

Resultados del Primer Piloto de TV Digital Móvil DVB-SH en España

Pablo Olivas González, Pedro F. Gómez, David Gómez Barquero, Narcís Cardona

Grupo de Comunicaciones Móviles
Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM)
Universidad Politécnica de Valencia
E-mail: {pabologo1, pedgomo1, dagobar, ncardona}@iteam.upv.es

Abstract — En el presente artículo se muestran los resultados obtenidos en la campaña de medidas de laboratorio y de campo DVB-SH, organizada conjuntamente por los proyectos FURIA y B21C. Se trata de las primeras pruebas realizadas en España en la tecnología DVB-SH, el estándar europeo de difusión a terminales móviles basado en una arquitectura híbrida satélite-terrestre. Se instaló una red piloto terrestre de frecuencia única con dos transmisores y se realizaron medidas a lo largo de diversas rutas, alternando entre una y dos antenas en recepción. El modo de transmisión utilizado fue: modulación QPSK, tasa de codificación 1/3, intervalo de guarda OFDM 1/4 y tamaño de FFT 2K, que destaca por su gran robustez. El objetivo principal del piloto fue la validación del segmento terrestre del estándar en entornos urbanos y suburbanos, para el modo de transmisión utilizado. Para llevarlo a cabo, se realizaron una serie de medidas a partir de las cuales se obtuvieron los resultados que se muestran en este artículo: estudios de rendimiento de capa física y de capa de enlace, evaluación de cobertura, calibración de modelos de propagación y estudios de calidad subjetiva.

I. INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta principalmente los resultados obtenidos en las medidas de campo en el primer piloto de TV digital móvil DVB-SH (*Digital Video Broadcasting – Satellite Services to Handhelds*) en España, instalado en la ciudad de Barcelona en Diciembre de 2008 por los proyectos FURIA y B21C. Los participantes en el piloto DVB-SH fueron por parte del proyecto FURIA Abertis Telecom, Hispasat, LaSalle, Mier e iTEAM; y por parte del B21C France Télécom, Teamcast y DibCom. Asimismo, también se realizó una campaña de medidas de laboratorio DVB-SH organizada en Julio de 2009, empleándose en este artículo parte de la información obtenida. Tanto las medidas de laboratorio como de campo se verán complementadas en Diciembre de 2009 en el segundo piloto de medidas DVB-SH.

El proyecto FURIA (Futura Red Integrada Audiovisual) es un proyecto singular estratégico en el área de las Tecnologías Audiovisuales en Red de la plataforma e-NEM. El proyecto se encuentra parcialmente financiado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, dentro del Plan Avanza I+D. Se inició en Julio de 2006, siendo su principal objetivo el desarrollo y validación de la integración de las tecnologías emergentes para la difusión de contenidos audiovisuales a terminales fijos y móviles. Tras validar la tecnología de TDT móvil DVB-H, se encuentra actualmente en la fase de validación de las tecnologías DVB-SH y DVB-T2 (segunda generación de TDT), cuya conclusión coincidirá con la finalización del proyecto en Diciembre de 2010. Por su parte, el proyecto B21C, enmarcado dentro de la iniciativa *Celtic*, es considerado como el proyecto europeo de referencia en temas de DVB por su contribución al diseño, desarrollo y validación de las diferentes tecnologías de difusión digital de contenidos.

DVB-SH [1] es el estándar europeo de difusión de contenidos a terminales móviles en una arquitectura híbrida satélite-terrestre. Consta de una componente satelital que puede proporcionar una cobertura global y una componente terrestre complementaria opcional, que permite proporcionar cobertura en zonas urbanas e interiores donde la recepción de la señal del satélite no es posible. El rango de frecuencias de operación asignado para estos sistemas por la Unión Europea se encuentra entre los 2170 MHz y los 2200 MHz (banda S), disponible en toda Europa [2].

Se plantean dos tipos diferentes de arquitecturas DVB-SH. Por un lado, la arquitectura SH-A, establece el uso de modulación OFDM tanto en el enlace satélite como en el enlace terrestre, formando redes SFN (*Single Frequency Networks*) al operar en el mismo canal de frecuencia. La arquitectura SH-B, por otro lado, establece la modulación TDM en el segmento satelital y la modulación OFDM en el segmento terrestre (arquitectura SH-B), con la posibilidad de combinar la señal procedente de ambos tipos de transmisores.

Para hacer frente tanto a la gran variabilidad del canal móvil como a los largos desvanecimientos que caracterizan a un canal satelital, el estándar define dos mecanismos de corrección de errores con un entrelazado temporal configurable. A nivel de capa física, se emplea un esquema de codificación FEC basado en turbocódigos, mientras que a nivel de enlace de datos, se permite una codificación FEC opcional conocida como MPE-iFEC, basada en codificación *multi-burst* [3]. Existen dos clases de receptores DVB-SH: clase 1 (entrelazadores de corta duración en nivel físico y larga duración en nivel de enlace) y clase 2 (entrelazadores de larga duración en nivel físico y larga duración opcional en nivel de enlace).

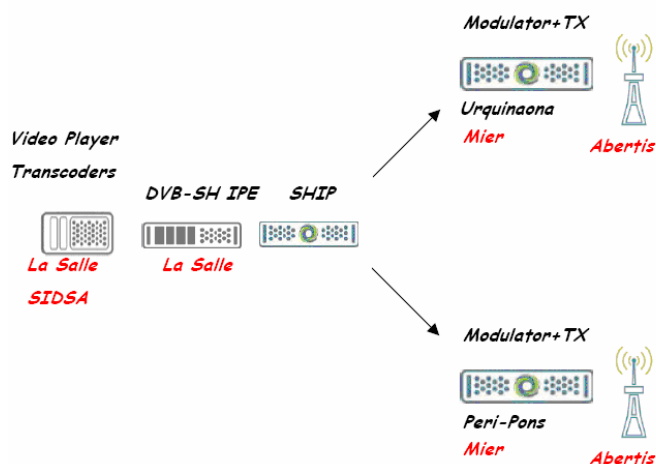


Fig. 1. Red de transmisión del piloto

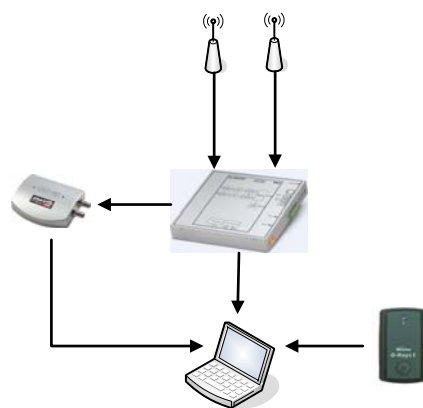


Fig. 2. Arquitectura del sistema de medida DVB-SH

La distribución de contenidos en DVB-SH está basada en el protocolo IP (*Internet Protocol*) y se permite la transmisión discontinua de datos (*time-slicing*), encapsulando la información final en paquetes de transporte MPEG-2 como sucede en los otros estándares DVB [4].

II. DESCRIPCIÓN DE LA CAMPAÑA DE MEDIDAS DVB-SH

A. Red de transmisión y configuración del piloto DVB-SH

Se instaló una red SFN, a partir de dos transmisores de 20 W con antenas omnidireccionales en dos edificios situados en dos centros de Abertis Telecom (ver Figura 7): Peri Pons (132 m) y Urquinaona (95 m); separados 4 km el uno del otro. En la Figura 1, se observa el esquema básico de la red de transmisión del piloto. Tras el encapsulado y codificación de los datos, más la inserción de los paquetes SHIP que aseguran el sincronismo en la red SFN, los contenidos eran transmitidos a través del satélite de Hispasat a los dos centros transmisores, para realizar finalmente la difusión de señal DVB-SH empleando antenas omnidireccionales.

La frecuencia central de operación fue de 2177.5 MHz, con un ancho de banda 5 MHz (rango de 2175 MHz a 2180 MHz). A lo largo de toda la campaña de medidas se empleó el modo de transmisión de capa física QPSK 1/3 1/4 2K, el cual supone una tasa de servicio de 2.22 Mbit/s. Se utilizó un entrelazado clase 1 uniforme, con una duración total de 2.9 segundos.

Aunque se transmitieron un número concreto de servicios MPE-iFEC, se emularon diferentes configuraciones a partir de las trazas de paquetes erróneos registradas por el sistema de medida, como se comenta en el apartado III.

B. Sistema Automatizado de Medida DVB-SH

En la campaña de pruebas se empleó un sistema automatizado de medida DVB-SH desarrollado por el instituto iTEAM de la Universidad Politécnica de Valencia dentro del proyecto FURIA con el objetivo de facilitar el proceso de adquisición de medidas. El sistema de medida registra automáticamente la información en tiempo real, sincronizando los datos en el tiempo. En la Figura 2, se puede observar su arquitectura básica, que consta de los siguientes componentes:

- Receptor DVB-SH profesional Teamcast RXH-1720
- Adaptador ASI/SDI DTU-225
- Receptor GPS

El demodulador DVB-SH de Teamcast opera en banda S y consta de dos entradas de señal, lo que permite implementar diversidad en recepción. Proporciona principalmente parámetros de capa física: RSSI (nivel de potencia), CNR (relación portadora a ruido), MER (*Modulation Error Ratio*); y de enlace de datos como el FER (*Frame Error Ratio*), MFER (*MPE-FEC Error Ratio*) o el MiFER (*MPE-iFEC Error Ratio*). Por otro lado, mediante un adaptador, se puede analizar el flujo de paquetes de transporte que proporciona el demodulador en su salida ASI. De este modo, el sistema de medida puede almacenar la traza de errores, monitorizando el bit TEI que indica la correcta recepción de cada paquete MPEG-2. A partir de dichas trazas, es posible emular el funcionamiento de las capas superiores de DVB-SH con el objetivo de obtener la calidad de servicio experimentada por el usuario.

Toda la información proporcionada por el demodulador y el adaptador se almacena en un ordenador portátil a través de una aplicación software, sincronizándola con los datos de posición, velocidad y tiempo proporcionados por el GPS, también conectado al ordenador portátil. Finalmente, el sistema también permite el post-procesado de información, para generar, por ejemplo, mapas de cobertura.

C. Campaña de medidas de laboratorio DVB-SH

En Junio de 2009 se realizaron en Madrid las primeras pruebas de laboratorio DVB-SH del proyecto FURIA, con el objetivo de caracterizar completamente la capa física y de enlace de datos de la tecnología. En el montaje del laboratorio, un transmisor DVB-SH proporcionaba en su salida RF los datos encapsulados y codificados. Tras una etapa de demodulación a banda base, un emulador de canal simulaba la transmisión en un canal TU6. Finalmente, la señal era analizada y registrada mediante el sistema automatizado de medida DVB-SH del Instituto iTEAM.

Se evaluaron 4 modos de transmisión diferentes, así como 3 tipos diferentes de entrelazado de capa física, y se espera una segunda fase de pruebas mucho más amplia en Diciembre de 2009, a fin de completar la validación de DVB-SH. Además de caracterizar completamente un mayor número de modos de transmisión y entrelazados de capa física y de capa de enlace, se pretende evaluar completamente el canal de transmisión LMS (*Land Mobile Satellite*), mucho más representativo del segmento satélite del estándar.

Este artículo se centra principalmente en los resultados obtenidos de las medidas en la campaña piloto, por lo que únicamente se muestran aquellos resultados de las pruebas de laboratorio relacionados directamente con las pruebas de campo, es decir, que han proporcionado resultados de modo conjunto.

III. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE MEDIDAS

A partir de la traza de paquetes de transporte erróneos y los niveles de potencia y CNR registrados por el sistema de medida, se llevaron a cabo diferentes estudios de validación de la tecnología. Por un lado se analizó el rendimiento de la capa física para establecer un criterio de calidad para una recepción correcta de los servicios, y se evaluó el rendimiento de la capa de enlace de DVB-SH con el objetivo de optimizar la transmisión de los datos. Asimismo, la información proporcionada por el GPS permitió evaluar de forma práctica la cobertura de la red y compararla con los cálculos previos de cobertura, para realizar finalmente una calibración de los modelos de propagación empleados. Por último, se analizó el impacto de diferentes codificaciones FEC sobre la calidad subjetiva que percibe el usuario.

A. Rendimiento de capa física

El estudio del rendimiento de la capa física permite determinar los niveles de señal mínimos necesarios para garantizar una correcta recepción del servicio DVB-SH. A partir de medidas realizadas, se pueden establecer modelos de rendimiento, que permiten calcular los niveles de señal mínimos necesarios para garantizar una correcta recepción del servicio bajo estudio.

Los modelos de rendimiento de la capa física de DVB-SH deben predecir qué información del *burst* se ha recibido correctamente por cada usuario (la cantidad de paquetes MPEG-2 o el número de secciones MPE). Los parámetros de entrada de los modelos de rendimiento deben ser:

- Modo de transmisión DVB-SH: tamaño FFT, intervalo de guarda, modulación y tasa de codificación.
- CNR y frecuencia Doppler, relacionadas con la posición y la movilidad (velocidad) del usuario.
- Tipo de entorno y tipo de canal.

En la Figura 3 se muestra la evolución de la tasa de paquetes de transporte MPEG-2 erróneos frente a la relación portadora a ruido comparando resultados entre simulaciones de capa física y medidas de laboratorio obtenidas en la campaña de medidas de laboratorio del proyecto FURIA. El modo de transmisión empleado en ambas es el mismo que se configuró en el

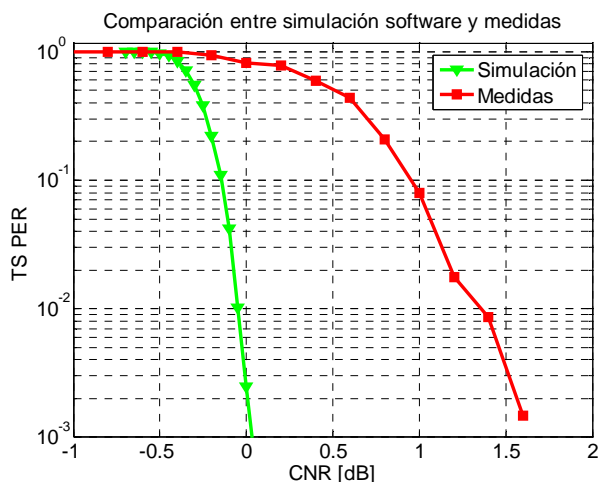


Fig. 3. Comparación del TS PER entre simulaciones de capa física y medidas reales

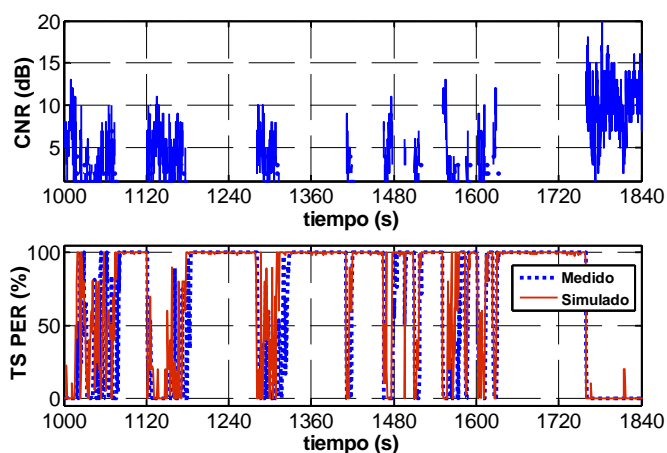


Fig. 4. Gráfico de la potencia, y el TS PER (%) en una trayectoria de medida

piloto y el canal empleado es el TU6, óptimo para aproximar la recepción vehicular en una red terrestre DVB-SH en entornos urbanos. Tal y como se ha comentado en el Apartado III-A, se observa la robustez de la modulación QPSK junto a una tasa de codificación de 1/3, consiguiendo para una CNR de 1.1 dB, un TS-PER del 5%, criterio de degradación comúnmente empleado en servicios de video *streaming*. Se observa igualmente la rápida transición entre una recepción de todos los paquetes erróneos y todos los paquetes correctos. En tan sólo 1.5 dB se encuentra pues la diferencia entre una buena recepción del servicio y la total ausencia de esta.

En la Figura 4, se muestra a modo de ejemplo, un fragmento de medida de 14 minutos de duración, en la que se compara la evolución del TS PER respecto a la evolución de CNR. En este último caso, se observan zonas en las que no aparece ningún valor de CNR, puesto que corresponden a medidas en los que no se superó el umbral mínimo de 0 dB. Se comprueba como el TS PER oscila rápidamente entre un 0% y un 100% de paquetes erróneo dependiendo de si se está recibiendo señal.

A partir de las medidas realizadas en el piloto se ha desarrollado un modelo de rendimiento, mediante el cual se ha calculado el TSPER correspondiente a cada CNR de la trayectoria de la medida de campo (color verde) de la Figura 4, comparado con el TS PER medido realmente (color azul). Se observa un correcto ajuste del modelo de rendimiento de capa física, consiguiéndose una relación directa entre las medidas y la simulación realizada mediante el modelo. La velocidad del receptor con la que se ha obtenido dicho modelo es de 50 km/h (frecuencia Doppler de 100 Hz), pues se ha comprobado la escasa influencia de la velocidad en el rendimiento final, para este modo de transmisión y para el rango de velocidades seguidas en el piloto. No obstante, en futuras pruebas de campo y de laboratorio se obtendrán conclusiones más amplias respecto a la influencia de la velocidad en la recepción.

B. Estudios de capa de enlace

A partir de las trazas de paquetes MPEG-2 erróneos registradas mediante el sistema de medida es posible emular en un simulador de capa de enlace, el funcionamiento de los dos sistemas de codificación MPE-iFEC definidos hasta la fecha: *Raptor* y *Reed Solomon* (RS). El simulador ha sido implementado en Matlab programando las funciones clave en código C-mex con el objetivo de optimizar el coste computacional de las simulaciones.

Se ha evaluado la calidad de servicio experimentada por el usuario en recorridos realizados durante la campaña de medidas, en los que debido a los bajos niveles de cobertura, se alcanzaban frecuentemente altas tasas de TS PER (*Transport Stream Packet Error Ratio*). Dicha calidad se ha calculado con respecto a la latencia en recepción introducida por MPE-iFEC y para diferentes tasas de codificación: 1/2, 2/3, 3/4, 7/8. En las simulaciones se ha asumido la transmisión de un servicio DVB-SH a 384 kbps. El número de filas en el MPE-iFEC *frame* se ha configurado a 512. El número de columnas de datos IP y de paridad así como el tiempo de ciclo queda por tanto determinado por el *coding rate*. Los criterios de calidad escogidos como referencia han sido el IP PER (*IP Packet Error Ratio*) y el MFER (*MPE Frame Error Rate*).

En el presente artículo se muestran los resultados obtenidos para una medida de 41 minutos de duración, con un TS PER medio del 20 %. Comparando el rendimiento proporcionado por los dos mapeos de MPE-iFEC disponibles en la actualidad para diferentes valores de latencia y ratios de codificación, se ha comprobado cómo la protección proporcionada por ambos mecanismos es muy similar en términos de IP PER. La cantidad de paquetes erróneos disminuye conforme aumenta la latencia introducida debido a la codificación *multi-burst* de MPE-iFEC. Debido a la gran cantidad de errores presentes en la capa física, únicamente el ratio de codificación más reducido de 1/2 es capaz de proporcionar ganancias significativas. La razón es que si no se transmite suficiente información de paridad para reparar los numerosos errores, no es posible mejorar la recepción por mucho que se incremente la latencia introducida en el sistema.

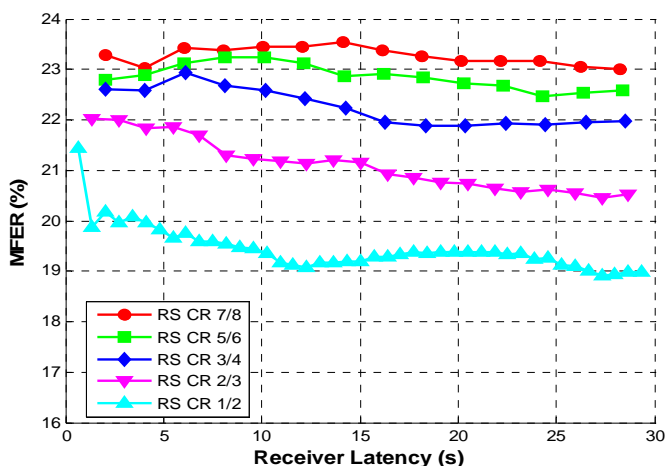


Fig. 5. MFER obtenido tras decodificación MPE-iFEC: mapeo Reed Solomon

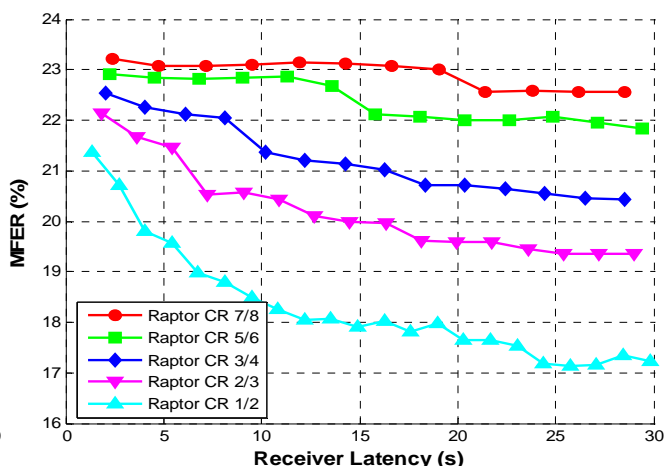


Fig. 6. MFER obtenido tras decodificación MPE-iFEC: mapeo Raptor

Las figuras 5 y 6, muestran como el comportamiento de los dos mapeos de MPE-iFEC difiere en gran medida cuando se emplea el MFER para evaluar la calidad de servicio. Mientras que Raptor obtiene unas ganancias similares a las obtenidas en términos de IPPER, la ganancia proporcionada por RS disminuye de manera considerable. Tal y como se observa en las figuras, el mapeo basado en RS extiende los errores a lo largo del tiempo, incrementado el valor de MFER con respecto a Raptor. Cabe recordar que en el cálculo de MFER un único error en un *burst* de información es suficiente para considerar todo el *burst* como erróneo.

C. Cobertura del Piloto DVB-SH

A lo largo de los tres días de medidas, se recorrieron 6 rutas diferentes con el objetivo de evaluar la cobertura del piloto en la ciudad en la mayor cantidad de zonas posible, principalmente entornos urbanos y suburbanos. Los servicios de vídeo *streaming* se caracterizan por tolerar algunos errores en la transmisión siempre y cuando la calidad del audio y el video sea suficiente para proporcionar una experiencia satisfactoria al usuario. Teniendo en cuenta este aspecto, un criterio de degradación comúnmente empleado y que se ha utilizado para generar los mapas de cobertura de la red bajo estudio es una tasa máxima de paquetes MPEG2-TS erróneos del 5% (TS-PER 5%).

Como se ha comentado anteriormente, la gran robustez del modo de transmisión QPSK 1/3 asegura una buena recepción de señal por encima de una relación portadora a ruido de 1.1 dB, proporcionando la tasa de TS-PER del 5%. Es este el criterio seguido en la Figura 7, en la que se representa la cobertura del piloto medida en la totalidad de las rutas, considerando “cubiertos” aquellos puntos en los que la CNR supera 1.1 dB. De este modo, se obtuvo una cobertura del 61.5% de las ubicaciones en las que se realizaron medidas.

Considerando únicamente las rutas de medida en las que se evaluó la diversidad en recepción, la cobertura que se obtenía mediante una única antena era del 65 %. Sin embargo, al utilizar las dos antenas en diversidad la cobertura aumentó hasta el 72 %, de modo que se obtuvo una mejora de la cobertura en aproximadamente el 7 % de las ubicaciones. Asimismo, en aquellas zonas en las que se obtenía una ganancia por diversidad, se observó una ganancia media en CNR de 1.9 dB. En la Figura 8 se muestra a modo de ejemplo, algunas zonas de la ciudad en las que es notable la mejoría de la cobertura al emplear una segunda antena en recepción.

D. Calibración de modelos de propagación

Con el fin de estimar la cobertura del piloto de la forma más eficiente posible, es imprescindible la selección de modelos de propagación adecuados y la calibración de estos modelos en base a medidas, puesto que el comportamiento de la propagación varía considerablemente con parámetros como la frecuencia de operación o el entorno considerado.

Para el cálculo de cobertura se han utilizado dos modelos de propagación diferentes: El modelo de propagación de Xia-Bertoni y un modelo que calcula las pérdidas según la fórmula de Hata [7] e implementa una degradación adicional de la señal debida a la difracción en edificios, la cual se calcula según el método de Deygout [8].

Frecuentemente se calibra el modelo de propagación para cada uno de los transmisores por separado. Sin embargo, en la campaña de medidas se utilizaron dos transmisores (red SFN) en todo momento, por lo que la señal recibida se corresponde

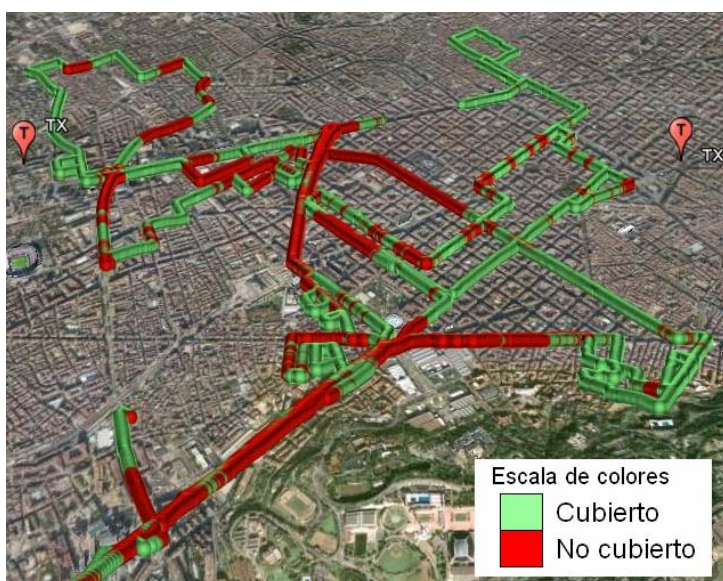


Fig. 7. Cobertura total medida en la ciudad de Barcelona

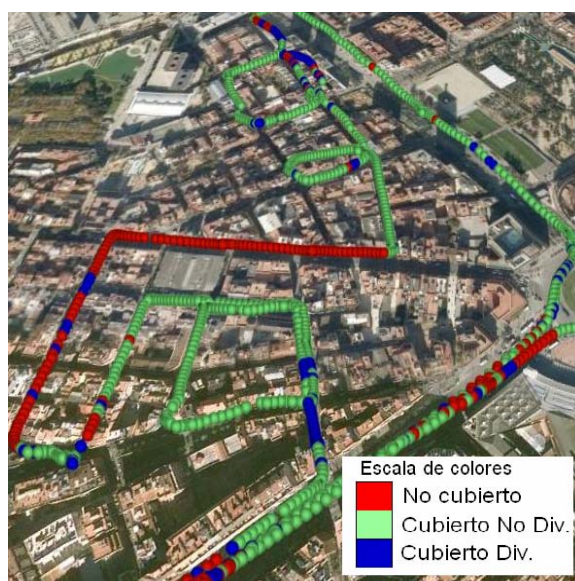


Fig. 8. Ejemplo de la mejora de cobertura con diversidad de 2 antenas

con la combinación de las señales provenientes de cada uno de los transmisores, atenuadas en mayor o menor medida dependiendo de las condiciones de propagación para cada transmisor. Por ello, el método de calibración empleado consiste en clasificar las rutas de medida en función de si pertenecen a un único transmisor o a varios transmisores (SFN).

A partir de esta selección previa se utilizan las medidas dependientes de un solo transmisor para calibrar cada uno de ellos de forma independiente. Las rutas de medidas clasificadas como provenientes de la SFN se utilizan para comprobar la validez del ajuste del modelo para cada transmisor. El método es iterativo de forma que si el error al comparar la simulación con las medidas es mayor que el deseado se procederá a modificar la estimación inicial y repetir el proceso hasta obtener un error de la magnitud deseada. En la Figura 9 se comparan las medidas del nivel de señal recibido de la SFN formada por los transmisores de Peri Pons y Urquinaona y el nivel de señal obtenido según el modelo de propagación Hata+Deygout con sus parámetros característicos ajustados según el método descrito. Se observa que el método de calibración utilizado realiza un buen ajuste de los parámetros característicos del modelo a los resultados de la campaña de medida.

En este estudio se empleó un valor de potencia de -100 dBm como valor umbral para realizar los cálculos de cobertura, mucho menos restrictivo que el empleado en el Apartado III-C. La sensibilidad de -100 dBm del receptor DVB-SH conllevó un problema de saturación en las de medidas, por lo que en este estudio se consideró “cubiertos” aquellos puntos en los que se recibía señal. En la campaña de medidas, la cobertura total de los puntos en los que se superaron los -100 dBm de potencia fue del 71.6 %.

El nivel de cobertura obtenido según el modelo de propagación ajustado es del 81% para todo el escenario de despliegue. La diferencia de un 10 % entre la cobertura del modelo y la cobertura medida, se debe a que ésta última se ve determinada y limitada por las rutas recorridas durante las pruebas. Sin embargo, se ha comprobado cómo en aquellas zonas en las que se realizaron medidas, el modelo se ajusta perfectamente a las medidas realizadas, por lo que la calibración del modelo de propagación es suficientemente ajustada a la realidad., quedando caracterizado correctamente el escenario de despliegue.

E. Estudios de calidad subjetiva

A partir de las trazas obtenidas mediante el sistema de medida DVB-SH, se puede emplear un visualizador para llevar a cabo estudios relacionados con la calidad experimentada por el usuario [9]. Partiendo de una traza de errores medida en Barcelona, se ha simulado la transmisión de un video, es decir, se ha simulado cómo sería su recepción a lo largo de la trayectoria medida.

El recorrido de medida elegido para este estudio, consta de un tramo de 1700 metros aproximadamente y presenta numerosos intervalos de mala recepción. Asimismo, el video empleado se ha recodificado para cumplir las características impuestas por IPDC para servicios de *streaming* de video DVB-H, con una codificación H.264 y una resolución de 320x240 a 15 *frames* por segundo. Debido a la elección de un tiempo de ciclo de 2 segundos, se ha establecido un GOP (*Group Of Pictures*) de 30 *frames*, para respetar la sugerencia de IPDC de que haya un *frame* de refresco en cada *burst* temporal. En cuanto a la protección MPE-FEC, el *coding rate* empleado es 3/4.

La Figura 11 muestra una secuencia de *frames* en las que se han producido errores de visualización. La mayor parte de los errores aparecen con pantallas en las que se muestran imágenes grises, esto es un aspecto de comportamiento propio de la aplicación utilizada al visualizar, otra aplicación podría mostrar el último *frame* correctamente decodificado.

Finalmente, en la Figura 10 se muestra una comparación del rendimiento en PSNR de todo el video para el caso anterior de MPE-FEC y un nuevo caso en que se utiliza MPE-iFEC con codificación Raptor, empleando el mismo *coding rate* pero con

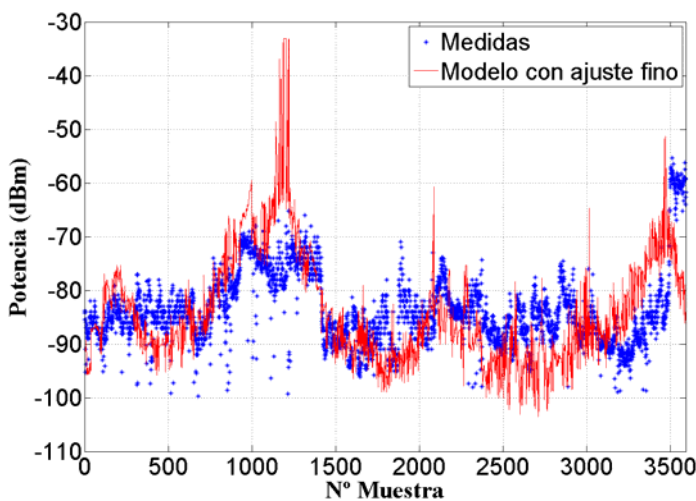


Fig. 9. Evolución de la potencia recibida a lo largo de la trayectoria: calculada (verde), medida (azul) y calibrada (rojo)

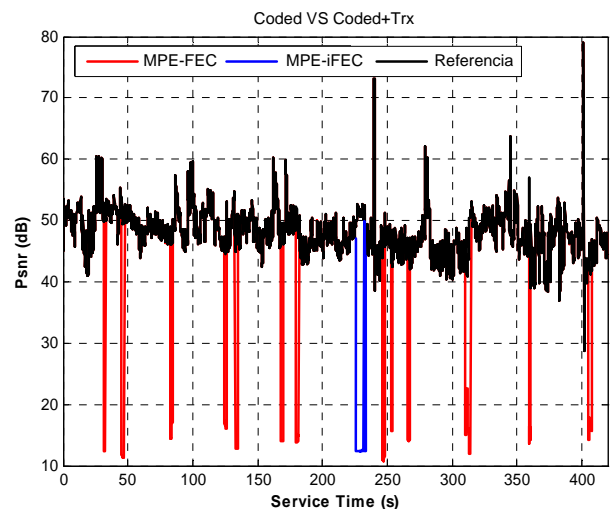


Fig. 10. PSNR del video con MPE-FEC (rojo) y PSNR del video con MPE-iFEC/RAPTOR (azul)



Fig. 11. Reproducción de los errores recibidos a lo largo de la trayectoria de medida

un entrelazado de 4 *bursts* temporales. El *Peak Signal Noise Ratio* (PSNR) es una medida de calidad objetiva referida a un *frame* referencia sin alterar (sin errores) y uno corrompido (con errores, en nuestro caso errores de canal). En las figuras, el PSNR supone una secuencia de valores, uno por cada *frame* que conforma el video. Las curvas de color representan los errores que se obtienen en recepción respecto al PSNR del video codificado sin transmitir, representado en color negro.

Como se puede observar, en el caso de MPE-FEC (rojo) existe un gran número de secuencias con un PSNR muy bajo, que se traducen en pérdida completa de imágenes en la visualización (imágenes en gris). Sin embargo, para el caso de MPE-iFEC con codificación Raptor y entrelazado (azul), se consiguen eliminar la mayor parte de las secuencias erróneas, exceptuando la de mayor duración. Se podría establecer un período de protección superior pero incurriríamos en un tiempo de *zapping* cada vez mayor, que para este caso de 4 *bursts* temporales entrelazados, ya alcanza los 8 segundos (4x2 segundos de tiempo de ciclo).

La ganancia de la codificación MPE-iFEC respecto a la codificación MPE-FEC depende, por tanto, de la distribución de los errores en la medida. Cuanto más largas sean las ráfagas de errores, mayor será el número de *bursts* temporales que será necesario entrelazar, teniendo en cuenta siempre la limitación que impondrá el tiempo de *zapping* máximo tolerable.

IV. CONCLUSIÓN

En este artículo se han mostrado los resultados de las primeras pruebas piloto en España en una red terrestre de la tecnología DVB-SH. A partir de las medidas realizadas, se ha podido comprobar la robustez del modo de transmisión QPSK 1/3 1/4 2K, y se ha obtenido la información de partida para generar un modelo de rendimiento de capa física.

Se ha estudiado la influencia sobre las medidas de los dos mecanismos de codificación FEC de capa de enlace presentes en el estándar y se ha evaluado la cobertura medida durante la campaña, comprobando la ganancia en recepción obtenida al emplear dos antenas en diversidad. A partir de esta medida de cobertura se ha podido calibrar un modelo de propagación que permita caracterizar correctamente el despliegue. Finalmente, se ha simulado la recepción de video a lo largo de una trayectoria de medida, comprobando la influencia directa de la codificación FEC sobre la calidad percibida por los usuarios.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado en este artículo 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@, www.furiapse.com. Los autores quieren mostrar su agradecimiento al resto de participantes en la campaña de medidas DVB-SH: Abertis Telecom, Hispasat, La Salle, MIER, Telefónica I+D y AICIA.

REFERENCIAS

- [1] Proyecto FURIA, <http://www.furiapse.com/>
- [2] Proyecto Celtic B21C, <http://www.celtic-initiative.org/Projects/B21C/abstract.asp>
- [3] ETSI EN 302 583, DVB-SH standard, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Satellite Services to Handheld devices (SH) below 3G", 2008.
- [4] V. Reding, "Commission decision on the harmonized use of radio spectrum in the 2 GHz frequency bands for the implementation of systems providing mobile satellite services," European Commission, document C (2007) 409, February 2007.
- [5] DVB BlueBook A131, "MPE-IFEC" (draft TS 102 772 V1.1.1), November 2008.
- [6] ETSI, DVB-SH Implementation Guidelines, "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-SH Implementation Guidelines", 2008.
- [7] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.29, No.3, pp. 317-325, Aug 1980
- [8] J. Deygout, "Multiple knife edge diffraction of microwaves," *IEEE Transaction on. Antennas Propagation.*, Vol. 14, pp 480-489, Jul 1966.
- [9] F. Camaro, D. Gómez, N. Cardona, "Visualizador de televisión digital móvil DVB-H", Jornadas TELECOM I+D 2009, Madrid, Noviembre 2009.