

Codificación MPE-iFEC Reed Solomon de ventana deslizante para la Transmisión de Servicios de Streaming en Redes DVB-H

David Gozálviz, David Gómez-Barquero, Fernando Camaro, Narcís Cardona

Grupo de Comunicaciones Móviles
Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM)
Universidad Politécnica de Valencia

Email: dagoser@iteam.upv.es

Abstract — Este artículo presenta el mecanismo de protección de capa de enlace MPE-iFEC (*Multi Protocol Encapsulation – Inter burst Forward Error Correction*) recientemente estandarizado en el nuevo estándar para la transmisión de servicios de televisión móvil conocido como DVB-SH (*Digital Video Broadcasting – Satellite services to Handheld devices*). MPE-iFEC es un conjunto de especificaciones basadas en codificación *multi burst* y diseñadas para la corrección de los errores presentes en las transmisiones vía satélite. Sin embargo, MPE-iFEC también es capaz de mejorar la recepción en redes terrestres como es el caso de DVB-H. DVB-H incorpora el mecanismo de protección de capa de enlace MPE-FEC (*Multi Protocol Encapsulation – Forward Error Correction*), el cual es capaz de corregir los errores producidos por *fast fading* pero resulta inadecuado para corregir los errores producidos por *shadowing*. A día de hoy se han propuesto dos configuraciones de MPE-iFEC adecuadas para su uso tanto en redes DVB-SH como en redes DVB-H: una configuración basada en codificación Reed Solomon de ventana deslizante y otra configuración basada en códigos Raptor. En este artículo se explicará en detalle la primera alternativa, se expondrán sus ventajas e inconvenientes, y se evaluará su funcionamiento en redes DVB-H mediante medidas de campo y simulaciones dinámicas basadas en modelos de rendimiento.

I. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

A día de hoy la televisión digital móvil se ha convertido en el máximo exponente dentro de las comunicaciones móviles multimedia. El estándar europeo de Televisión Digital Terrestre (TDT) móvil es conocido como DVB-H (*Digital Video Broadcasting – Transmission System for Handheld Terminals*) [1], el cual es una evolución del sistema de difusión de televisión digital terrestre conocido como DVB-T (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*) adaptada para la recepción en terminales móviles de mano. DVB-H reutiliza la capa física de DVB-T e incorpora el mecanismo de protección de capa de enlace conocido como MPE-FEC (*Multi Protocol Encapsulation – Forward Error Correction*), así como la transmisión de la información en forma de ráfagas dentro de lo que se conoce como *bursts* temporales.. Además, en DVB-H toda la información se transmite en forma de datagramas IP, los cuales viajan dentro de un flujo MPEG-2 mediante encapsulación MPE (*Multi Protocol Encapsulation*).

El nuevo estándar para la transmisión de servicios de TV móvil a terminales de mano conocido como DVB-SH (*Digital Video Broadcasting – Satellite Services to Handheld devices*) [2] [3] está generando un gran interés en el mundo de las telecomunicaciones para crear un mercado europeo de servicios de TV móvil. DVB-SH ha sido desarrollado como evolución de DVB-H y está basado en dos características fundamentales; una arquitectura de red híbrida terrestre-satelital, y la transmisión en la banda S situada en torno a los 2 GHz. La arquitectura híbrida permite conseguir una cobertura en todo el territorio de manera rápida y eficaz gracias a la transmisión vía satélite, al mismo tiempo que la componente terrestre garantiza en los núcleos urbanos una cobertura similar a la de la telefonía 3G [4]. De esta forma es posible prestar servicio a nivel nacional sin que los operadores se vean forzados a desplegar la costosa infraestructura de red necesaria en sistemas terrestres como DVB-H. Por otro lado, la transmisión en banda S permite disponer de 30 MHz, comprendidos en el rango de frecuencias entre los 2170 y los 2200 MHz, los cuales pueden ser utilizados de inmediato por los sistemas híbridos terrestre-satelitales como DVB-SH. DVB-H por el contrario opera en la banda UHF entre 400 y 700 MHz, donde la escasez de canales disponibles está obligando a los operadores a posponer la puesta en marcha de servicios hasta el apagón analógico, el cual está proyectado para el 2010 en la mayoría de países europeos. El hecho de transmitir a frecuencias más elevadas y cercanas a 3G no sólo posibilita la reutilización de equipos y emplazamientos de telefonía móvil celular, sino que además permite el empleo de técnicas de diversidad espacial basadas en la utilización de varias antenas en recepción. Gracias a ello es posible compensar en parte las mayores pérdidas de propagación que conlleva la transmisión a más altas frecuencias.

MPE-FEC es un mecanismo de protección *intra-burst* de capa de enlace diseñado para corregir los errores provocados por el *fast fading* y el ruido impulsivo. MPE-FEC es capaz de corregir una cierta cantidad de errores en cada uno de los *bursts* transmitidos siempre que la tasa de codificación sea lo suficientemente reducida. El objetivo de MPE-FEC es el de permitir la recepción en condiciones de movilidad en aquellas zonas con suficiente cobertura para garantizar la recepción terrestre fija. Sin embargo, al contrario que la recepción terrestre fija en la que se suelen emplear antenas situadas en los tejados de los edificios, los receptores móviles suelen estar situados a nivel del suelo donde frecuentemente no se dispone de visión directa con el transmisor. Esta situación da lugar a la presencia de zonas de sombra en las que es frecuente la aparición de errores

producidos por *shadowing*. Al contrario que en el caso de *fast fading*, los errores ocasionados por *shadowing* pueden extenderse a lo largo de varios *bursts* consecutivos ocasionando la pérdida completa de *bursts* de información. MPE-FEC es incapaz de corregir las largas ráfagas de error producto del *shadowing*, y los operadores deben desplegar una mayor cantidad de transmisores si desean proporcionar unos niveles de cobertura móvil similares a los de la cobertura terrestre fija.

En la transmisión vía satélite a terminales móviles de mano es frecuente que diversos obstáculos como árboles o edificios obstaculicen la línea de visión directa con el transmisor. Puesto que la transmisión vía satélite es una componente fundamental de DVB-SH, se ha incorporado al estándar un sistema de codificación *multi-burst* conocido como MPE-iFEC (*Multi Protocol Encapsulation – Inter burst Forward Error Correction*). La codificación *multi-burst* consiste en codificar de manera conjunta porciones de información pertenecientes a diferentes *bursts* de forma que sea posible recuperar la pérdida completa de alguno de ellos. Aunque DVB-SH soporta tanto MPE-FEC como MPE-iFEC, no permite el funcionamiento conjunto de ambos mecanismos y en [3] se recomienda tan sólo el empleo de MPE-iFEC.

MPE-iFEC es un marco genérico basado en codificación *multi-burst* que admite una gran cantidad de configuraciones con la finalidad de poderse adaptar a diferentes sistemas de comunicación. Se han definido dos configuraciones para su uso en DVB-SH, una configuración basada en códigos Raptor y otra configuración basada en codificación Reed Solomon de ventana deslizante. A día de hoy, únicamente la configuración basada en Reed Solomon se ha incorporado a DVB-SH, mientras la configuración Raptor se describe en el estándar a modo de anexo informativo. Las dos configuraciones actualmente propuestas son también aptas para su uso en redes DVB-H. Aunque MPE-iFEC fue diseñado para la recepción vía satélite, puede incorporarse a DVB-H para mejorar la recepción en terminales móviles en presencia de *shadowing*, de forma que sea posible extender la cobertura de una red existente sin necesidad de desplegar nuevos transmisores.

El presente artículo se centra en el estudio de la codificación Reed Solomon de ventana deslizante y su funcionamiento en redes DVB-H. Para ello se han empleado trazas de errores almacenadas durante una campaña de medida realizada en la red piloto de Turku (Finlandia) así como simulaciones dinámicas basadas en modelos de rendimiento. Mientras que las trazas permiten analizar el comportamiento del mecanismo en condiciones reales de recepción, las simulaciones ofrecen la posibilidad de evaluar el rendimiento en un amplio rango de entornos (valor de CNR, doppler, distancia de correlación y estadísticos de *shadowing*).

II. CODIFICACIÓN MULTI-BURST

La transmisión de contenidos en redes de difusión no permite el empleo de técnicas de retransmisión de información para hacer frente a los errores ocasionados por el canal radio. Esto es debido a que no se dispone de un canal de retorno con el que solicitar la retransmisión de porciones erróneas de información como en el caso de las redes celulares de telefonía móvil. Por este motivo, las redes de difusión utilizan mecanismos de protección conocidos como FEC (*Forward Error Correction*) para la corrección de errores. Los mecanismos FEC generan información adicional de paridad a partir de la información que se desea transmitir. Dicha información de paridad se transmite junto con la información original, de forma que es posible recuperar en recepción los datos perdidos durante la transmisión, siempre que se reciba la suficiente cantidad de información de paridad. Un código FEC perfecto o ideal es aquél que permite corregir los errores presentes en la información recibida cuando se recibe al menos una cantidad de información de paridad igual a la cantidad de información errónea. En caso contrario se dice que es preciso recibir una cantidad adicional de información de paridad conocida como *overhead*.

MPE-FEC es un mecanismo FEC de nivel de enlace que se encarga de codificar los *bursts* de datagramas IP que llegan de las capas superiores. MPE-FEC emplea un codificador Reed Solomon (255,191) para proteger la información y lleva a cabo un entrelazado virtual a nivel de *burst* temporal con una duración del orden de 200 ms. MPE-FEC emplea codificación *intra-burst* en la que la información de paridad se genera a partir de la información contenida en un único *burst* de datagramas. En MPE-FEC cada *burst* de datagramas es transmitido en un único *burst* temporal junto con la información de paridad generada a partir de ese mismo *burst* de datagramas. Debido al alto coste de despliegue de una red terrestre capaz de proporcionar niveles de cobertura elevados, es frecuente la presencia de zonas de sombra en las cuales la calidad de la señal recibida disminuye considerablemente. Puesto que la capa física de DVB-H experimenta un paso muy rápido entre la recepción perfecta y la recepción nula de información, es frecuente la aparición de ráfagas de error de larga duración cuando el usuario atraviesa zonas de sombra. La profundidad de entrelazado de MPE-FEC es adecuada para reparar los errores provocados por el *fast fading* producto de la movilidad del terminal, pero resulta insuficiente para combatir las ráfagas de error ocasionadas por *shadowing*. Esto es debido a que MPE-FEC tan sólo es capaz de reparar en cada *burst* temporal una cantidad de errores igual a la cantidad de información de paridad transmitida en ese mismo *burst*. En caso de que un *burst* temporal contenga una cantidad de errores mayor que información de paridad, será imposible corregir dichos errores aunque el resto de *bursts* se reciban correctamente. Por este motivo MPE-FEC resulta incapaz de corregir la pérdida completa de *bursts* temporales, lo cual es frecuente al atravesar zonas de sombra.

La codificación *multi-burst* consiste en codificar en una misma matriz de codificación información perteneciente a diferentes *bursts* de datagramas. Es posible reparar los errores presentes en una matriz de codificación siempre que se haya recibido la suficiente cantidad de información de paridad correspondiente a dicha matriz. Gracias a la codificación *multi-burst*, la pérdida completa de un *burst* temporal sólo supone la pérdida de una parte de la matriz de codificación, por lo que es posible recuperar el *burst* siempre que se haya recibido correctamente la suficiente cantidad de información en otros *bursts* temporales. A modo de ejemplo, si se codifican de manera conjunta mediante codificación *multi-burst* 10 *bursts* de

datagramas con un ratio de codificación de 1/2, es posible reparar la pérdida completa de hasta 5 *bursts* siempre que los 5 restantes se hayan recibido sin errores. Para llevar a cabo la codificación *multi-burst*, porciones de información de diferentes *bursts* de datagramas se entrelazan en una matriz de codificación de reducido tamaño, o bien se emplean matrices de gran tamaño capaces de codificar conjuntamente varios *bursts* enteros. Las matrices de codificación de mayor tamaño permiten obtener un mejor rendimiento puesto que se incrementa la probabilidad de disponer de suficiente información para reparar los errores presentes en la matriz.

La codificación *multi-burst* aprovecha la diversidad espacio-temporal derivada de la movilidad del terminal para reparar los errores presentes en la información recibida. Un usuario que se encuentra en movimiento atraviesa zonas de sombra así como zonas con buena cobertura a lo largo de su recorrido. Gracias a la codificación *multi-burst* y a la movilidad del terminal, es posible corregir la pérdida completa de *bursts* al atravesar zonas de sombra mediante la información recibida sin errores en zonas con buen nivel de señal. La velocidad a la que se desplaza el usuario determina la cantidad de tiempo que permanece en las zonas de sombra y por tanto, la duración de las ráfagas de error que se originan a consecuencia. Mayores velocidades implican que los errores producidos por el *shadowing* se distribuyen de manera más uniforme a lo largo del tiempo, lo cual se traduce en una mayor diversidad espacio temporal. Dicha diversidad se ve también afectada por las características del entorno así como por la cobertura de la red, puesto que determinan el tamaño y distribución geográfica de las zonas de sombra. Situaciones de recepción con mayor diversidad espacio temporal requieren menores duraciones de entrelazado, y por tanto, una menor cantidad de *bursts* codificados de manera conjunta para corregir los errores producidos a causa del *shadowing*.

La codificación *multi-burst* presenta sin embargo ciertos inconvenientes. Mientras que en MPE-FEC tan sólo es preciso recibir un *burst* temporal para disponer de toda la información de una misma matriz de codificación, en el caso de la codificación *multi-burst*, el terminal debe recibir y almacenar varios *bursts* temporales para completar una matriz. Esto no sólo supone un aumento de la memoria requerida para almacenar toda la información recibida antes de ser decodificada, sino que incrementa la latencia en recepción. La latencia en recepción determina el tiempo de zapping, ya que el terminal no puede comenzar a reproducir un nuevo servicio hasta que todos los *bursts* temporales con información de la primera matriz han sido recibidos y la matriz ha sido decodificada. El tiempo de zapping puede definirse como el período de tiempo que transcurre entre el instante en el que el usuario selecciona un programa y el instante en el que comienza su reproducción. El incremento en el tiempo de zapping no es importante en servicios de descarga de ficheros pero resulta fundamental en servicios de *streaming*, donde es considerado un parámetro clave a la hora de evaluar la calidad de servicio experimentada por el usuario.

III. MPE-IFEC

MPE-iFEC es un mecanismo de protección *multi-burst* en el que se codifica de manera conjunta información perteneciente a diferentes *bursts* de datagramas dentro de lo que se conoce como matrices de codificación. Las matrices de codificación están compuestas por una Tabla de Datos de Aplicación (*Application Data Table*, ADT) y una Tabla de Datos iFEC (*iFEC Data Table*, iFDT). Mientras que la ADT se rellena con la información de los *bursts* de datagramas IP provenientes de las capas superiores, la información de paridad que se genera como resultado de codificar los datos contenidos en la ADT se coloca en la iFDT correspondiente. Cada *burst* temporal que se transmita estará formado por un único *burst* de datagramas IP junto con información de paridad proveniente de una o varias iFDTs.

La codificación Reed Solomon de ventana deslizante (*Sliding RS Encoding*, SRSE), es un mapeo de MPE-iFEC que emplea el mismo codificador RS (255,191) que MPE-FEC. SRSE utiliza un algoritmo de ventana deslizante que le permite codificar porciones de información pertenecientes a diferentes *bursts* de datagramas en una misma matriz de codificación. El algoritmo de ventana deslizante está basado en una ventana virtual que engloba a varias matrices de codificación y que se ilustra en la figura 1. Cuando se recibe un *burst* de datagramas IP proveniente de las capas superiores, la ventana avanza una posición y el *burst* se distribuye entre las ADTs de las matrices de codificación que se encuentran dentro de la ventana. A continuación se codifica una de las matrices y se genera la información de paridad en la iFDT correspondiente. Aunque los *bursts* de datagramas se transmiten de uno en uno en el mismo orden en el que se recibieron de las capas superiores, la información de paridad de diferentes iFDTs se entrelaza y se transmite a lo largo de varios *bursts* temporales tal y como se muestra en la figura 2.

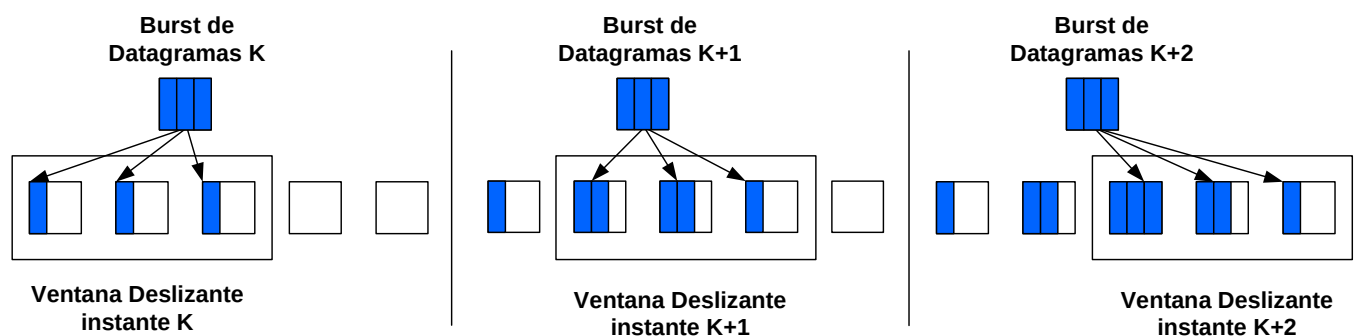


Fig. 1. Funcionamiento del mecanismo de ventana deslizante con $B=3$

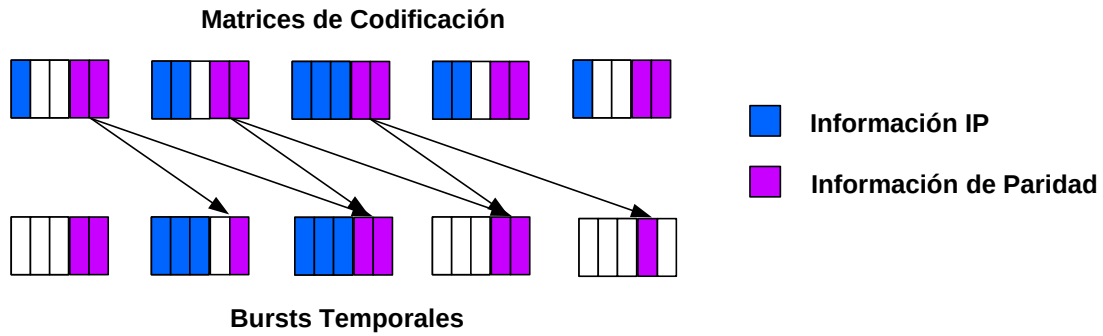


Fig. 2. Entrelazado de la información de paridad en los *bursts* temporales con $S=2$

En recepción, una ventana similar a la empleada en transmisión se utiliza para distribuir la información de los *bursts* temporales entre las diferentes matrices de decodificación. Una vez decodificadas las matrices, los *bursts* de datagramas son entregados a las capas superiores en el mismo orden en el que se generaron en transmisión.

El funcionamiento de la codificación Reed Solomon de ventana deslizante está regulado por tres parámetros:

- La paralelización de codificación (B) es el parámetro que controla la cantidad de *bursts* de datagramas cuya información se entrelazada y codificada de manera conjunta en una misma matriz de codificación. En el caso de SRSE, el parámetro B consiste en el número de matrices de codificación que se encuentran dentro de la ventana deslizante. Puesto que una matriz de codificación sólo pueda albergar una cantidad de información igual a un *burst* de datagramas, cada matriz de codificación contiene información entrelazada de B *bursts* diferentes. Debido al funcionamiento del mecanismo de ventana deslizante, cada *burst* de datagramas queda entrelazado en las matrices de codificación con los $B-1$ *bursts* anteriores y los $B-1$ *bursts* posteriores. Valores más elevados de B aumentan la profundidad de entrelazado puesto que la información de un *burst* de datagramas se distribuye entre un mayor número de matrices.
- El ensanchamiento FEC (S) regula la cantidad de iFDTs cuya información de paridad se entrelazará y transmitirá dentro de un mismo *burst* temporal. Cada *burst* temporal contendrá por tanto información de paridad perteneciente a S matrices de codificación diferentes.
- El retardo de transmisión (D) regula el tiempo, en unidades de *bursts*, entre el instante en que un *burst* de datagramas es recibido de las capas superiores y el momento en el que se transmite dentro de un *burst* temporal. En el caso de D igual a 0, la información de paridad de una matriz de codificación se transmite en *bursts* temporales posteriores a los que transportan los *bursts* de datagramas de dicha matriz. Al aumentar el valor de D , los *bursts* de datagramas comienzan a transmitirse en los mismos *bursts* temporales que la paridad correspondiente, reduciendo la profundidad de entrelazado sin afectar a los valores de B o S .

La duración total de entrelazado proporcionada por MPE-iFEC depende por tanto de los valores de B , S y D . En caso de que D esté configurado a 0, el receptor debe esperar B *bursts* hasta recibir toda la información IP, y S *bursts* hasta recibir toda la información de paridad de una matriz de codificación, por lo que la profundidad de entrelazado así como la latencia es igual a $B+S$ *bursts*. Existe por tanto un compromiso entre la protección ofrecida y el retardo que se genera como consecuencia. Mayores profundidades de entrelazado aumentan la robustez de la información transmitida pero a cambio también incrementan el retardo en recepción y por tanto el tiempo de zapping. Aunque puede emplearse cualquier combinación de B y S , en [3] se recomienda configurar los valores de B y S de acuerdo con la proporción de información IP y de paridad presentes en los *bursts* temporales. De acuerdo con este sistema, si $B+S$ se configura con un valor de 6 y la tasa de codificación es de $2/3$, B y S tendrán valores de 4 y 2 respectivamente.

El mapeo de MPE-iFEC basado en codificación Raptor emplea estos códigos para codificar matrices de codificación de gran tamaño capaces de albergar varios *bursts* de datagramas. Los códigos Raptor ya han sido estandarizados para la transmisión de ficheros en sistemas IPDC y su empleo en redes DVB-SH para la transmisión de servicios de *streaming* en redes DVB-H ha sido estudiado en [5]. El hecho de que mediante códigos Raptor sea posible codificar de manera conjunta una gran cantidad de información permite emplear matrices de codificación de mayor tamaño, lo cual puede proporcionar un mejor rendimiento. Además, la decodificación de este tipo de códigos puede llevarse a cabo mediante implementaciones software, lo cual evita la necesidad de incorporar un hardware dedicado.

IV. ENTORNO DE EVALUACIÓN

En el presente artículo se ha evaluado el rendimiento de SRSE mediante medidas de campo así como mediante simulaciones dinámicas. En todas las evaluaciones se ha considerado un servicio de streaming de 384 kbps de 6 minutos de duración con un promediado temporal de 1 minuto. Se ha asumido que todos los paquetes IP poseen un tamaño constante e igual a 512 bytes y

se ha configurado un número de 512 filas por *burst* tanto en MPE-FEC como en SRSE. Como criterio de calidad se ha utilizado el IP PER (IP Packet Error Ratio), definido en este caso como el porcentaje de paquetes IP que no pudieron ser corregidos por las capas físicas y de enlace y que por tanto, llegan erróneos a las capas superiores. Un valor de IP PER del 1% puede ser considerado como un umbral que se debe alcanzar si se desea proporcionar la suficiente calidad de servicio al usuario.

A. Medidas de Campo

Las medidas de campo se obtuvieron en la red piloto de la Universidad de Turku (Finlandia), la cual consiste en dos transmisores operando en modo SFN (*Single Frequency Network*) a una frecuencia de 600 MHz. El modo de transmisión empleado fue: FFT 8K, intervalo de guarda de 1/4, modulación 16QAM y un ratio de codificación de 1/2, lo cual proporciona un bitate en la capa física igual a 10 Mbps. Las medidas almacenadas consisten en información sincronizada sobre la RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), la posición del terminal, su velocidad y los errores a nivel de paquete MPEG-2 TS. Esto último permite disponer de trazas de error de paquete MPEG-2 TS a partir de las cuales es posible emular las capas superiores para obtener la calidad de servicio experimentada por el usuario. Se registraron 18 medidas de 7 minutos en condiciones de recepción vehiculares. Dichas medidas cubren un amplio rango de errores de transmisión, lo cual posibilita evaluar el funcionamiento de los mecanismos de capa de enlace en una gran cantidad de entornos de recepción.

B. Simulaciones Dinámicas basadas en Modelos de Rendimiento

Las simulaciones dinámicas realizadas en este artículo permiten investigar la ganancia de SRSE sobre MPE-FEC en términos de balance de enlace. Las ganancias de enlace suponen una mayor cobertura que permitiría a una red proporcionar servicio en una mayor área geográfica sin necesidad de nuevos transmisores. El escenario de simulación asume un usuario moviéndose a velocidad constante a lo largo de un mapa lognormal de *shadowing* caracterizado por su desviación estándar y distancia de correlación. El mapa de *shadowing* empleado en las simulaciones determina la diversidad espacio temporal del recorrido, de forma que menores distancias de correlación y velocidades más elevadas proporcionan escenarios de mayor diversidad. Las simulaciones emplean también el modelo de rendimiento TU6 desarrollado en [6] a partir de medidas de laboratorio. El modelo de rendimiento proporciona información acerca de los errores a nivel de paquete MPEG-2 TS a partir de la frecuencia doppler y los valores instantáneos de CNR. A partir de dicha información, la calidad de servicio experimentada por el usuario se obtiene mediante emulación de las capas superiores. Las ganancias de enlace se han calculado tomando como umbral de recepción un valor de IP PER igual al 1%.

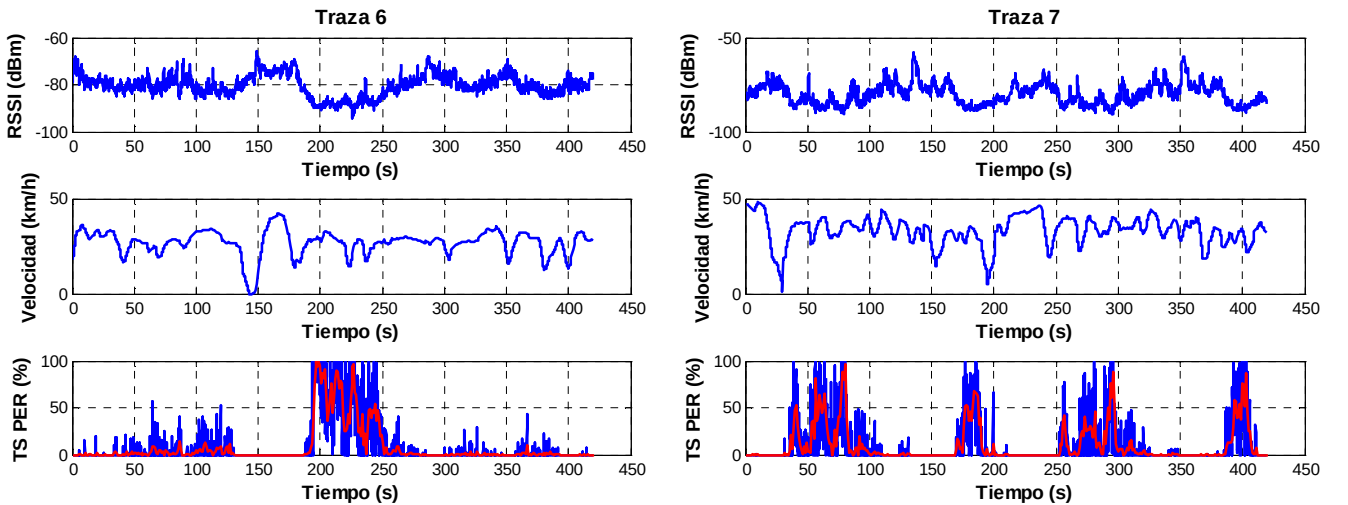


Fig. 3. Ejemplo de las medidas registradas durante la campaña de medida en la red piloto de la Universidad de Turku. Las dos medidas que se muestran tienen un valor de TS PER en torno al 11%.

V. RESULTADOS

A. Medidas de Campo

En la figura 3 se muestran dos de las medidas almacenadas que se han utilizado en este artículo para evaluar el rendimiento del mecanismo SRSE. Se han escogido estas medidas porque a pesar de contar con un porcentaje de paquetes MPEG-2 TS erróneos en torno al 10%, los errores se encuentran distribuidos de manera muy diferente a lo largo del tiempo/recorrido. Como puede apreciarse en la figura, la diversidad espacio temporal es mucho mayor en el recorrido realizado al registrar la traza 7. Mientras que en la traza 6 la gran mayoría de los errores se encuentran agrupados en una misma zona situada en torno a los 200 s, en la traza 7 los errores se encuentran concentrados en cuatro regiones diferentes.

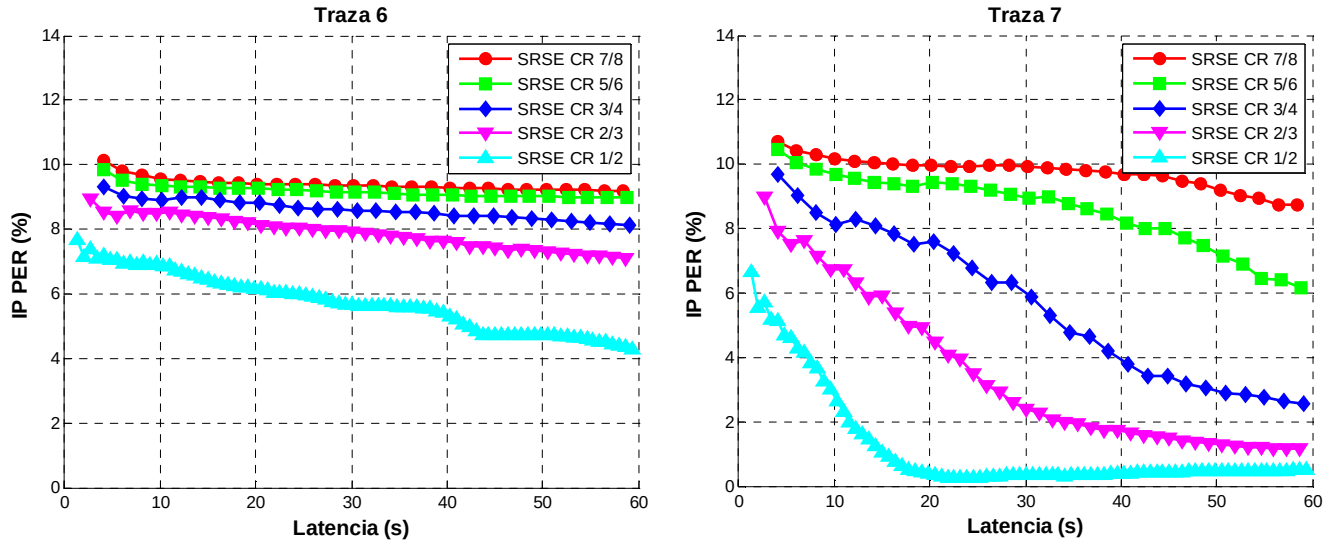


Fig. 4. Porcentaje de paquetes IP erróneos conforme aumenta la latencia para 5 diferentes ratios de codificación en las trazas vehiculares que se muestran en la figura 3. Se ha evaluado un servicio de *streaming* de 384 kbps de 6 minutos de duración.

En la figura 4 se muestran los valores de IP PER que se obtienen mediante SRSE en los dos recorridos conforme aumenta la latencia para 5 ratios de codificación diferentes. Aunque en ambos casos los valores de IP PER disminuyen conforme aumenta la latencia, el mecanismo SRSE se comporta de manera diferente. Mientras que en la traza 7 la protección ofrecida por SRSE permite obtener grandes ganancias con valores reducidos de latencia, en la traza 6 es preciso recurrir a valores mas elevados si se desea reducir el número de errores de manera considerable. El hecho de que la mayoría de los errores se encuentren agrupados en un mismo periodo de tiempo como es el caso de la traza 6, requiere mayores duraciones de entrelazado, y por tanto, un mayor número de *bursts* codificados de manera conjunta. Así mismo, el comportamiento de SRSE tampoco es el mismo para todos los ratios de codificación evaluados. Cuanto mayor es la cantidad de información de paridad transmitida en cada *burst*, es preciso codificar de manera conjunta una menor cantidad de *bursts*, y por tanto, la latencia que se introduce en recepción disminuye junto con el tiempo de zapping. Existe por tanto un claro balance entre latencia y ratio de codificación que los operadores deben establecer en transmisión con el objetivo de proporcionar la suficiente calidad de servicio, al mismo tiempo que no se incrementa el tiempo de zapping por encima de valores tolerables por el usuario.

B. Simulaciones Dinámicas basadas en Modelos de Rendimiento

En la realización de las simulaciones dinámicas se han definido dos diferentes escenarios en los que se ha evaluado el rendimiento del mecanismo SRSE, un escenario de baja diversidad espacio temporal y un escenario de alta diversidad. El escenario de baja diversidad está caracterizado por una distancia de correlación igual a 100 m y una frecuencia doppler de 10 Hz, la cual a la frecuencia de trabajo de 600 MHz, se corresponde con una velocidad de 18 km/h. Por el contrario, el escenario de alta diversidad está caracterizado por una distancia de correlación de 20 m y una frecuencia doppler de 40 Hz, que a la frecuencia de trabajo se corresponde con una velocidad de 72 km/h. En ambos escenarios la desviación estándar del *shadowing* está configurada a 5.5 dB, valor que normalmente se utiliza en planificación de redes DVB-H.

Como puede observarse en la figura 5, el mecanismo SRSE consigue reducir el número de errores en la información recibida con respecto a MPE-FEC en ambos escenarios, especialmente en el rango de CNR comprendido entre 10 y 20 dB. Sin embargo, el comportamiento de SRSE con respecto a MPE-FEC varía de manera importante de uno a otro escenario, puesto que la ganancia que se obtiene gracias a SRSE es mucho mayor en el caso del escenario de alta diversidad. Cabe recordar que en el escenario de alta diversidad el usuario se desplaza a mayores velocidades, lo cual se traduce en una mayor frecuencia doppler y por tanto, en un mayor número de errores recibidos. MPE-FEC no es capaz de aprovechar la mayor diversidad espacio temporal que se deriva de velocidades más elevadas y por ello el rendimiento empeora de manera considerable con respecto a escenario de baja diversidad. Dicha degradación está situada en torno a un 15% de IP PER para 15 dB y en torno al 7% para 20 dB. Por el contrario, el mecanismo SRSE aprovecha la diversidad espacio temporal que se origina a consecuencia de mayores velocidades y que distribuye los errores de manera más uniforme a lo largo del tiempo. Por este motivo la degradación experimentada por SRSE en el escenario de alta diversidad es mucho más reducida que en el caso de MPE-FEC. Esta característica depende del número de *bursts* codificados de manera conjunta y por tanto, de la latencia introducida en el sistema. Así, mientras que las latencia de 5 segundos sufre una degradación de en torno a 3% para 15 dB, las latencias de 10, 30 y 60 segundos no experimentan ningún tipo de degradación para este mismo valor de CNR. Ninguna de las latencias experimenta degradación alguna en el caso de 20 dB, puesto que el ratio de codificación de 1/2 es suficiente para corregir los errores recibidos incluso para la latencia de 5 segundos.

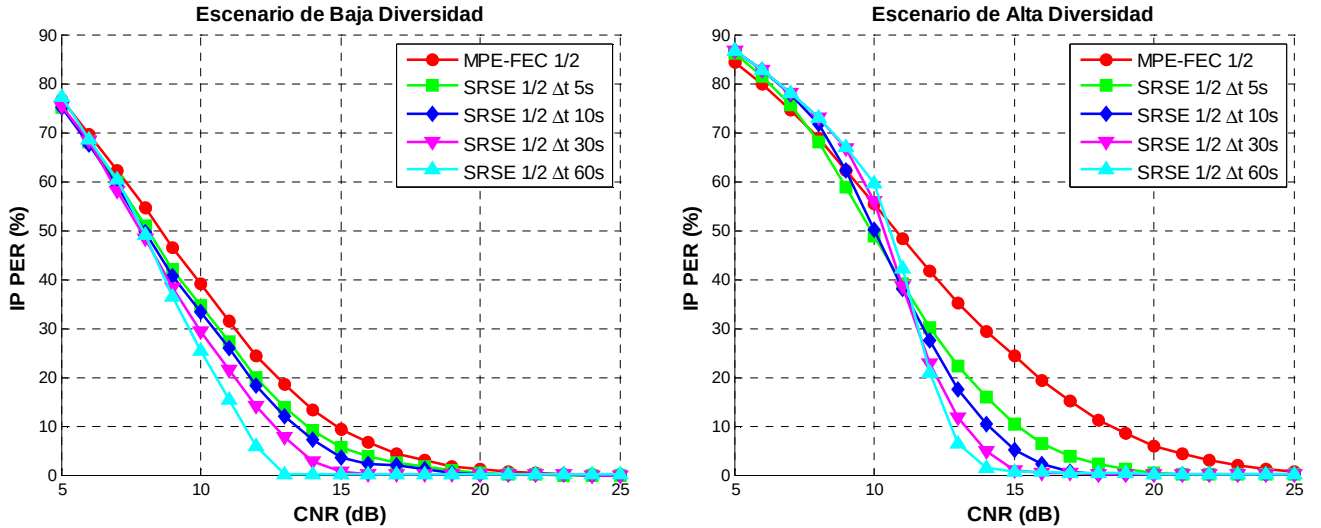


Fig. 5. Porcentaje de paquetes IP erróneos obtenidos por MPE-FEC 1/2 y SRSE 1/2 en un rango de CNR entre 5 y 25 dB. Se ha evaluado un servicio de streaming de 384 kbps de 6 minutos de duración.

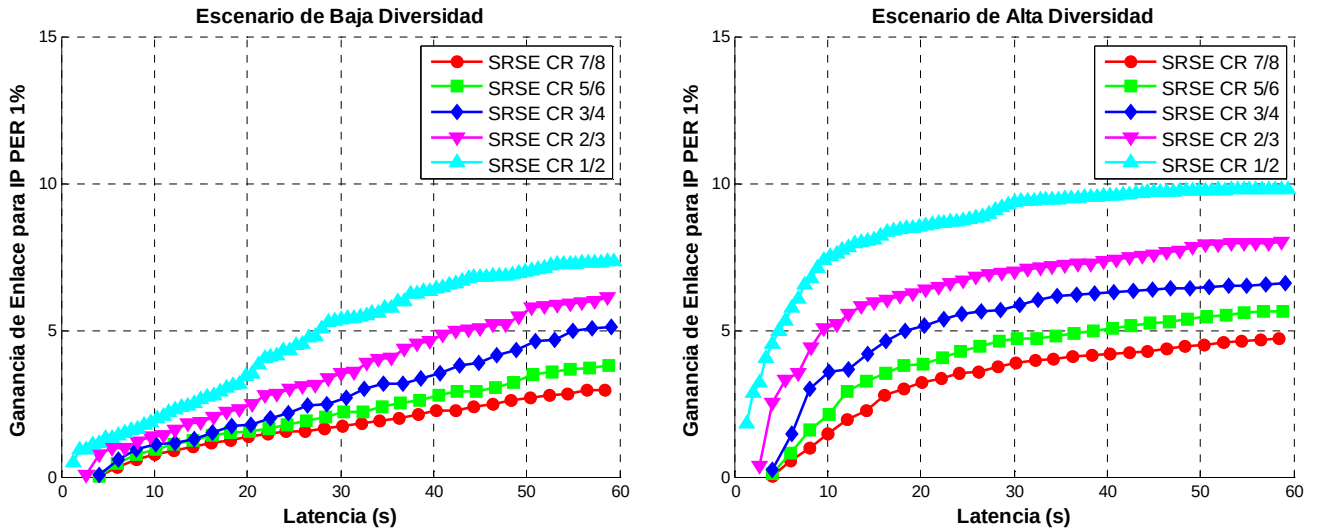


Fig. 6. Ganancia de enlace para un valor de IP PER del 1% conforme se incrementa la latencia. Se ha evaluado un servicio de streaming de 384 kbps de 6 minutos de duración.

Por otro lado se observa un extraño comportamiento del mecanismo SRSE en el escenario de alta diversidad para los valores de CNR entre 5 y 10 dB. En este margen de CNR, la latencia introducida por SRSE no consigue reducir el número de errores de manera significativa de forma que las latencias más elevadas obtienen peores resultados. De hecho, para los valores más reducidos de CNR, el mecanismo SRSE aumenta el número de errores recibidos con respecto a MPE-FEC. La explicación de este comportamiento radica en que la codificación *multi-burst* tan sólo es efectiva en el caso en que la tasa de codificación sea lo suficientemente reducida para corregir los errores presentes en la información recibida. En caso contrario, ninguna de las matrices de codificación podrá ser reparada por el algoritmo Reed Solomon, ya que los errores se distribuyen de manera uniforme afectando a todas las matrices de codificación.

La ganancia de enlace proporcionada por SRSE puede apreciarse de manera más clara en la figura 6. De nuevo se aprecia cómo el mecanismo SRSE consigue obtener un mejor rendimiento que MPE-FEC en ambos escenarios, aunque el escenario de alta diversidad sigue siendo el que proporciona las mayores ganancias. Mientras que en el escenario de alta diversidad es posible obtener ganancias de orden de 5 dB con latencias de tan sólo 5 segundos, en el escenario de baja diversidad es preciso recurrir a latencias por encima de 30 segundos, lo que repercute de manera muy negativa en el tiempo de zapping. De igual forma se aprecia como, aunque el comportamiento de SRSE conforme se incrementa la latencia para los diferentes ratios de codificación es similar, los ratios de codificación más reducidos son los que más se benefician de la latencia introducida por SRSE.

Así mismo se aprecia un efecto de saturación en el escenario de alta diversidad para las tasas de codificación más reducidas. Mientras que la ganancia que se obtiene conforme se incrementa la latencia crece a gran velocidad por debajo de los 10 segundos, ésta parece estabilizarse a partir de los 30 segundos. Esto es debido al hecho de que un valor de 30 segundos parece

ser suficiente para romper la correlación espacio temporal del canal y distribuir los errores de manera uniforme entre las matrices de codificación en el caso del escenario de alta diversidad. En esta situación, es preciso recurrir a ratios de codificación más reducidos si se desea incrementar la ganancia del sistema. Dicha saturación no se aprecia en el escenario de baja diversidad puesto que es preciso recurrir a mayores latencias para conseguir el mismo efecto de entrelazado y por tanto, para dar con la misma situación de saturación presente en el escenario de alta diversidad.

VI. CONCLUSIONES

Aunque MPE-iFEC ha sido incorporado en DVB-SH para proteger a la información en la recepción vía satélite, también permite reparar los errores ocasionados por *shadowing* en redes terrestres como DVB-H. Sin embargo, el efecto entrelazador que este mecanismo lleva a cabo para mejorar la protección de la información también incrementa el retardo en recepción. Aunque este retardo puede no tener ninguna repercusión en servicios de descarga de ficheros, puede llegar a degradar seriamente la calidad de usuario en servicios de *streaming*, ya que posee una influencia directa en el tiempo de *zapping*. Los dos mapeos de MPE-iFEC definidos hasta la fecha, Raptor y Reed Solomon de ventana deslizante, resultan adecuados para su uso en redes DVB-H. En este artículo se han presentado resultados que muestran como la codificación Reed Solomon de ventana deslizante reduce la cantidad de errores en la información recibida conforme aumenta la latencia que se introduce en la red. También se han expuesto las ganancias de enlace que la codificación Reed Solomon de ventana deslizante puede alcanzar con respecto a MPE-FEC y que permiten extender la cobertura de las redes actuales sin necesidad de instalar nuevos transmisores. Estas ganancias suponen un importante ahorro para los operadores que deseen aumentar la obertura ofrecida actualmente por las redes DVB-H.

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] ETSI, EN 302 583, "*Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Satellite Transmission to Handheld devices (SH) below 3G*," Febrero 2007.
- [2] ETSI v0, "*Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-SH Implementation Guidelines*," Mayo 2007.
- [3] ETSI, EN 302 304, "*Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)*," Noviembre 2004.
- [4] N. Chuberre, F. Bodevin, y O. Courseille, "Digital Video Broadcast to Handheld via Hybrid Satellite/Terrestrial Network," Alcatel Whitepaper, 2006.
- [5] D. Gómez-Barquero y J. Poikonen, "Filecasting for Streaming Content Delivery in IP Datacast over DVB-H Systems," *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*, Las Vegas, USA, 2008.
- [6] J. Poikonen y J. Paavola, "Error Models for the Transport Stream Packet Channel in the DVB-H Link Layer," *IEEE International Conference on Communications*, Estambul, Turquía, 2006.