

# Estimación de canal para transmisión multiantena y recepción móvil en DVB-T2

Lorena Martínez, Iker Sobrón, Pello Ochandiano, Mikel Mendicute, Jon Altuna  
{lmartinez,isobron,pochandiano,mmendikute,jaltuna}@eps.mondragon.edu  
Dpto. de Electrónica e Informática. Mondragon Unibertsitatea  
Loramendi, 4. 20500 Arrasate-Mondragon

**Abstract**—In this paper we analyze the performance of adaptive channel estimation techniques based on Wiener filtering for the new second generation digital terrestrial television standard (DVB-T2). Simulations using Multiple Input Multiple Output (MIMO) systems combined with orthogonal division multiplexing (OFDM), and different number of FEC blocks have been performed, to assess the effect of extending the time interleaving depth. This has been applied both to fixed and mobile environments with a doppler frequency of 100 Hz and assuming both perfect channel knowledge and performing channel estimation techniques. In mobile environments, the results show a degradation of only 1dB between the ideal channel estimation and the adaptive estimation using Wiener filtering in all systems that have been analyzed.

## I. INTRODUCCIÓN

La TDT (televisión digital terrestre), basada en el estándar DVB-T [1], ha sustituido a la televisión analógica tradicional. Gracias a la flexibilidad y fiabilidad que aportan la modulación multiportadora OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) y la codificación digital, la señal puede ser recibida y recuperada sin error, permitiendo al usuario disfrutar de vídeo y audio de calidad casi perfecta. Sin embargo la comunidad científica ya está trabajando en la definición de nuevos estándares que vienen dados por la necesidad de nuevos servicios tales como la alta definición, o por sus siglas en inglés HDTV (high definition television), y prueba de ello es que en mayo de 2008 se publicó el estándar de segunda generación DVB-T2 [2]. El primer país en implementar la TDT bajo este nuevo estándar ha sido Inglaterra, donde la BBC de Londres realizó las primeras transmisiones a finales de 2009 [3]. DVB-T2 está diseñado para aportar una mejora de capacidad del 30%, una mayor eficiencia en el uso del espectro, además de ser más robusto frente a interferencias y tener mayor flexibilidad. Esta mejora de capacidad viene dada fundamentalmente por la alta capacidad de corrección de errores, gracias a los códigos LDPC (*low-density parity-check*), y la alta flexibilidad de los parámetros de modulación, ya que incorpora constelaciones de orden superior, 256-QAM, nuevos tamaños de FFT y la posibilidad de adaptar el intervalo de guarda.

Otro de los cambios importantes es la introducción de 8 patrones diferentes de portadoras piloto dispersas que dan lugar a obtener una mayor eficiencia. Dichos patrones ofrecen además diferentes posibilidades a la hora de estimar el canal en función del entorno en el que se apliquen (fijo, móvil, urbano,

rural, etc.).

Este artículo analiza el comportamiento del sistema DVB-T2 en entornos fijos y móviles aplicando diferentes técnicas de estimación de canal y una frecuencia doppler de 100 Hz. Las simulaciones se han realizado para diferente número de bloques FEC para evaluar el efecto del entrelazado temporal.

El trabajo se divide en cuatro apartados. El apartado siguiente describe el modelo de transmisión MIMO que se ha utilizado. El apartado III detalla la estimación adaptativa de canal mediante filtrado de Wiener mientras que el apartado IV muestra los resultados obtenidos. Para finalizar el apartado V presenta las principales conclusiones derivadas de este trabajo.

## II. MODELO DE TRANSMISIÓN MIMO EN DVB-T2

El modelo considerado se centra en la capa física del estándar de DVB-T2, dejando a un lado el procesamiento de entrada y la señalización. La entrada al sistema consiste en bits generados aleatoriamente mientras que la salida es una señal de radiofrecuencia. El diagrama de bloques del sistema se puede ver en la siguiente figura, realizándose el proceso inverso en el receptor.

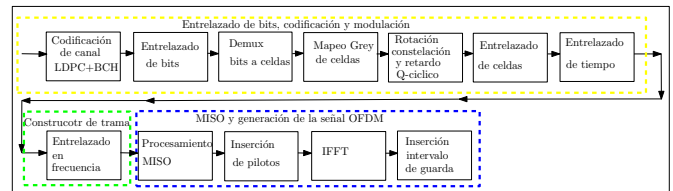


Fig. 1. Sistema DVBT2

Como se puede ver en la figura 1, una vez realizada la codificación FEC, se llevan a cabo una serie de entrelazados (de bit, de tiempo y de frecuencia) que hacen que la transmisión sea más robusta frente a errores de ráfaga. En comparación con su predecesor, DVB-T2 añade otras técnicas opcionales como la reducción del PAPR (*peak to average power ratio*), la rotación de la constelación y la posibilidad de trabajar con varios PLP (*physical layer pipes*), siendo cada uno de estos PLP diferentes flujos que se transmiten en paralelo y estando cada uno de ellos codificado y modulado de diferente manera para satisfacer las necesidades de los diferentes servicios requeridos. Con el fin de simplificar las simulaciones, se ha considerado un único PLP y se han omitido las citadas técnicas opcionales.

El espectro radioeléctrico es un recurso escaso y caro siendo una de las formas de aumentar la eficiencia espectral utilizar múltiples antenas en transmisión y en recepción mediante las técnicas denominadas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). De esta forma entra en juego una nueva dimensión, el espacio, ofreciendo ganancias de diversidad y multiplexación sin necesidad de aumentar la potencia transmitida ni el ancho de banda.

DVB-T2 también especifica un método de diversidad en el transmisor, conocida como la codificación de Alamouti [4], la cual destaca por su sencillez y efectividad. Es importante destacar que es opcional, permitiendo a las redes adaptarse a diferentes escenarios. Como DVB-T2 está pensado para entornos fijos y móviles, las necesidades en recepción de los distintos escenarios pueden llegar a ser muy diversas, necesitándose medidas adicionales en entornos más problemáticos como pueden ser los móviles o localizaciones donde la señal llegue con dificultad. Por ello, aunque el estándar sólo especifique el modo de transmisión MISO (*Multiple Input Single Output*), también se puede añadir diversidad en recepción. Sin embargo, el introducir una antena más en recepción no sólo produce ventajas, ya que hay que replicar la cadena e introducir una nueva antena. Aunque sea muy costoso, puede resultar beneficiosa para determinados entornos donde sean necesarias estas condiciones. Es por ello que se han simulado los sistemas MISO y MIMO, tanto para canales fijos como móviles en DVB-T2.

### III. ESTIMACIÓN DE CANAL

Hay dos aspectos principales en el análisis de estimadores de canal para los sistemas inalámbricos OFDM. El primero es la colocación de las portadoras piloto, mientras que el segundo es el diseño de estimadores eficientes. Ambas están relacionadas con el canal que se esté utilizando. Además puede que el canal no sea invariante en el intervalo en el que se aplica la estimación, por lo que ésta no sería efectiva y habría que aplicar técnicas bidimensionales (adaptativas) de estimación.

#### A. Estimación e interpolación de canal en sistemas fijos

Tomando como base el simulador de DVB-T2, se han implementado diferentes técnicas de estimación e interpolación de canal en dicho simulador. Las técnicas consideradas han sido las siguientes:

1) *Estimación por mínimos cuadrados (LS) e interpolación lineal*: Con la estimación por mínimos cuadrados se obtiene como resultado la estimación del canal en las portadoras piloto, mostrado en la ecuación siguiente.

$$\hat{H}_p(k) = \frac{Y_p(k)}{X_p(k)}, \quad (1)$$

donde  $k = 0, 1, \dots, N_p - 1$

El receptor conoce la posición de las portadoras piloto y su valor, por lo que el canal se puede calcular fácilmente. Su principal ventaja es la baja complejidad que supone su cálculo, y que precisa únicamente de  $p$  productos complejos.

Tras la estimación de la función de transferencia del canal en las subportadoras piloto es posible obtener una aproximación del resto de subportadoras aplicando técnicas de interpolación [5] sobre los tonos piloto adyacentes a los datos. La interpolación lineal es el método más sencillo que se puede aplicar, la cual viene dada por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} H_e(k) &= H_e(mL + l) \\ &= (H_p(m+1) - H_p(m)) \frac{l}{L} + H_p(m), \end{aligned} \quad (2)$$

donde  $0 \leq l < L$ ,  $H_e$  es el canal estimado y  $H_p$  es el canal estimado en las portadoras piloto.

2) *Estimación mediante filtrado de Wiener*: Dado el criterio de diseño que se presenta en [6], los coeficientes del filtro se calculan mediante la correlación cruzada de cada una de las portadoras de datos con todas las portadoras pilotos  $r_{yx}$  y mediante la autocorrelación de las portadoras pilotos entre sí  $r_{yy}$ . De esta manera se obtienen los pesos que dependen de los estadísticos del canal y de la posición de los pilotos. Una vez calculadas ambas autocorrelaciones, los coeficientes del filtro  $W_p$  se obtienen de la siguiente manera:

$$w_p = r_{yy}^{-1} \cdot r_{yx}. \quad (3)$$

De esta forma, los coeficientes del filtro se utilizan para determinar la respuesta del canal en las subportadoras de datos:

$$\hat{H}(k) = \sum w_p \cdot \hat{H}_p(k). \quad (4)$$

En este artículo se va a llevar a cabo la interpolación mediante filtrado de Wiener en entornos de movilidad ya que es el que más se aproxima a la estimación de canal ideal.

#### B. Estimación e interpolación de canal en sistemas SISO con movilidad

Se puede conseguir una estimación de canal más precisa si el estimador de canal opera tanto en tiempo como en frecuencia, por lo tanto obteniendo una estimación de dos dimensiones. Normalmente en OFDM se adoptan estimadores de canal de una dimensión para cumplir el compromiso entre baja complejidad y precisión, pero el estimador óptimo en términos de error cuadrático medio está basado en una interpolación de un filtro de Wiener de dos dimensiones. Dicha estructura de un estimador de dos dimensiones es demasiado compleja para la implementación práctica, pero es posible reemplazar el filtro de dos dimensiones por dos filtros de una dimensión en cascada (uno en tiempo (símbolos OFDM) y otro en frecuencia (portadoras)), de tal forma que se pueda mitigar de una manera más eficaz el efecto que tiene la dispersión Doppler en la estimación de canal.

#### C. Estimación e interpolación de canal en sistemas MISO y MIMO con movilidad

En el caso de tratarse de transmisiones multiantena, la estimación se realiza cada dos símbolos OFDM, ya que se necesitan dos símbolos para estimar el canal, debido a que las portadoras piloto están así definidas en el estándar. En

el caso de adoptar el patrón PP1, se realiza una estimación adaptativa de tal forma que se van cogiendo ventanas cada cuatro símbolos OFDM como se puede observar en la figura 2. De esta forma se van actualizando los valores de cada una de las portadoras y por lo tanto se tienen más en cuenta los cambios del canal. En las siguiente figura se pueden observar los símbolos OFDM transmitidos y recibidos para MISO cuando se transmiten 3FEC u 8 símbolos OFDM.

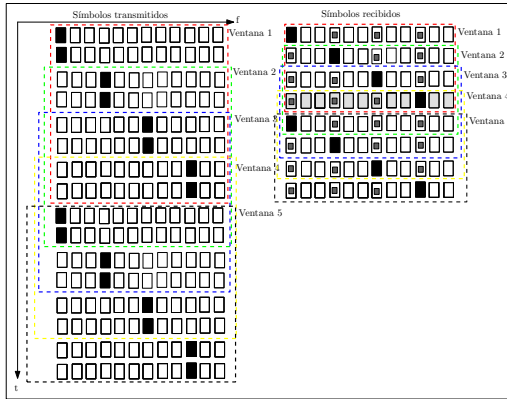


Fig. 2. Símbolos transmitidos y recibidos

#### IV. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos mediante simulación del sistema DVB-T2 incluyendo los algoritmos propuestos para estimación de canal para transmisiones multiantena y recepción móvil. El canal utilizado ha sido el TU-6 (*Typical Urban*) de 6 taps, ya que es uno de los canales que se utilizan normalmente para evaluar el rendimiento de los estándares de televisión digital terrestre. Los parámetros utilizados han sido 16-QAM, tasa de código 2/3, longitud de la palabra de código 16200, entrelazado temporal de 48FEC y 18 FEC, modo 2K e intervalo de guarda 1/4. Los resultados han sido obtenidos utilizando el simulador DVB-T2 de la Universidad de Mondragón, realizado en Matlab y C. Se ha realizado una decodificación iterativa realista, de tal modo que el detector *genie-aided* definido en la guía de implementación de DVB-T2 [7] no se ha utilizado y por tanto, los resultados que se presentan son más realistas que los de la guía de implementación para la estimación de canal ideal. Además las simulaciones se han implementado sin utilizar la rotación de constelación aunque estos algoritmos se pueden aplicar de igual modo para el caso de constelaciones rotadas. En las siguientes figuras se presentan curvas de BER (*Bit Error Rate*) frente a la relación señal a ruido SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) para:

##### A. Recepción fija

En el caso de la recepción fija los escenarios simulados han sido los siguientes:

- Canal perfectamente conocido.
- Estimación de canal mediante filtrado de Wiener.
- Estimación de canal con interpolación lineal.

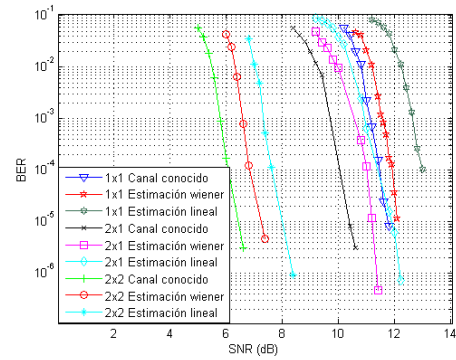


Fig. 3. Rendimiento de los diferentes esquemas de estimación e interpolación de canal para SISO, MISO y MIMO con canal TU-6 fijo, 16QAM, CR=2/3, 16K LDPC, 2K FFT, 48FEC, IG=1/4, PP1

En las figura 3 se puede observar que para cada una de las configuraciones, ya sea SISO, MISO o MIMO, la estimación mediante filtrado de Wiener es la que mejor rendimiento obtiene (1 dB de diferencia) si la comparamos con la estimación mediante interpolación lineal. También se puede observar que la utilización de Alamouti mediante MIMO, ofrece una ganancia de SNR de 5dB respecto al caso SISO (Single Input Single Output).

##### B. Recepción móvil

En el caso de la recepción móvil los escenarios simulados han sido los siguientes:

- Canal fijo perfectamente conocido.
- Canal perfectamente conocido con 100 Hz de doppler.
- Estimación de canal adaptativa con 100 Hz de doppler.

Cada uno de estos tres escenarios se ha simulado para SISO, MISO y MIMO.

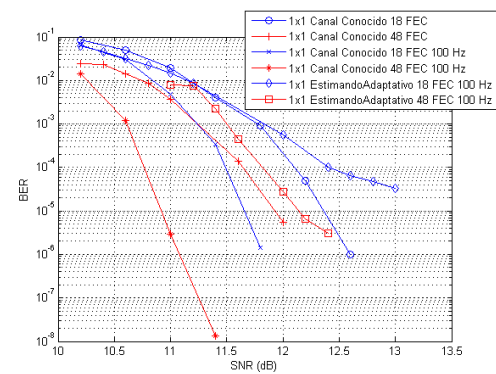


Fig. 4. Rendimiento del esquema SISO para diferentes escenarios con canal TU-6, 16QAM, CR=2/3, 16K LDPC, 2K FFT, IG=1/4, PP2 para 18 y 48 FEC's y  $f_d=100$  Hz

Además cada uno de los casos se ha simulado con diferentes FEC (18 y 48 FEC) de tal forma que se pueda evaluar el efecto que tiene la profundidad de entrelazado temporal en la simulaciones. La frecuencia de doppler que se ha tomado como referencia para entornos de movilidad ha sido de 100

Hz, la cual equivale a una velocidad de 125 Km/h tomando una frecuencia portadora de 862 MHz.

En las figuras 4, 5 y 6 se muestran los resultados descritos previamente para los casos SISO, MISO y MIMO respectivamente.

En el caso de una antena en transmisión y otra en recepción y una frecuencia de doppler de 100 Hz se observa una degradación en el SNR de 1 dB aproximadamente entre el canal perfectamente conocido con 100 Hz de doppler y la estimación adaptativa mediante filtrado de Wiener como se puede ver en la figura 4.

Cuando se añade una antena más en transmisión (MISO) y una antena más en recepción (MIMO) se obtienen resultados similares que para el caso SISO como se observa en las figuras 5 y 6.

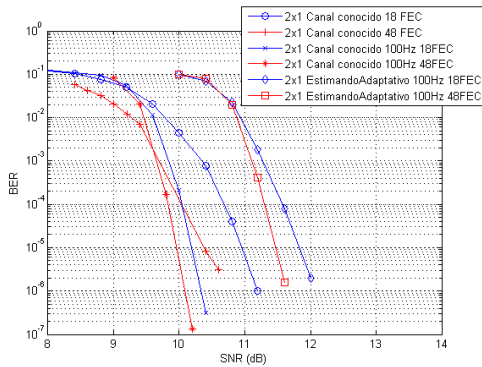


Fig. 5. Rendimiento del esquema MISO para diferentes escenarios con canal TU-6, 16QAM, CR=2/3, 16K LDPC, 2K FFT, IG=1/4, PPI para 18 y 48 FEC's y  $f_d=100$  Hz

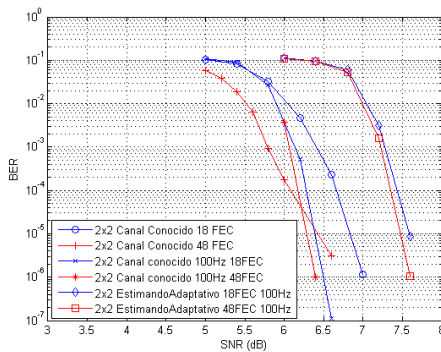


Fig. 6. Rendimiento del esquema MIMO para diferentes escenarios con canal TU-6, 16QAM, CR=2/3, 16K LDPC, 2K FFT, IG=1/4, PPI para 18 y 48 FEC's y  $f_d=100$  Hz

En los tres casos la frecuencia de doppler añade diversidad. Además al utilizar un mayor número de bloques FEC se obtiene también una mejora del SNR.

### C. Análisis del efecto del entrelazado temporal

Para comprobar el efecto que tiene el uso del entrelazado temporal se ha realizado una simulación en MIMO y MISO

con 3, 9, 18 y 48 FEC's, observando en la figura 7 una mejoría de 0.5 dB en MIMO y de 2.5 dB en MISO entre el primer y el último caso.

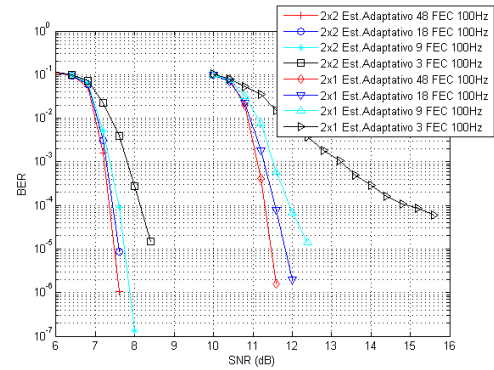


Fig. 7. Rendimiento del entrelazado temporal para MISO y MIMO con canal TU-6, 16QAM, CR=2/3, 16K LDPC, 2K FFT, IG=1/4, PPI para 3, 9, 18 y 48 FEC's

## V. CONCLUSIONES

En este artículo se muestran los resultados obtenidos mediante simulación en Matlab del sistema DVB-T2 para SISO, MISO y MIMO. Además se realiza una estimación mediante filtrado de Wiener para entornos de movilidad viendo que sólo se pierde 1 dB en comparación con el canal perfectamente conocido. Por otro lado se ha evaluado el efecto de la estimación de canal frente a la profundidad del entrelazado temporal comparando diferente número de bloques FEC (18 y 48 FEC), observando una mejora de 0.3 dB en el segundo caso.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio por la financiación concedida al proyecto FURIA y FURIA2, como también al consorcio FURIA por su ayuda en este estudio.

## REFERENCES

- [1] ETSI, "Digital video broadcasting (DVB); framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T) ETS EN 300 744," March 1997.
- [2] DVB, "Framing structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)," Document A122, June 2008. [Online]. Available: <http://www.dvb.org/technology/dvbt2/>
- [3] "Dvb-scene: T2 time; edition no. 31," Tech. Rep., September 2009.
- [4] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, pp. 1451 – 8, 1998.
- [5] L. Hanzo, M. Münster, B. Choi, and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting*. IEEE Press, 2003.
- [6] S. Hoeher, Peter Kaiser and P. Robertson, "Two-dimensional pilot-symbol-aided channel estimation by wiener filtering," in *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, 1997.
- [7] DVB, "Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)," Document A133, February 2009.