal (fast fading), con una distribución tipo Rayleigh. El nivel de ruido térmico presente en los terminales es de -103 dBm, que se han modelado con una antena omnidireccional con una ganancia de -0 dBi. El modelo de propagación utilizado es el Okumura-Hata, y las pérdidas de propagación vienen dadas por $L_p = 15.3 + 37.6 \log_{10}[d]$, donde d es la distancia en metros.

La potencia máxima por celda es de 20 W, y se ha considerado que se utilizan 4 W para canales de control (el 20% de la potencia total). En las simulaciones todas las celdas transmiten a la misma potencia.

3.3. Modelos de interferencias

En las simulaciones se han considerado tanto las interferencias intercelulares (de otras celdas) como las interferencias intracelulares (de la propia celda). Se ha considerado un factor de ortogonalidad constante para todos los usuarios para modelar las interferencias de la propia celda debidas al efecto multicamino. No se ha simulado ningún otro servicio aparte del servicio de descarga de fichero bajo estudio.

3.4. Modelo de rendimiento del enlace radio

Por simplicidad, el modelo de rendimiento del enlace radio utilizado está basado en el límite de Shannon [1]. Este modelo proporciona la máxima tasa de modulación y codificación permitida, o Modulation and Coding Rate (MCR), en bps/Hz, a partir de la SINR:

$$MCR = \log_2[1 + \gamma \cdot SINR]$$

Donde γ ($0 < \gamma < 1$) es un término de degradación que desplaza el rendimiento del enlace del límite de Shannon. En las simulaciones se ha utilizado un valor de γ de 0.4, que equivale a un desplazamiento de 4 dB del límite de Shannon para una BER de 10^{-4} . La tasa binaria efectiva se obtiene multiplicando el MCR por la cantidad de espectro utilizado para la transmisión (en nuestro caso 5 MHz).

3.5. Modelos de rendimiento de MBMS Y HSDPA

En las simulaciones, se calculan las pérdidas de propagación incluyendo el shadowing cada 80 ms (periodo TTI de MBMS), y se calcula el fast fading cada 2 ms (periodo de TTI de HSDPA). En MBMS, para promediar la SINR instantánea en el TTI (SINR media más fast fading), y obtener un valor de SINR efectiva en el TTI se ha utilizado el método ECM (Equivalent SNR Method based on Convex Matrix) [7]. Dicho valor de SINR efectiva se compara con el umbral obtenido en el modelo de rendimiento del enlace radio para la tasa binaria empleada, para decidir si el TTI se ha recibido correctamente o no.

Para HSDPA se asume que la tasa de datos obtenida del modelo de rendimiento del enlace radio se recibe siempre correctamente, es decir, se asume una adaptación del enlace ideal sin retransmisiones de los paquetes perdidos. Además, se ha considerado una tasa de datos mínima igual a 68.5 kbps y una tasa de datos máxima de 2 Mbps.

3.6. Modelo de los códigos raptor

Por simplicidad, para modelar el rendimiento de los códigos Raptor se ha asumido que es necesario recibir un 5% de información adicional al tamaño del fichero para poder decodificarlo. Esta cantidad permitirá generalmente recuperar el fichero en la inmensa mayoría de los casos [6].

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

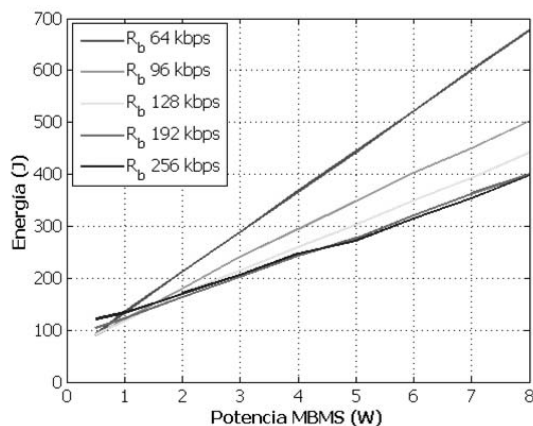
A continuación se presentan los resultados obtenidos en la transmisión de un fichero de 512 KB con MBMS, HSDPA y ambos conjuntamente. En MBMS se considera el caso de referencia sin ninguna técnica de macro diversidad, aunque también se estudian los casos de ficheros de distintos tamaños y el empleo de selective combining con 2 radio enlaces (ya que la ganancia obtenida utilizando 3 radio enlaces no es significativa). Para MBMS se investiga la tasa binaria y la potencia de transmisión óptimas. Para HSDPA sólo se investiga la potencia de transmisión óptima, ya que se ha asumido el algoritmo de scheduling MaxCIR, y para la transmisión híbrida se investiga el balance óptimo entre la transmisión inicial MBMS y la reparación de errores con HSDPA calculando la probabilidad de adquisición óptima

después de la transmisión MBMS. En este artículo nos hemos centrado en las configuraciones óptimas sin considerar restricciones temporales. Las tasas de datos empleadas en las simulaciones de MBMS son: 64, 96, 128, 192 y 256 kbps, y los valores de potencia de transmisión útil van desde 0.5 a 16 W (tanto para MBMS como para HSDPA). Se asume la red cargada únicamente con el servicio de transferencia de fichero bajo análisis. En este caso, la potencia total transmitida por las estaciones base corresponde a la potencia útil del servicio más los 4 W dedicados a canales de control. Esto implica que no hay interferencias intracelulares, y que las interferencias intercelulares son mínimas.

4.1. Resultados de transferencia de ficheros con MBMS

La Figura 2 muestra la energía necesaria para alcanzar el 95% de probabilidad de adquisición con MBMS en función de la potencia transmitida para las distintas tasas de datos consideradas. Se puede observar que la energía es proporcional a la potencia transmitida, y que el punto de mínima energía para todas las tasas de datos es la mínima potencia considerada, 0.5 W. Así pues, es más eficiente reducir la potencia de transmisión, lo cual implica una reducción del nivel de cobertura pero también del nivel de interferencias, y un aumento en la cantidad de datos de paridad Raptor.

FIGURA 2. Energía MBMS (J) vs. Potencia MBMS (W). Sin selective combining.



Como se comentó anteriormente, potencias menores implican tiempos de transmisión mayores. Es por esto que hay un claro compromiso entre la asignación óptima de recursos y el tiempo máximo de transmisión.

En la Figura 2 se puede observar que para valores de potencia de transmisión pequeños la energía proporcionada por las distintas tasas binarias es bastante parecida, mientras que para potencias elevadas, las diferencias son evidentes. Se puede observar que la tasa binaria óptima para valores de potencia de transmisión elevados es la máxima considerada, 256 kbps. La razón es que el nivel de cobertura es lo suficientemente elevado para que la mayoría de los usuarios puedan beneficiarse de la transmisión de más datos por TTI. Cuando la potencia de transmisión (y por tanto el nivel de cobertura) disminuye, la tasa binaria óptima aumenta en función de la probabilidad de adquisición objetivo, ya que el nivel de cobertura percibido por el usuario en el peor caso (que es el que proporciona el valor final de energía) se reduce.

Implementando selective combining se observa una mejora significativa tanto en los valores de energía como en los valores de tiempo de transmisión del fichero (la energía mínima de transmisión se reduce a aproximadamente una tercera parte y el tiempo de transmisión mínimo a la mitad, con respecto al caso de referencia). Selective combining implica además tasas binarias óptimas mayores, ya que el nivel de cobertura es mayor.

Comparando la transmisión de ficheros de distintos tamaños (128 KB, 512 KB y 2 MB), se ha obtenido que es más eficiente transmitir ficheros de mayor tamaño para el caso de referencia sin macro diversidad (los valores de energía no presentan un factor de multiplicación de 4 como los tamaños de fichero considerados, sino de aproximadamente 2.7). Esto es debido a que la protección ofrecida por la codificación Raptor es mayor para ficheros de mayor tamaño (para una misma proporción de información de paridad transmitida), ya que la diversidad espacial introducida por el movimiento de los usuarios es mayor. Por otro lado, no hay mucha diferencia cuando se implementa selective combining, ya que el nivel de cobertura es considerablemente mayor y la cantidad de datos de paridad necesaria es menor.

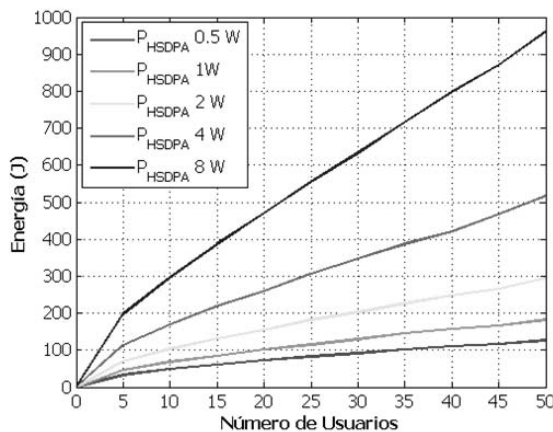
4.2. Resultados de transferencia de ficheros con HSDPA

En las simulaciones HSDPA se ha considerado que la velocidad máxima de transferencia de información en HSDPA es de 2 Mbps. En las redes 3G actuales la tasa máxima alcanzable por los usuarios (terminales de categoría 6) es de 3.6 Mbps. Sin embargo, aumentar la velocidad de transmisión apenas hace variar los valores de energía y tiempo total de servicio ya que al ser la potencia óptima

muy pequeña (0.5 W) como se verá a continuación, casi ningún usuario alcanza tasas superiores a 2 Mbps. Otro parámetro importante en HSDPA es el algoritmo de scheduling cuya tarea es planificar trama a trama (TTI a TTI) a qué usuario transmitir. Como se ha comentado anteriormente se ha adoptado el algoritmo MaxCIR, que consiste en transmitir información cada TTI al usuario que tenga mejores condiciones de recepción en términos de SINR, es decir, el usuario al que se le puede transmitir con una mayor velocidad de transmisión. Dicho algoritmo es el más utilizado en la práctica por su simplicidad y buenas prestaciones.

La Figura 3 muestra la energía necesaria para alcanzar el 95% de probabilidad de adquisición de un fichero de 512 KB con HSDPA en función del número de usuarios para distintas potencias de transmisión. Como era de esperar la energía crece conforme aumenta el número de usuarios, pero hay que destacar que la configuración óptima en la transmisión es la de potencia mínima, la cual proporciona el mayor tiempo de servicio. Por lo tanto, al igual que con MBMS, hay un compromiso entre el consumo de recursos y el tiempo de transmisión del fichero. En el caso en el que haya un tiempo máximo para la transmisión del servicio, la potencia óptima de transmisión será la mínima que transmita el fichero en dicho tiempo.

FIGURA 3. Energía HSDPA (J) vs. Número de usuarios.



Como se ha comentado con anterioridad, para MBMS la energía es constante e independiente del número de usuarios, por lo que habrá un número de usuarios umbral a partir del que sea más eficiente (en términos de energía) utilizar MBMS que HSDPA. Si se compara la energía mínima que se puede alcanzar con HSDPA, en función del número de usuarios por celda con la mínima energía proporcionada por MBMS es más eficiente emplear HSDPA si hay hasta 29 usuarios en la celda. En el caso en el que se implemente selective combining dicho

umbral disminuye a tan sólo 4 usuarios.

El valor umbral de usuarios depende del tamaño del fichero y de la probabilidad de adquisición objetivo. En particular, para ficheros grandes el umbral decrece para MBMS en el caso de referencia sin macro diversidad, y en este caso es más eficiente utilizar MBMS (HSDPA también funciona mejor para ficheros grandes, pero en menor medida que MBMS). Por otro lado, el umbral aumenta para probabilidades de adquisición mayores. Esto es porque se convierte en una tarea cada vez más costosa servir al porcentaje final de usuarios sólo con MBMS comparado con HSDPA. Dichos usuarios son los que están situados en zonas de mala cobertura que se mueven a baja velocidad, por lo que no pueden ser servidos eficientemente con MBMS. La ventaja de HSDPA es que solamente se consumen recursos cuando un usuario está activamente utilizando el servicio (es decir, al menos un usuarios en cobertura), mientras que con MBMS la transmisión está activa durante la sesión completa. Finalmente, se debe destacar que el número de usuarios umbral es prácticamente constante cuando se implementa selective combining, ya que la mejora obtenida cuando se consideran ficheros grandes con HSDPA es similar a la obtenida con MBMS con selective combining.

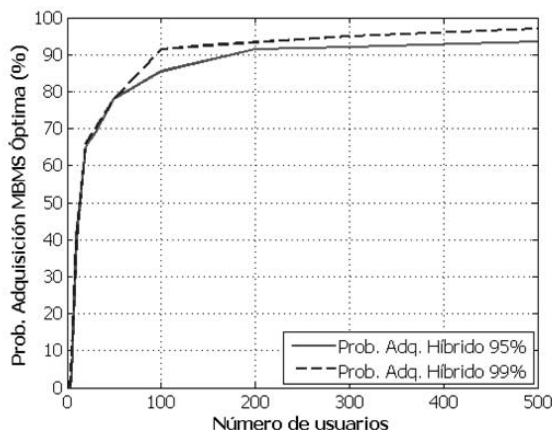
4.3. Resultados de transferencia de ficheros con MBMS Y HSDPA

Finalmente se ha investigado la ganancia en la eficiencia que se puede conseguir utilizando una transmisión híbrida multicast-unicast. En las simulaciones de la transferencia híbrida del fichero con MBMS y HSDPA, primero se lleva a cabo la transmisión MBMS p-t-m hasta alcanzar una cierta probabilidad de adquisición del fichero, y después se sirve a los usuarios restantes mediante conexiones p-t-p con HSDPA. Se ha considerado inicialmente el caso de referencia sin ninguna técnica de macro diversidad y se ha fijado la ventana de back-off a cero para que los resultados sean comparables a los obtenidos utilizando sólo MBMS. Esto implica que no hay problemas de congestión durante la fase de reparación de errores con HSDPA. Estamos interesados en la configuración óptima para el caso en el que no hayan restricciones temporales, por lo que el valor de potencia de transmisión empleado para tanto MBMS como HSDPA es de 0.5 W, al ser la potencia que proporciona energías mínimas como ya se ha demostrado en los apartados anteriores.

En la Figura 4 se muestra la probabilidad de adquisición óptima después de la fase de transmisión inicial MBMS en función del número de usuarios, para dos probabilidades de adquisición totales de la transmisión híbrida (95% y 99%). Se puede observar que la probabilidad de adquisición óptima aumenta con el número de usuarios a servir. Esto es debido a que conforme aumenta el número de usuarios la utilización de MBMS para la

transmisión es más eficiente que HSDPA, como se ha demostrado en los apartados anteriores. Así pues, para valores elevados de usuarios la probabilidad de adquisición óptima en la fase inicial con MBMS es aproximadamente la probabilidad de adquisición objetivo final.

FIGURA 4. Probabilidad de adquisición óptima MBMS (%) vs. Número de usuarios.

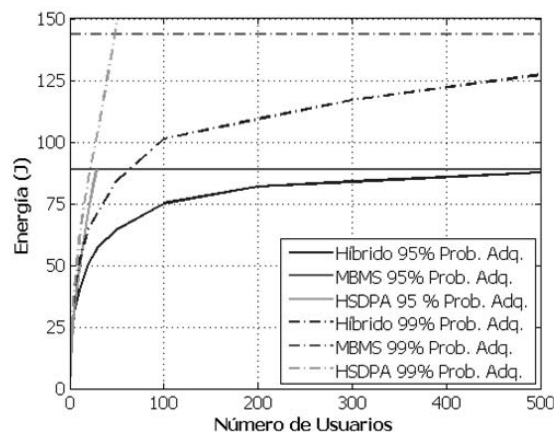


La Figura 5 compara la energía mínima proporcionada por la transmisión híbrida multicast-unicast con la conseguida utilizando solamente MBMS o solamente HSDPA para las dos probabilidades de adquisición totales consideradas.

Se observa que para un número de usuarios pequeño, en concreto hasta 5 usuarios, la transmisión híbrida multicast-unicast no introduce mejora en la energía respecto a la utilización de HSDPA. Esto es debido, como se ha comentado anteriormente, a que HSDPA es más eficiente que MBMS para transmisiones con un número de usuarios pequeño. A partir de ese umbral, se observa una ganancia en los valores de energía. La máxima ganancia, que se da cuando se cruzan las curvas de transmisión sólo p-t-p y sólo p-t-m, se obtiene para un número de usuarios de 28 en el caso de probabilidad de adquisición final del híbrido del 95% y para 48 usuarios en el caso de 99%. La ganancia obtenida para cada caso es del 35.4% y del 41.5% respectivamente. En general se cumple que la ganancia es mayor para probabilidades de adquisición mayores, porque resulta mucho más costoso alcanzar probabilidades de adquisición cercanas al 100% utilizando sólo MBMS ya que hay algunos usuarios situados en zonas sin cobertura muy difíciles de servir con MBMS, con una baja potencia. Esto se observa en la Figura 5 ya que

para una probabilidad de adquisición final del 95% la ganancia obtenida con la transmisión híbrida para un total de 500 usuarios es prácticamente nula, mientras que para un 99% de probabilidad de adquisición final la transmisión híbrida todavía proporciona una ganancia en la energía del 11.4%.

FIGURA 5. Energía mínima (J) vs. Número de usuarios.



Hay que destacar que, además de la ganancia obtenida en los valores de energía necesaria para la transmisión del fichero, la transmisión híbrida también introduce una mejora en los valores de tiempo de transmisión total del servicio. Para cualquier número de usuarios se cumple que es más rápido transmitir el fichero de este modo que mediante HSDPA o MBMS por separado.

TABLA 1. Ganancia máxima en la energía obtenida con la transmisión híbrida.

Tamaño Fichero	Prob. Adq. 95%	Prob. Adq. 99%
128 KB	46.5%	52.8%
512 KB	35.4%	41.5%
2 M	30.6%	33.8%

Comparando los resultados para ficheros de distintos tamaños se obtiene que la transmisión híbrida multicast-unicast proporciona una ganancia en la energía mayor para ficheros de menor tamaño. Esto es debido a que MBMS funciona peor para ficheros de menor tamaño por lo que la transmisión híbrida introduce una mayor mejora en ese caso. En la Tabla 1 se muestra los valores de ganancia máxima en la energía obtenidos mediante la transmisión híbrida para cada uno de los tamaños de fichero

considerados, para una probabilidad de adquisición final del fichero del 95% y del 99%. Se demuestra de este modo que el método propuesto de transmisión híbrida introduce una disminución importante en la energía, en torno al 50% para ficheros de tamaño pequeño.

Otra cuestión de interés es investigar los resultados obtenidos de la transmisión híbrida cuando se utiliza la técnica de macro diversidad selective combining en la transmisión inicial MBMS. En este caso la ganancia introducida por la transmisión híbrida es menor que en los casos vistos anteriormente. Esto es debido a que la utilización de macro diversidad en MBMS provoca una mejora importante en los niveles de cobertura y por tanto en los valores de energía necesarios para la transmisión del fichero. Esto hace que la mejora introducida por la reparación mediante conexiones p-t-p no sea tan significativa como hasta ahora, sobretodo para elevados números de usuarios a servir. En concreto las máximas ganancias obtenidas son de un 17.4% para una probabilidad de adquisición final del 95% y 24.2% para una probabilidad de adquisición final del 99%.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se han repasado las principales características para la transmisión multicast-unicast de ficheros en las redes móviles de 3G con MBMS y HSDPA. Se ha mostrado que, en el caso en el que no se consideren restricciones temporales, las configuraciones óptimas de transmisión, tanto para HSDPA como para MBMS, corresponden a valores de potencias de transmisión mínimos. La tasa binaria de datos óptima para MBMS depende de la potencia de transmisión, siendo ésta mayor para potencias mayores. Además, se ha visto la necesidad de implementar técnicas de macro diversidad en MBMS, tal como selective combining, ya que mejoran considerablemente el rendimiento de la red, disminuyendo hasta un tercio el valor de energía mínimo y un medio el tiempo de transmisión mínimo.

Se ha comprobado la mejora, tanto en la energía como en el tiempo total de transmisión, que se obtiene empleando una transmisión híbrida multicast-unicast. La ganancia en la energía es mayor para probabilidades de adquisición mayores, siendo la máxima obtenida del 52.8% para un fichero de 128 KB. Se ha visto que la probabilidad de adquisición óptima de la fase inicial de transmisión con MBMS, que proporciona los mínimos absolutos de energía, aumenta con el número de usuarios a servir, tendiendo a los valores de probabilidad de adquisición total del híbrido.

Mediante los resultados obtenidos con la transmisión de distintos tamaños de ficheros se ha visto que para MBMS, en el caso de referencia sin macro diversidad, es más eficiente transmitir ficheros de mayor tamaño debido a que la protección ofrecida por la codificación Raptor era mayor cuanto mayor fuese el fichero. Con selective combining MBMS funciona de forma proporcional al tamaño del fichero a transmitir. Por el contrario tanto en HSDPA como en la transmisión híbrida, la ganancia obtenida en la energía es mayor para ficheros de menor tamaño.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio español de Industria, Turismo y Comercio dentro del proyecto FURIA (Futura Red Integrada Audiovisual) en el marco del Programa Plan Avanz@. FURIA es un proyecto singular estratégico en el área de las Tecnologías Audiovisuales en Red de la plataforma e-NEM (www.furiapse.com).

7. REFERENCIAS

- [1]Baum, Performance characteristics of cellular systems with different link adaptation strategies, (2003), pp. 1497-1507.
- [2]Digital Fountain, How DF Raptor Technology is used in MBMS, (2007).
- [3]Fernández, Transmisión Multicast de Servicios de Descarga de Archivos en Redes Móviles 3G con MBMS, (Valencia, 2007), pp. 33-48.
- [4]Hartung, Delivery of Broadcast Services in 3G Networks, (2007), vol. 52, pp. 188-199.
- [5]Lohmar, Performance Evaluation of a File Repair Procedure based on a Combination of MBMS and Unicast Bearers, (Cataratas del Niágara, 2006).
- [6]Luby, Reliable Multimedia Download Delivery in Broadcast Networks, (2007), vol. 52 pp. 235-246.
- [7]Luby, Mobile Data Broadcast Delivery using FEC Codes, (2003).
- [8]Shokrollahi, Raptor Codes, (2006), vol. 52, pp. 2551-2567.
- [9]Walsh, Content Networking in the Mobile Internet: Multicast Content Delivery for Mobiles, (Wiley, 2004).
- [10]Zender, Radio Resource Management for Wireless Networks, (2001).
- [11]3GPP, Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and Codecs, (2006), TS 26.346 v7.1.0.