

Transmisión de Servicios Podcast en DVB-H

David Gómez Barquero¹ y Narcís Cardona Marcet

Grupo de Comunicaciones Móviles
Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM)
Universidad Politécnica de Valencia
Telf: 963 879 585, Fax: 963 879 583
E-mail: dagobar@iteam.upv.es

Resumen

Este artículo presenta y analiza el problema de la transmisión de servicios de descarga de archivos, o servicios Podcast, en sistemas IP Datacast sobre DVB-H. El artículo incide especialmente en la transmisión eficiente de estos servicios, estudiando la gestión óptima de recursos en el sistema. En el artículo se describen y se comparan los mecanismos de corrección de errores de DVB-H en la capa de enlace y de aplicación, así como los diferentes mecanismos de reparación de errores posibles, tanto con DVB-H como con una red celular. Los resultados obtenidos demuestran que realizando una gestión adecuada de los recursos radio conjuntamente con mecanismos de corrección de errores en la capa de aplicación se pueden ofrecer servicios Podcast sin necesidad de niveles de área de cobertura de DVB-H muy elevados. Por lo tanto, estos servicios pueden ser un factor clave en las primeras fases del despliegue comercial de DVB-H, para poder realizar un despliegue de red y una inversión en infraestructura progresiva conforme aumenta la cantidad de usuarios.

1. Introducción

Uno de los objetivos principales de la industria de las telecomunicaciones es proporcionar servicios multimedia mediáticos (*mass multimedia services*) a teléfonos móviles a bajo coste. Hoy en día, está comúnmente aceptado que la demanda masiva de servicios multimedia estará siempre condicionada a la provisión a bajo coste de estos servicios [1].

Después de un lento despliegue de las redes de tercera generación (3G), los operadores de telefonía móvil ofrecen actualmente diversos servicios multimedia, como video-clips de eventos deportivos o programas de TV. Sin embargo, las limitaciones son todavía evidentes, debido a la ineficiencia de las actuales arquitecturas *unicast* punto a punto (p-t-p) de las redes celulares para transmitir el mismo contenido a varios usuarios. Actualmente los servicios multimedia se transmiten mediante conexiones dedicadas p-t-p para cada usuario, lo cual limita el número máximo de usuarios activos que pueden ser soportados por el sistema, ya que tanto los recursos radio como los de red están limitados físicamente. Actualmente 3GPP está desarrollando una nueva funcionalidad en las redes 3G denominada MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Services*), para poder transmitir eficientemente en modo *multicast* o *broadcast* (difusión) el mismo contenido a varios usuarios mediante conexiones punto a multipunto (p-t-m) [2].

Bajo este contexto, como alternativa a las redes celulares 3G, la tecnología DVB-H (*Digital Video Broadcasting – Handhelds*) [3] está considerada como un elemento clave en las redes de

comunicaciones móviles futuras, ya que permite transmitir en modo difusión contenido multimedia IP a teléfonos móviles a altas velocidades de transmisión de datos (del orden de Mb/s, considerablemente mayores que las que se obtendrán con MBMS), sobre grandes áreas.

DVB-H es una evolución tecnológica del estándar Europeo de Televisión Digital Terrestre (TDT), DVB-T (*Digital Video Broadcast – Terrestrial*) [4], adaptado para dispositivos móviles (teléfonos móviles, PDAs, etc.). DVB-H reutiliza la misma capa física que DVB-T, y añade elementos adicionales en la capa de enlace, siendo posible compartir la misma infraestructura de red (transmisores, multiplex, etc.). Las principales características de DVB-H respecto a DVB-T son:

- Considerable disminución en el consumo de potencia por parte de los terminales.
- Mayor robustez de la transmisión, sobre todo en situaciones de movilidad interferencias.
- Posibilidad de realizar trasposos entre celdas transparentes al usuario (*seamless handovers*).
- Mayor flexibilidad en el diseño de la red.

Una descripción detallada de las principales características técnicas de DVB-H se puede encontrar en [5].

DVB-H permite la convergencia de los servicios de los mundos de radiodifusión y celular, por lo que no sólo posibilita la transmisión de servicios como TV o radio digital móvil a audiencia masivas, sino que también posibilita servicios interactivos. El sistema extremo a extremo, basado en el protocolo IP (i.e., todos los servicios son transportados sobre IP), se conoce como *IP Datacast* (IPDC) [6].

¹ Becario FPI de la Generalitat de Valencia.

Uno de los aspectos clave de los sistemas IPDC es la posibilidad de complementar DVB-H con un canal bidireccional interactivo ofrecido por un sistema celular. Los beneficios de estos sistemas híbridos celulares y DVB-H son evidentes, ya que pueden tomar ventaja de las características intrínsecas de DVB-H para transmitir eficientemente servicios multimedia mediáticos, mientras que la red celular proporciona una comunicación bidireccional con los usuarios y un sistema de gestión de pagos y tarificación sofisticado que, tradicionalmente, las redes de radiodifusión no disponen.

Una de las principales preocupaciones sobre DVB-H es el coste de la infraestructura de red, lo cual puede conducir a precios elevados que no sean atractivos para la mayor parte de los usuarios. Como las condiciones de recepción de DVB-H son mucho más severas que las de DVB-T, sobre todo para situaciones de recepción en interiores (*indoor*) y en automóviles (*vehicular*), las redes DVB-H requieren mucha más infraestructura de red que la existente de redes DVB-T (en términos de mayores potencias de transmisión y, especialmente, un mayor número de transmisores). Esta penalización es particularmente evidente para niveles de cobertura muy elevados (i.e., mayores que el 90%) [7], [8].

Los operadores de radiodifusión (encargados del transporte y difusión de las señales de televisión y radio) liderarán probablemente el despliegue de DVB-H, ya que pueden beneficiarse de su infraestructura de TV digital terrestre. Además, el espectro más adecuado para ofrecer servicios de DVB-H coincide con la banda de radiodifusión de televisión UHF. El escenario de despliegue más probable implica la utilización de sus torres de TV y radio para proporcionar una cobertura básica, y desplegar transmisores o repetidores adicionales, actuando como *gap-fillers* y formando redes de frecuencia única SFN (*Single Frequency Networks*), progresivamente en el tiempo en áreas críticas, donde se quiera conseguir cobertura en interiores o en automóviles. Como la construcción de nuevos emplazamientos de radiodifusión es muy costosa, una posibilidad para reducir costes es reutilizar los emplazamientos celulares existentes.

Por lo tanto, IPDC se presenta como un elemento clave para potenciar la cooperación entre los operadores de radiodifusión y los celulares, para minimizar el coste del despliegue de red reutilizando su infraestructura existente [9], [10], [11]. La cooperación entre los operadores de radiodifusión y los de telefonía móvil está justificada ya que el modelo de negocio más probable consiste en una única red dedicada DVB-H con un canal radioeléctrico específico, operada y gestionada por un operador de radiodifusión, que a su vez la alquila a todos los operadores de telefonía móvil.

Además, en un sistema IPDC la red celular se puede utilizar no solamente como un canal de retorno para notificar errores en la transmisión, sino también como un medio para recuperar información perdida [12]. La red celular puede utilizarse para transmitir información de reparación a los usuarios cuya recepción de DVB-H es afectada temporalmente por ruido, interferencias, o desvanecimientos (*fading*). Típicamente, en una sesión de transmisión de DVB-H algunos usuarios experimentarán condiciones de recepción significativamente peores que la mayoría de los usuarios, por lo que podrían ser servidos más eficientemente a través de la red celular. Los mecanismos de reparación pueden ser muy importantes para conseguir una utilización más eficiente de los recursos del sistema [13].

Especialmente las redes celulares E3G (*Evolved 3G*) presentan un buen potencial para proporcionar mecanismos de reparación de errores eficientes, debido a las recientes mejoras del estándar celular 3G, que además de transmisiones p-t-m con MBMS posibilita conexiones de altas velocidades de datos p-t-p con HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) y HSUPA (*High Speed Downlink Packet Access*) [2].

Este artículo estudia el problema de la transmisión de servicios *Podcast* (i.e., descarga de ficheros) en sistemas *IP Datacast* sobre DVB-H. Los servicios *Podcast* se caracterizan por requerir una recepción sin errores de los archivos. Aunque en un sistema IPDC es posible realizar mecanismos de reparación de errores mediante la retransmisión de paquetes perdidos bajo demanda (e.g., técnicas *Automatic Repeat reQuest*, ARQ), la transmisión del archivo en DVB-H debe ser suficientemente robusta para garantizar que la mayoría de los usuarios reciben correctamente el archivo. Para incrementar la robustez de la transmisión en DVB-H, se pueden realizar mecanismos de corrección de errores en adelante FEC (*Forward Error Correction*), en la capa de enlace y en la de aplicación. En este artículo se describen y se comparan los diferentes mecanismos de corrección y de reparación de errores posibles en un sistema IPDC.

La estructura del artículo es la siguiente: la sección 2 introduce las diferencias entre servicios de video *streaming* y servicios *Podcast* en DVB-H. En la sección 3 se describe brevemente cómo aparecen errores en la transmisión en DVB-H. La sección 4 describe los mecanismos de corrección de errores en las capas de enlace y de aplicación de DVB-H. La sección 5 detalla cómo se transmiten los servicios *Podcast* en los sistemas IPDC. La sección 6 explica las diferentes alternativas para realizar mecanismos de reparación de errores. La sección 7 presenta la evaluación numérica, el modelo del sistema, y los resultados más importantes. Por último, se presentan las principales conclusiones del artículo.

2. Servicios DVB-H

DVB-H utiliza una técnica de transmisión discontinua, conocida como *time-slicing*, en la que la información se transmite en bursts periódicamente, como se muestra en la Figura 1. Es importante notar que los terminales experimentan una velocidad de transmisión de servicio constante, igual al tamaño de burst dividido por el tiempo de ciclo. *Time-slicing* reduce significativamente el consumo de potencia medio de los terminales, y posibilita traspasos transparentes entre celdas.

Los terminales se sincronizan a los bursts del servicio deseado, y apagan sus receptores cuando bursts de otros servicios son transmitidos, disminuyendo el consumo de potencia y posibilitando la búsqueda de celdas vecinas en otras frecuencias. Sin embargo, el receptor tiene que activarse antes de que llegue el burst por motivos de sincronización (unos 120 ms antes como máximo [14]). Cada burst contiene información con la diferencia temporal del siguiente burst de mismo servicio. Esto permite que tanto el tamaño del burst como el tiempo entre bursts (*off-time*) sean parámetros variables a lo largo de la sesión. El tiempo de *off-time* depende de la cantidad de información IP transmitida en el burst (es decir, sin contar la información de paridad), y de la velocidad de transmisión del servicio. Por ejemplo, asumiendo 1.5 Mb de información IP por burst (el tamaño máximo de burst son 2 Mb), servicios de 128, 256 y 385 kb/s determinan tiempos de *off-time* de unos 12, 6 y 4 s respectivamente. Valores típicos de la duración de burst son entre 0.2 y 0.4 s, mientras que la tasa binaria de burst está comprendida entre 5 y 13 Mb/s cuando se utiliza toda la capacidad del canal para transmitir un único burst (también es posible la transmisión de dos bursts al mismo tiempo).

Los servicios DVB-H se clasifican en dos tipos básicos:

- Servicios de video *streaming* (e.g., TV móvil).
- Servicios de descarga de archivos, también conocidos como servicios *Podcast* (e.g., periódicos digitales, archivos de música, descarga de software, etc.).

Adicionalmente, los servicios se pueden clasificar según su tolerancia a errores en la transmisión y sus restricciones temporales.

Para servicios de video *streaming*, los terminales reproducen la información recibida en el último burst de tal manera que los usuarios no perciben una transmisión discontinua. Si un burst se pierde, la reproducción se interrumpe hasta que el siguiente burst es recibido. Los servicios de video *streaming* se caracterizan por tolerar algunos errores en la transmisión.

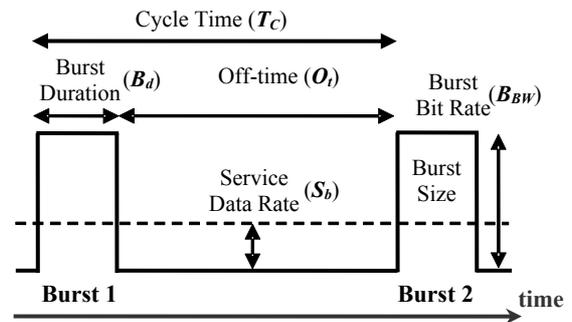


Fig. 1: Técnica de transmisión discontinua en DVB-H (*time-slicing*).

El criterio de degradación comúnmente empleado es la tasa de error de bursts, considerándose como punto de degradación una tasa de error de bursts máxima del 5% [15]. Según sus restricciones temporales, los servicios de video *streaming* se pueden clasificar entre servicios en tiempo real (e.g., transmisiones deportivas en directo), y servicios que toleran cierto retraso (e.g., video-clips).

La principal diferencia entre los servicios de video *streaming* y los servicios *Podcast* es que éstos requieren una transmisión sin errores de los archivos, ya que un único bit erróneo conlleva la pérdida de todo el archivo, haciéndolo inútil para el receptor. Básicamente, un servicio *Podcast* consiste en la recepción correcta de un número determinado de bursts (dado por el tamaño del archivo). Por otro lado, los requisitos temporales suelen ser bastante relajados, y el tiempo entre bursts se puede elegir arbitrariamente. Típicamente, en sistemas de difusión la transmisión de ficheros no es bajo demanda: los usuarios son notificados una vez finalizada la transmisión del fichero, y no se dan cuenta del tiempo de duración de la descarga.

3. Errores de Transmisión en DVB-H

La capa física del estándar DVB-T subyacente se caracteriza por una rápida transición entre recepción casi perfecta a recepción nula. Como consecuencia, en DVB-H habrá áreas sin cobertura (*outage areas*), donde la recepción no es posible ya que los terminales pierden toda la información contenida en el burst, y áreas con cobertura (*covered areas*), donde los terminales reciben toda la información del burst correctamente. Sin embargo, la capa física no proporciona ningún entrelazado temporal, ya que fue diseñada para terminales DVB-T fijos. Por lo tanto, debido a las condiciones de movilidad intrínsecas de DVB-H, y a la ausencia de técnicas de adaptación del enlace, como control de potencia o modulación adaptativa, es muy probable que la mayoría de los terminales en áreas con cobertura sufran pérdidas de paquetes en la capa física frecuentemente.

Normalmente, paquetes perdidos en la capa física resultan en una tasa de pérdidas aún mayor en las capas de enlace y aplicación. El estándar DVB-H trabaja con paquetes MPEG-2 en la capa física (tamaño 188 bytes), y paquetes IP en la capa de enlace (tamaño típico 1-2 kbytes). Por lo tanto, en el peor caso, un único paquete MPEG-2 erróneo puede causar la pérdida de hasta dos paquetes IP. En la práctica, los errores en la capa física aparecen en forma de ráfagas, y se suelen perder varios paquetes consecutivos.

Para incrementar la robustez de DVB-H, y mantener la compatibilidad con DVB-T, se han especificado dos mecanismos de corrección de errores opcionales en la capa de enlace y en la de aplicación para recuperar paquetes IP erróneos. Es importante destacar que se utiliza uno u el otro, pero nunca los dos conjuntamente.

4. Mecanismos de Corrección de Errores en las Capas de Enlace y Aplicación en DVB-H

Como DVB-H sólo proporciona un canal de comunicación unidireccional en el enlace descendente, corrección de errores sólo puede lograrse a través de mecanismos de corrección FEC (*Forward Error Correction*).

Los mecanismos FEC protegen pérdidas de paquetes en capas inferiores sin necesidad de un canal de retorno, y consisten en transmitir información de paridad adicional redundante, que permite reconstruir la información original a pesar de que se produzcan errores en la transmisión. Aunque FEC resulta en un aumento de la cantidad de información transmitida, en última instancia puede incrementar la eficiencia del sistema, y salvar tanto tiempo de transmisión como ancho de banda en comparación con las retransmisiones que harían falta de otra manera.

4.1. Link Layer – FEC

El estándar DVB-H especifica un mecanismo FEC opcional en la capa de enlace que se denomina MPE-FEC (*Multi Protocol Encapsulation – FEC*), que permite corregir errores a nivel de bursts. MPE es el protocolo de adaptación que se utiliza para encapsular múltiples servicios IP en la trama de transporte MPEG-2 de la capa física de DVB-T. MPE-FEC fue introducido principalmente para incrementar la robustez del sistema en canal móvil y mejorar la tolerancia a interferencias. Campañas de medidas han demostrado que MPE-FEC incrementa la robustez de la recepción para usuarios móviles, de tal manera que la calidad de la señal es prácticamente independiente de la velocidad del terminal [15].

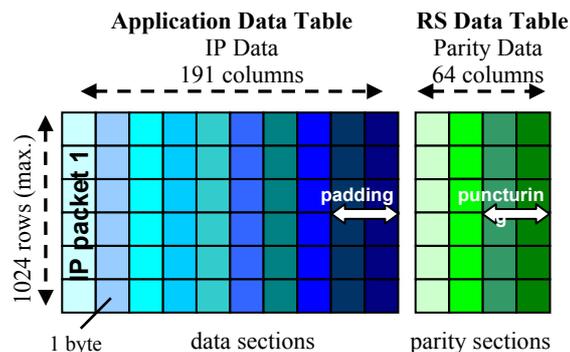


Fig. 2: Información contenida en un burst DVB-H cuando MPE-FEC es utilizado. El tamaño máximo del burst son 2 Mb.

MPE-FEC consiste en un código Reed-Salomon (RS) en conjunción con un entrelazador temporal virtual, y se implementa normalmente en hardware. El efecto de entrelazado se consigue al escribir los paquetes IP en la tabla de aplicación por columnas, y rellenar la tabla RS por filas. Con MPE-FEC, cada burst contiene datos IP e información de paridad que permite corregir errores en el burst. El tamaño máximo del burst son 2 Mb, de los cuales 1.5 Mb corresponden a datos IP, y 0.5 Mb a información de paridad. La Figura 2 muestra el tipo de información contenida en un burst cuando se utiliza MPE-FEC. La tasa de codificación depende de la proporción de datos IP e información de paridad transmitidos. Para permitir diferentes tasas de codificación, el estándar DVB-H permite reducir la cantidad de datos IP transmitidos (*padding*), así como la información de paridad transmitida (*puncturing*). Las tasas de codificación posibles son: 1/2, 2/3, 3/4 (código madre), 5/6 y 7/8. Por ejemplo, la tasa 1/2 se consigue transmitiendo sólo 0.5 Mb de datos IP y los 0.5 Mb de paridad, mientras que la tasa 7/8 se consigue transmitiendo los 1.5 Mb de datos IP y sólo 0.25 Mb de paridad.

En DVB-H los bursts se transmiten en forma de *secciones*, conteniendo o bien un paquete IP (*data sections*), o información de paridad (*parity sections*): en concreto una columna de la tabla RS, de tamaño máximo 1 kbyte. Las secciones se transmiten secuencialmente: primero las de la tabla de aplicación y luego las de la tabla RS. Cada sección contiene información sobre su posición en su tabla, y un campo CRC que permite al receptor saber si la sección se ha recibido correctamente. Si no se utiliza MPE-FEC, los terminales tendrían que recibir todas las secciones correctamente para poder decodificar el burst. Con MPE-FEC, básicamente se pueden tolerar un número de secciones erróneas igual al número de secciones de paridad transmitidas (asumiendo paquetes IP de 1 kbyte) [14], aunque existen diferentes propuestas de técnicas de decodificación más avanzadas [16].

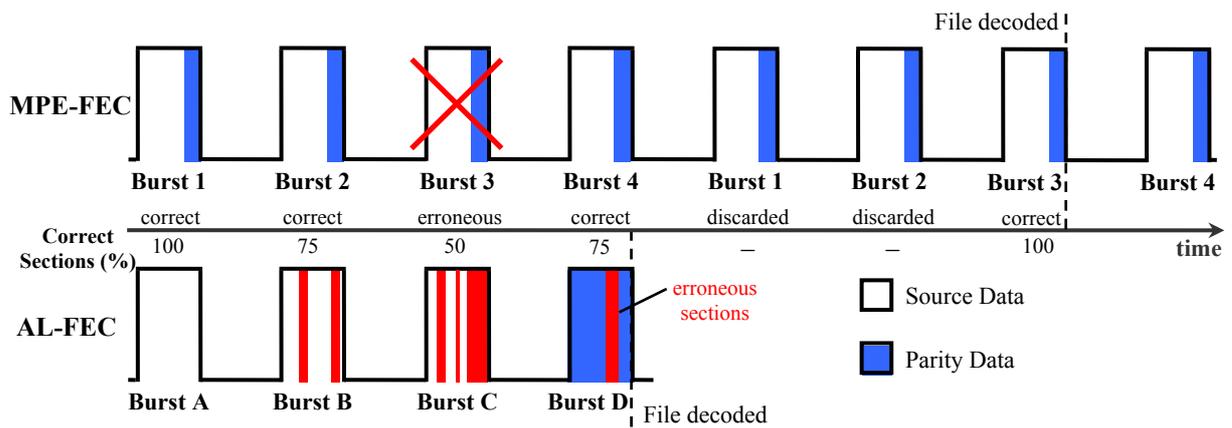


Fig. 3: Ejemplo de transmisión de un archivo de 6 Mb en DVB-H con MPE-FEC (tasa de codificación 3/4) y AL-FEC.

4.2. Application Layer – FEC

El mecanismo FEC de la capa de aplicación, AL-FEC (*Application Layer – FEC*), utiliza códigos Raptor [17], que son una implementación computacionalmente eficiente de códigos fuente digitales (*digital fountain codes*).

Los códigos fuente digitales son una clase especial de códigos FEC que pueden generar una cantidad infinita de información de paridad. Fueron originariamente diseñados para transmitir datos eficientemente en canales *multicast* asíncronos [18]. Un código fuente digital ideal tiene la propiedad de que el archivo se puede reconstruir una vez recibida una cantidad de información codificada igual al tamaño del archivo. No importa qué información concreta es recibida, sino que se reciba información suficiente.

Los códigos Raptor son una implementación computacionalmente eficiente de códigos fuente digital desarrollados por Digital Fountain Inc., que se suelen implementar en software. Además, su rendimiento es muy próximo al de un código fuente digital ideal, y sólo hay que recibir un 1-2% más de información que el tamaño del archivo original para poder recuperarlo. Cabe destacar también que los códigos Raptor también han sido estandarizados en el estándar celular 3G para su utilización en MBMS.

Para aplicaciones *multicast/broadcast* en sistemas de comunicaciones inalámbricos, los códigos fuente digitales cuando se utilizan en la capa de aplicación superan en prestaciones a otros tipos de códigos FEC en términos de fiabilidad, eficiencia espectral y flexibilidad [19]. Los principales beneficios son:

- Pueden recuperar pérdidas de paquetes en todas las capas y todos los protocolos inferiores, proporcionando corrección de errores extremo a extremo. Pueden incluso corregir paquetes IP erróneos en la red troncal o en Internet.

- Proporcionan el mayor entrelazado temporal posible, siendo capaces de recuperar el archivo original incluso si varios paquetes consecutivos se pierden.
- No se necesita ningún tipo de modificación o estandarización por debajo de la capa de aplicación.

La Figura 3 muestra la transmisión de un archivo de 6 Mb para ilustrar la diferencia entre MPE-FEC y AL-FEC (por simplicidad se considera un código ideal). La tasa de codificación de MPE-FEC considerada es 3/4, por lo que el archivo se divide en 4 bursts, y puede soportar hasta un 25% de secciones erróneas. Con MPE-FEC cada burst contiene tanto datos de fuente como de paridad, mientras que con AL-FEC el archivo original es transmitido primero, seguido por información de paridad (código sistemático). Obviamente si el archivo original es recibido correctamente, no hace falta ninguna decodificación en absoluto. De la Fig. 3 es importante notar que con MPE-FEC, los archivos son transmitidos en un carrusel (repetidamente), mientras que con AL-FEC simplemente se transmiten más información de paridad.

En caso de utilizar MPE-FEC, cada uno de los bursts debe ser correctamente recibido para recuperar el archivo. Si, por ejemplo, un terminal pierde un burst, tiene que esperar a que ese mismo burst sea retransmitido. Mientras tanto, los bursts que contienen información que ya se ha recibido se descartan. Se ha de destacar también que un burst sin ningún tipo de error (i.e. se recibe correctamente toda la información IP y de paridad), no se puede utilizar para corregir errores en otros bursts. La diferencia clave con AL-FEC es que **toda la información recibida correctamente es útil**, lo cual acelera considerablemente la recepción del archivo.

Del sencillo ejemplo de la Fig. 3 queda claro que AL-FEC es claramente superior a MPE-FEC para archivos grandes que se transmiten en varios bursts. No obstante, sus prestaciones son prácticamente idénticas para archivos pequeños que se transmiten en un único burst. Este es el caso para los servicios de video *streaming*, donde cada burst se puede considerar como un archivo diferente. Por esta razón, AL-FEC sólo se ha estandarizado para servicios *Podcast*. No obstante, el empleo de AL-FEC para servicios de video *streaming* que no sean en tiempo real puede ser beneficioso para aprovechar la diversidad espacial introducida por la movilidad de los usuarios si se transmiten bursts con información de paridad adicionales algunos segundos después de transmitir los bursts originales [20].

A pesar de que no se obtienen mejores prestaciones por utilizar AL-FEC para la transmisión de servicios *Podcast* pequeños, su utilización ofrece numerosos beneficios en comparación con MPE-FEC para realizar mecanismos de reparación de errores en sistemas híbridos celulares y DVB-H, como se explica en la sección 6.

5. Transmisión de Servicios *Podcast* en Sistemas IPDC

Los sistemas IPDC permiten transmitir diferentes tipos de contenido multimedia como audio, video, texto, imágenes, y archivos binarios. La Fig. 4 muestra la pila de protocolos de transferencia de contenidos en un sistema IPDC [21]. Las portadoras (*bearers*) proporcionan mecanismos para transmitir la información una vez encapsulada en paquetes IP, y como muestra la figura se puede realizar tanto a través de DVB-H como mediante portadoras p-t-p con una red celular. Para la transmisión de ficheros en DVB-H se utiliza el protocolo FLUTE (*File deLivery over Unidirectional Transport*). FLUTE fue originalmente diseñado para su utilización en Internet trabajando sobre UDP/IP, y es particularmente adecuado para la transmisión de ficheros en canales *multicast* sin canal de retorno [22].

Como la modulación y la tasa de codificación en la capa física de DVB-H es normalmente un parámetro fijo del sistema, el servidor multimedia debe decidir el mecanismo de corrección de errores FEC de DVB-H (MPE-FEC o AL-FEC), así como su configuración. La configuración del mecanismo FEC elegido dependerá de las condiciones anticipadas de la red, tamaño del archivo, tipo de usuarios objetivos, y la cantidad de ancho de banda y tiempo de transmisión que se puede utilizar.

En el caso de utilizar MPE-FEC, los parámetros que hay que decidir son la tasa de codificación de los bursts y el número de veces que el archivo es transmitido en el carrusel.

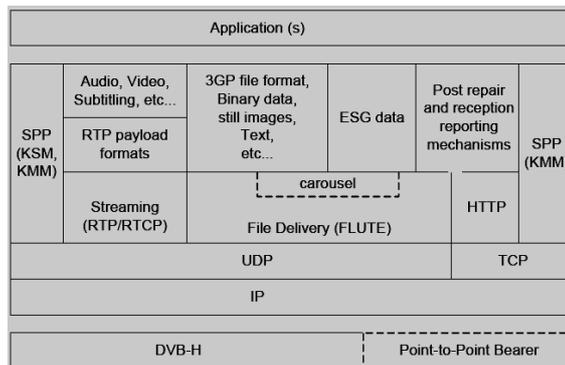


Fig. 4: Pila de protocolos en un sistema IPDC.

Por otro lado, si se utiliza AL-FEC, en el servidor multimedia cada archivo es dividido en uno o varios bloques (*source blocks*), siendo el tamaño máximo permitido de 32 Mb (4 Mbytes). El codificador AL-FEC es aplicado a cada bloque independientemente. El servidor tiene que decidir la cantidad de paridad adicional transmitida por bloque (que determina el número de bursts).

El servidor debe garantizar que el archivo es correctamente recibido por la mayoría de usuarios, para evitar problemas de congestión en el canal de retorno proporcionado por la red celular para notificar errores en la transmisión por parte de los terminales. Sin embargo, después de la transmisión inicial del archivo en DVB-H el servidor ha de tener en cuenta la posibilidad de realizar mecanismos de reparación de errores, tanto con DVB-H como con la red celular, para conseguir una utilización más eficiente de los recursos radio.

6. Mecanismos de Reparación de Errores en Sistemas IPDC

En un sistema híbrido celular E3G y DVB-H existen tres tipos de mecanismos de reparación de errores según su modo de transmisión [12]:

- Sesión de reparación *broadcast* p-t-m en toda el área de servicio con DVB-H transmitiendo más bursts.
- Sesión de reparación *unicast* p-t-p con la red celular con HSDPA.
- Sesión de reparación *multicast* p-t-m en una celda o un grupo con la red celular con MBMS.

El uso de AL-FEC es clave para proporcionar mecanismos de reparación flexibles y eficientes. En primer lugar, como cualquier paquete recibido correctamente puede ser utilizado para recuperar la información de original, AL-FEC minimiza el número de paquetes de reparación necesarios. Además, como paquetes específicos no tienen que ser transmitidos, los terminales solamente tienen que especificar cuántos paquetes tienen que ser transmitidos en la sesión de reparación.

Las sesiones de reparación simplemente consisten en transmitir información de paridad adicional. Es importante recordar que como dicha información puede ser utilizada por todos los usuarios, la cantidad total de información de reparación necesaria se puede minimizar realizando sesiones de reparación p-t-m. Otra ventaja importante es que AL-FEC permite generar paquetes de reparación adicionales en tiempo real, sin necesidad de saber el número total de paquetes necesarios. Además, la información transmitida a través de la red celular puede ser generada por otro servidor diferente al de la red DVB-H.

Si AL-FEC no se utiliza y se emplea MPE-FEC, los terminales tienen que especificar qué paquetes han perdido para evitar duplicados de paquetes. Por lo tanto, para un número elevado de peticiones independientes, las sesiones de reparación significarían la retransmisión de todo el archivo.

En un sistema híbrido celular y DVB-H, la red celular se puede utilizar para obtener información de los terminales para poder decidir el mecanismo de reparación óptimo. Intuitivamente, transmitir más *bursts* con DVB-H no servirá para usuarios estacionarios, o de baja movilidad, situados en áreas de pobre cobertura, mientras que será una alternativa muy interesante para usuarios de alta movilidad (e.g., usuarios en automóviles). Por otro lado, las prestaciones de los mecanismos de reparación con la red celular dependerán de la posición relativa de los usuarios con respecto a las estaciones base de la red celular, así como de otros factores externos como las interferencias y la carga de la red. Por ejemplo, el sistema debe decidir si los usuarios de baja movilidad situados en zonas sin cobertura de DVB-H son ignorados, o servidos completamente a través de la red celular si se encuentran cerca de una estación base y son posibles conexiones de alta velocidad. En cualquier caso, la red celular será muy útil para servir usuarios que reciban un *burst* parcialmente, y sólo necesiten poca cantidad de información de reparación para decodificar el *burst*. Esto ocurre en situaciones en que la desviación típica del *shadowing* (desvanecimientos lentos) es baja (como en los entornos de visión directa o SFN), y en situaciones de muy alta movilidad [12].

7. Evaluación Numérica

7.1. Simulaciones

Para estudiar la transmisión de servicios *Podcast* para distintas configuraciones de MPE-FEC (con tasas de codificación $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$) y AL-FEC se han considerado dos escenarios de despliegue de red de DVB-H en una zona urbana. El primer escenario consiste en una red con solamente una torre de TV situada en el centro de la ciudad. El segundo escenario consiste en una red SFN densa desplegada en emplazamientos celulares.

Se ha estudiado la transmisión de archivos de diferentes tamaños. A saber: 1.5 Mb, 3 Mb, 6 Mb, y 30 Mb. Recordar que archivos mayores que 32 Mb son divididos en dos o más bloques cuando se utiliza AL-FEC. Para modelar los códigos Raptor (AL-FEC) se ha asumido que los usuarios necesitan recibir un 1% más del tamaño total del archivo para poder decodificarlo correctamente, como en el proceso de estandarización de AL-FEC en DVB-H [23].

En la evaluación se han considerado usuarios en vehículos (*vehicular*) por ser uno de los casos de usuario más críticos, ya que experimentan discontinuidades de cobertura y sufren un fuerte efecto Doppler debido a sus altas velocidades, lo cual se traduce en rápidos desvanecimientos de la señal (*fast fading*). Además estos usuarios experimentan también unas pérdidas de penetración en vehículos. Es importante destacar que el otro caso de usuario crítico, los usuarios en interiores (*indoor*), pueden ser servidos mediante soluciones específicas, como son utilizar repetidores o *gap-fillers* de interiores (ya sean profesionales o domésticos), o incluso utilizar WLAN [24].

En las simulaciones los usuarios están inicialmente uniformemente distribuidos en el área de servicio y se mueven de acuerdo al modelo de movilidad para usuarios transportados en vehículos en zonas urbanas descrito en [25] (se pueden interpretar también como diferentes trayectorias que un usuario puede tener). En las simulaciones se calcula el porcentaje de usuarios que reciben correctamente el archivo, en función de la potencia EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) de la torre de TV y del número de emplazamientos de la red SFN. Tanto la potencia de la torre de TV como el número de emplazamientos de la red SFN son parámetros que están directamente relacionados con la inversión en infraestructura de red de DVB-H [8]. De aquí en adelante el porcentaje de usuarios que reciben el archivo correctamente se llamará probabilidad de adquisición (*acquisition probability*). Los resultados mostrados a continuación se han obtenido tras promediar 10 simulaciones con 1000 usuarios cada una.

7.2. Modelo del Sistema

El área de servicio se modela por una celda hexagonal con un radio de 25 km. La altura de la torre de TV considerada en el primer escenario son 250 m, mientras que en el segundo escenario los emplazamientos celulares son de 35 m de altura y forman una red hexagonal regular de radio 2 km (en total hay 157 emplazamientos en el área de servicio). En los emplazamientos celulares se ha asumido una EIRP de 30 dBW (1 kW). Se han considerado antenas omnidireccionales ideales todos los emplazamientos.

El modo de transmisión de la capa física de DVB-H considerado es el siguiente: tamaño de la FFT 4K, intervalo relativo de guarda (GI) $\frac{1}{4}$, modulación y tasa de codificación 16-QAM $\frac{1}{2}$. Para conseguir una mayor duración temporal de los bursts, para incrementar las prestaciones de MPE-FEC y AL-FEC [14], se ha considerado que estos se transmiten a una tasa binaria de burst de 5 Mb/s. La diferencia temporal entre bursts (*off-time*) son 11 s para los casos AL-FEC y MPE-FEC $\frac{3}{4}$. Como MPE-FEC $\frac{1}{2}$ implica que el archivo se transmite en un número de bursts tres veces mayor que en el resto de los casos (esto es debido a que sólo se transmite 0.5 Mb de información IP en cada burst, como se explica en la sección 4), el tiempo de *off-time* utilizado son 11/3 s, para que el tiempo de transmisión sea el mismo en todos los casos.

Los valores utilizados en el balance de potencias, o *link budget*, son los recomendados en [14] para planificación de cobertura de DVB-H. La frecuencia de operación es de 700 MHz. El teléfono móvil DVB-H se ha caracterizado por una antena omnidireccional con una ganancia de -7 dBi y una figura de ruido de 6 dB (incluyendo un filtro anti-GSM). El *shadowing* se ha caracterizado mediante una estadística log-normal con una desviación típica de 5.5 dB. Las pérdidas de penetración en vehículos son 7 dB. El modelo de propagación utilizado para la torre de TV ha sido la recomendación ITU-R P.1546 [26], y el modelo Okumura-Hata para entornos suburbanos para los emplazamientos celulares. Como la recomendación ITU-R P.1546 asume una altura de la antena receptora de 10 m, se ha utilizado un factor de pérdidas por compensación de altura de 18 dB [14]. No se ha considerado ningún tipo de interferencias externas.

El modelo de movilidad utilizado se basa en movimientos realistas de los vehículos mediante un número de parámetros limitado, los cuales pueden ser fácilmente obtenidos de modo empírico para una ciudad en particular [25]. Los parámetros son los siguientes: probabilidades de cambio de dirección p_{0° , p_{90° , p_{90° , y p_{180° , desviación típica de las distribuciones de cambio de dirección σ_ϕ (se asume el mismo valor para las distintas direcciones), longitud media de las calles principales d , varianza de la longitud de las calles pequeñas respecto σ_d^2 , las velocidades medias en la ciudad y en las calles principales v y v_{mr} , desviación de la velocidad σ_v , y el porcentaje de coches en calles principales p_{mr} . Los valores utilizados en las simulaciones se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros del modelo de movilidad.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
p_{0°	0.695	d	250 m
p_{90°	0.2	σ_d^2	$d \cdot \sqrt{(2/\pi)}$
p_{-90°	0.1	v	15 km/h
p_{180°	0.005	v_{mr}	40 km/h
σ_ϕ	$\pi/32$	σ_v	15 km/h
p_{mr}	0.7		

7.3. Resultados y Discusiones

En primer lugar se estudia el efecto de la tasa de codificación en MPE-FEC ($\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$).

Las Figuras 5 y 6 muestran la probabilidad de adquisición de un fichero de 30 Mb en función de la potencia de la torre de TV, y del número de emplazamientos utilizados en la red SFN, para distintos números de transmisiones del archivo con MPE-FEC $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$. En las figuras se muestra también las potencias y números de emplazamientos necesarios para alcanzar niveles de cobertura del 90%, 95%, 98% y 99% (con MPE-FEC $\frac{3}{4}$), para ilustrar cómo es cada vez más costoso conseguir cobertura en el último porcentaje de lugares.

Se puede observar cómo el rendimiento de MPE-FEC es similar a no transmitir ninguna información de paridad. Esto es debido al incremento del número de bursts que tienen que ser recibidos para obtener el archivo, lo cual contrarresta la mayor robustez de la señal transmitida. En concreto, cuando no se utiliza MPE-FEC se necesitan 15 bursts, mientras que cuando se emplea con tasas de codificación de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ son necesarios 20 y 60 bursts respectivamente.

En las Figuras 7 y 8 se comparan las probabilidades de adquisición de un fichero de 30 Mb utilizando MPE-FEC $\frac{3}{4}$ y AL-FEC. Se puede observar claramente las mejores prestaciones que ofrece AL-FEC en comparación a MPE-FEC. Cuando se utiliza AL-FEC se consigue una mejora significativa transmitiendo sólo un burst de paridad (curva con 16 bursts). Por otro lado, la diferencia entre transmitir 19 y 20 bursts es bastante pequeña. La diferencia en potencia de la torre de TV necesaria para lograr una probabilidad de adquisición del 95% entre AL-FEC y MPE-FEC con 20 bursts es de 6.3 dB. Esta diferencia se puede interpretar como una mejora en el balance de potencias. Por otro lado, en el segundo escenario se puede disminuir en un 50% el número de emplazamientos necesarios (de 87 a 43 emplazamientos) para conseguir una probabilidad de adquisición del 95% utilizando AL-FEC en vez de MPE-FEC.

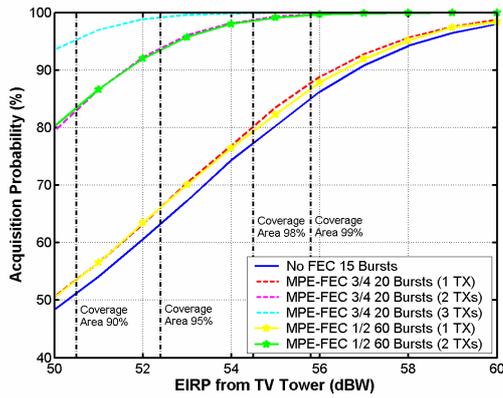


Fig. 5: Probabilidad de adquisición (%) vs. Potencia de la torre de TV (dBW). Tamaño del archivo 30 Mb.

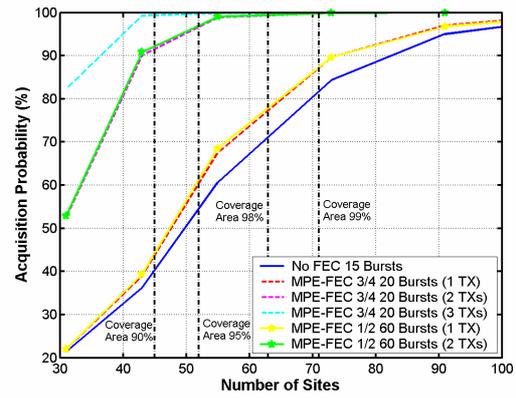


Fig. 6: Probabilidad de adquisición (%) vs. Número de transmisores de la red SFN. Tamaño del archivo 30 Mb.

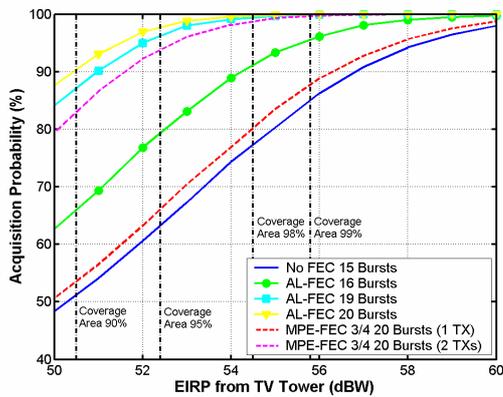


Fig. 7: Probabilidad de adquisición (%) vs. Potencia de la torre de TV (dBW). Tamaño del archivo 30 Mb.

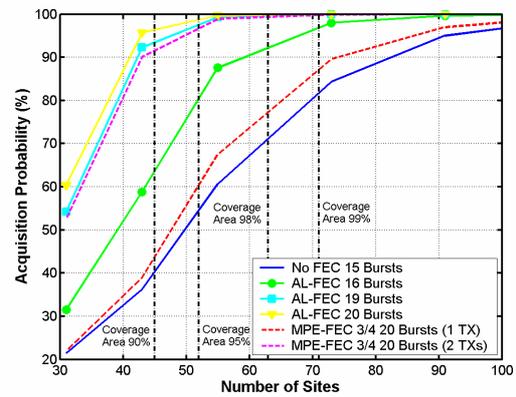


Fig. 8: Probabilidad de adquisición (%) vs. Número de transmisores de la red SFN. Tamaño del archivo 30 Mb.

La Tabla 2 muestra la reducción de la EIRP de la torre de TV y del número de emplazamientos en la red SFN para una probabilidad de adquisición del 95% al utilizar AL-FEC en vez de MPE-FEC $\frac{3}{4}$ (con una transmisión). Se puede comprobar cómo la ganancia disminuye para archivos de menor tamaño. De hecho, para archivos de 1.5 Mb (un único burst), se obtiene el mismo rendimiento.

Las Figuras 7 y 8 también sirven para dar una idea aproximada de la infraestructura de red de DVB-H que puede ser ahorrada si se utiliza una red celular para transmitir información de reparación. Además, sirven para entender los requisitos de la red celular, ya que las figuras muestran el porcentaje de usuarios que se benefician de transmitir un burst más. Por ejemplo, las curvas de 16 bursts dan una indicación del rendimiento en un sistema IPDC donde se transmite a través de DVB-H el fichero original (15 bursts), y en el que la red celular es capaz de transmitir un burst (2 Mb) de información de paridad. Es importante resaltar que esta cantidad de información (2 Mb) representa sólo un 5-6% del total del archivo, y es perfectamente posible con las futuras redes celulares E3G.

En este caso, sólo un 15% de los usuarios se benefician de transmitir el decimosexto burst (Fig. 7), reduciendo en 3 dB la potencia necesaria de la torre de TV para lograr una probabilidad de adquisición del 95%. En el escenario de la red SFN se benefician el 23% de los usuarios, ahorrando 23 emplazamientos (Fig. 8).

El potencial de los sistemas IPDC para lograr una mayor eficiencia en la utilización de los recursos gracias a la utilización de la red celular se puede observar claramente mirando las curvas con 19 y 20 bursts. En ambos escenarios solamente un 3% de los usuarios se benefician de transmitir el vigésimo burst.

Tabla 2: Reducción de la infraestructura de red DVB-H necesaria para conseguir una probabilidad de adquisición del 95% al utilizar AL-FEC en vez de MPE-FEC $\frac{3}{4}$.

Tamaño del Archivo	Reducción EIRP	Reducción Emplazamientos
30 Mb (20 bursts)	6.3 dB	44
6 Mb (4 bursts)	2.4 dB	15
3 Mb (2 bursts)	0.9 dB	4
1.5 Mb (1 burst)	0 dB	0

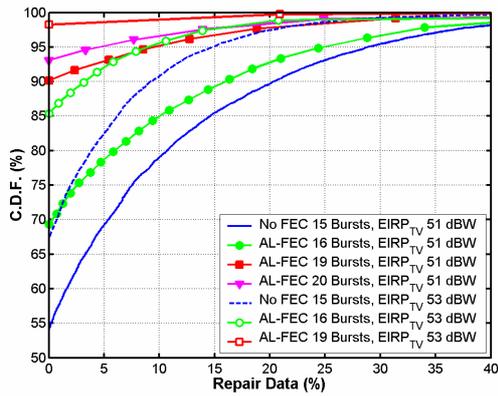


Fig. 9: CDF de la cantidad de información de reparación necesaria después de la transmisión DVB-H (%). Tamaño del archivo 30 Mb. Escenario torre de TV.

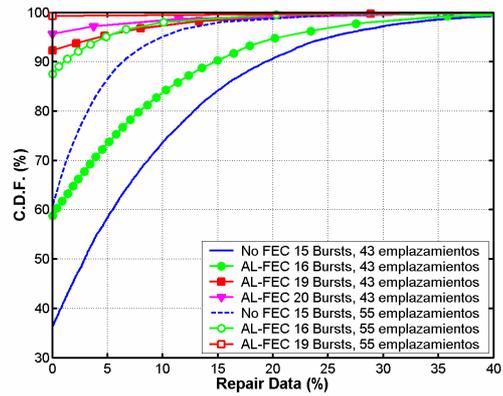


Fig. 10: CDF de la cantidad de información de reparación necesaria después de la transmisión DVB-H (%). Tamaño del archivo 30 Mb. Escenario red SFN.

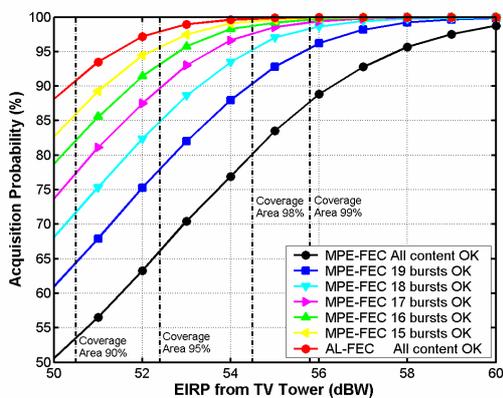


Fig. 11: Probabilidad de adquisición vs. Potencia de la torre de TV. Archivo 30 Mb. Bursts transmitidos 20.

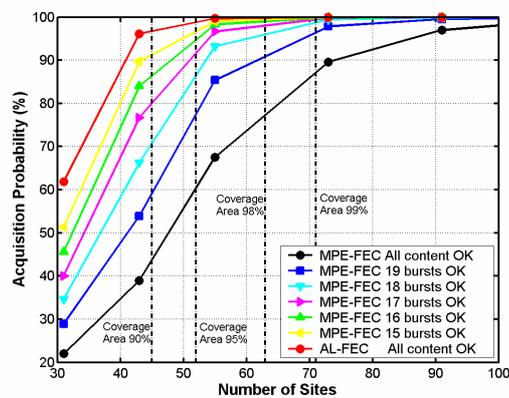


Fig. 12: Probabilidad de adquisición vs. Transmisores de la red SFN. Archivo 30 Mb. Bursts transmitidos 20.

Las Figuras 9 y 10 muestran la CDF de la cantidad de información de reparación necesaria para decodificar el archivo correctamente después de la transmisión DVB-H. Se puede comprobar cómo siempre habrá usuarios con muy malas condiciones de recepción de DVB-H que perderán la mayoría de los bursts. Estos usuarios podrían ser servidos más eficientemente con la red celular.

Finalmente, se estudia la reducción de infraestructura necesaria al transmitir servicios de video *streaming* como una sucesión de ficheros utilizando AL-FEC. Las Figuras 11 y 12 comparan el porcentaje de usuarios que recibe correctamente el fichero de 30 Mb con AL-FEC, con el porcentaje de usuarios que reciben correctamente de 15 a 20 bursts con MPE-FEC $\frac{3}{4}$. El número de bursts transmitidos en todos los casos es de 20. Se puede observar el gran beneficio de esta estrategia. Hay más usuarios que reciben el archivo utilizando AL-FEC, que usuarios que reciben solo 15 de los 20 bursts transmitidos con MPE-FEC. El inconveniente es un mayor tiempo de *zapping*, aunque existen técnicas para reducirlo [27]. Esta alternativa podría ser muy interesante en las fases iniciales de despliegue de DVB-H, ya que requiere niveles de cobertura mucho menores para proporcionar servicios de TV digital móvil.

8. Conclusiones

En este artículo se ha estudiado la transmisión de servicios *Podcast* en sistemas *IP Datacast* sobre DVB-H. Se han demostrado las ventajas de utilizar mecanismos de corrección de errores FEC en la capa de aplicación en vez de en la capa de enlace, especialmente para archivos grandes. Para tamaños de archivos pequeños se obtienen prestaciones similares, pero trabajar en la capa de aplicación ofrece numerosas ventajas para realizar mecanismos de reparación de errores. Además, se ha demostrado el potencial de realizar mecanismos de corrección de errores con una red celular para servir a los usuarios con peores condiciones de recepción de DVB-H y para recuperar bursts recibidos parcialmente, obteniendo una utilización más eficiente de los recursos del sistema.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio dentro del proyecto FURIA (FUtura Red Integrada Audiovisual) en el marco del Programa Plan Avanz@.

Referencias

- [1] B. Karlson *et al.*, “*Wireless Foresight: Scenarios of the Mobile World in 2015*,” Wiley, 2003.
- [2] S. Parkvall, E. Englund, M. Lundevall, y J. Torsner, “Evolving 3G Mobile Systems: Broadband and Broadcast Services in WCDMA,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 2, pp. 68-74, Febrero 2006.
- [3] ETSI, EN 302 304 v1.1.1, “*Digital Video Broadcasting (DVB); transmission system for handheld terminals (DVB-H)*”, Noviembre 2004.
- [4] ETSI, EN 300 744 v1.5.1, “*Digital Video Broadcasting (DVB); framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*”, Noviembre 2004.
- [5] G. Faria, J. A. Henriksson, E. Stare, y P. Talmola, “DVB-H: Digital Broadcast Services to Handheld Devices,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, no. 1, pp. 194-209, Enero 2006.
- [6] ETSI, TR 102 469 V1.1.1, “*Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Architecture*”, Mayo 2006.
- [7] D. Gómez-Barquero y A. Bria, “Feasibility of DVB-H deployment on existing wireless infrastructure”, *International Workshop on Convergent Technologies (IWCT)*, Oulu, Finlandia. 2005.
- [8] A. Bria y D. Gómez-Barquero, “Scalability of DVB-H deployment on existing wireless infrastructure”, *IEEE Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Berlin, Alemania, 2005.
- [9] D. Gómez-Barquero, J. F. Monserrat, y N. Cardona, “Planificación y Despliegue de Red Eficiente de DVB-H,” *Jornadas Telecom I+D*, Madrid, España, 2005.
- [10] D. Gómez-Barquero, A. Bria, J. F. Monserrat, y N. Cardona, “Minimal Cost Planning of DVB-H Networks on Existing Wireless Infrastructure,” *IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC)*, Helsinki, Finlandia, 2006.
- [11] D. Gómez-Barquero, A. Salieta, A. P. García, J. F. Monserrat, y N. Cardona, “Planificación de una Red DVB-H en la Ciudad de Valencia,” *Jornadas Telecom I+D*, Madrid, España, 2006.
- [12] D. Gómez-Barquero y A. Bria, “Repair Mechanisms for Broadcast Transmissions in Hybrid Cellular and DVB-H Systems,” *IEEE International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS)*, Valencia, España, 2006.
- [13] D. Gómez-Barquero, A. Bria, J. Zander, y N. Cardona, “Affordable Mobile TV Services in Hybrid Cellular and DVB-H Systems,” *enviado a la revista IEEE Network Magazine, special issue on Convergence of Internet and Broadcasting Systems*.
- [14] ETSI, TR 102 377 v1.2.1, “*Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines*”, Noviembre 2005.
- [15] ETSI, TR 102 401 v1.1.1, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission to Handheld Terminals (DVB-H); Validation Task Force Report*”, Mayo 2005.
- [16] H. Himmanen, A. Hazmi, y J. Paavola, “Comparison of DVB-H Link Layer FEC Decoding Strategies in a Mobile Fading Channel,” *IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC)*, Helsinki, Finlandia, 2006.
- [17] A. Shokrollahi, “Raptor Codes,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, no. 6, pp. 2251-2567, Junio 2006.
- [18] J. Byers, M. Luby, y M. Mitzenmacher, “A Digital Fountain Approach to Asynchronous Reliable Multicast,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC)*, vol. 20, no. 8, pp. 1528-1540, October 2002.
- [19] M. Luby y A. Shokrollahi, “Mobile Data Broadcast Delivery using FEC codes,” *Digital Fountain Technical Report*, Marzo 2003.
- [20] D. Gómez-Barquero y A. Bria, “Application Layer FEC for Improved Mobile Reception of DVB-H Streaming Services,” *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) Fall*, Montreal, Canada, 2006.
- [21] ETSI, TR 102 469 V1.1.1, “*Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Content Delivery Protocols*”, Junio 2006.
- [22] IETF RFC 3926, “FLUTE – File Delivery over Unidirectional Transport,” 2004.
- [23] M. Watson, “Application Layer Forward Error Correction. Summary of Simulation Results,” *DVB TM-CBMS1397*, Agosto 2005.
- [24] G. Bichot, A. Boundani, y H. Bürklin, “DVB-H over WLAN,” *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*, Las Vegas, USA, Abril 2006.
- [25] P. I. Bratanov y E. Bonek, “Mobility Model of Vehicle-Borne Terminals in Urban Cellular Systems,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 52, no. 4, pp. 947-952, Julio 2003.
- [26] Recomendación ITU-R P.1546, “*Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz*”, 2003.
- [27] H. Jenkac, T. Stockhammer, W. Xu, y W. Abdel, “Efficient video-on-demand services over mobile datacast channels,” *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, vol. 7, no. 5, pp. 873-884, 2006.