

Deteción iterativa en receptores DVB-T2

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

Abstract—This paper analyzes the iterative maximum a posteriori (MAP) detection strategies for second generation terrestrial digital broadcasting (DVB-T2) transmissions both over mobile and fixed signal reception. The adoption of iterative approaches allows the derivation of advanced detectors which permit a noticeable performance gain. We compare the performance of the iterative MAP detection and discuss the realistic scenarios in which may be worthwhile its implementation. Concerning to mobile reception, DVB-T2 simulation results are provided for several time interleaving depths with the aim of describing the capacity of the new standard in time-varying channels. Furthermore, an inter-carrier interference (ICI) suppressing scheme is proposed in order to improve the performance of the proposed iterative schemes over fast-fading channels.

I. INTRODUCCIÓN

El consorcio DVB ha desarrollado recientemente una nueva especificación de la televisión digital terrestre, denominado DVB-T2 [1]. El avance en el procesamiento digital de la señal y la evolución experimentada por la electrónica en la última década, junto a la demanda de contenidos televisivos con requisitos de mayor ancho de banda, ha desencadenado la necesidad de definir el estándar de segunda generación para la televisión digital terrestre. DVB-T2 aporta una ganancia significativa en términos de capacidad de transmisión y robustez frente al ruido en comparación con su predecesor (DVB-T).

La principal innovación que introduce la nueva generación de televisión digital en la capa física reside en la codificación de canal FEC (*forward error correction*). Se han introducido los códigos LDPC (*low density parity-check codes*) y BCH, reemplazando el código convolucional y el Reed Solomon. La mejora que presenta DVB-T2 en cuanto a robustez frente al ruido se debe en gran medida a los citados códigos. En cuanto a la modulación, DVB-T2 emplea OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) al igual que DVB-T. Además de otras etapas de procesamiento digital de interés, el nuevo estándar contempla tres entrelazadores en cascada (de bit, de tiempo y de frecuencia) con el objetivo de dispersar la información en el tiempo y evitar errores de ráfaga. Por lo tanto, DVB-T2 es un esquema de comunicaciones BICM (*bit-interleaved coded modulation*)-OFDM.

La detección iterativa sobre un esquema BICM (BICM-ID) fue propuesto por primera vez por [2][3] empleando codificación convolucional. Se ha demostrado que BICM presenta mejor rendimiento que los sistemas turbo-TCM (*trellis coded modulation*) y SICM (*symbol interleaved coded modulation*) para canales selectivos en frecuencia [4]. En [5] se analiza el rendimiento de un sistema BILCM-ID (*bit interleaved LDPC-*

coded modulation) para constelaciones empleadas por DVB-S2, donde se demuestra que la codificación Gray aumenta la capacidad del sistema. Por su parte, la guía de implementación para DVB-T2 desarrollado por DVB [6] propone la detección iterativa como opcional.

DVB-T2 ha sido diseñado para aportar una ganancia del 30% en comparación con su predecesor. Para ello, incorpora órdenes de modulación de hasta 256-QAM y patrones de portadoras piloto de menor densidad. Se han incorporado etapas de procesamiento opcionales como: reducción del *peak-to-average power ratio* (PAPR), constelaciones rotadas (RQD) o la posibilidad de introducir diversidad espacial en transmisión por medio de la codificación espacio-temporal *Alamouti*. Como consecuencia de la alta variedad de parámetros de configuración (intervalos de guarda, longitudes de FFT), DVB-T2 es un estándar muy flexible que se adapta a los requisitos de diversos modos de transmisión.

En este artículo se analiza el rendimiento del sistema de comunicaciones BILCM-ID para el caso de DVB-T2, tanto en receptores fijos como móviles. Para el caso de canales fuertemente variantes en el tiempo se propone la implementación de la detección iterativa junto a un detector corrector de ICI.

II. SISTEMAS BICM-OFDM

La detección iterativa toma como información *a priori* la información extrínseca generada por el decodificador, de forma que permite afinar la fiabilidad de las probabilidades de bit. La capacidad de transmisión de un sistema BICM depende de varios parámetros. Consideramos un canal discreto complejo sin memoria afectado por ruido blanco gaussiano de media cero y varianza compleja $N_0/2$, modelado como $r = x + n$, donde r , x y n son la señal recibida, la señal transmitida y el ruido respectivamente. Para una señal x mapeada a una constelación compleja χ de orden M , la teoría de la información describe la capacidad de canal de un sistema *coded modulation* (CM) como [7]

$$C = m - E_{x,r} \left[\log_2 \frac{\sum_{\zeta \in \chi} p(r|\zeta)}{p(r|x)} \right], \quad (1)$$

donde $m = \log_2(|\chi|)$.

No obstante, en el caso de un sistema BICM, la capacidad de canal es siempre menor por el hecho de que cada nivel de bit es demapeado independientemente [7]:

$$\hat{C} = m - \sum_{i=1}^m E_{b,r} \left[\log_2 \frac{\sum_{\zeta \in \chi} p(r|\zeta)}{\sum_{\zeta \in \chi_i^{(b)}} p(r|\zeta)} \right], \quad (2)$$

donde $\chi_i^{(b)}$ denota el subconjunto de χ donde el i -ésimo bit es igual a b ($b \in \{0, 1\}$). Se demuestra que $\hat{C} \leq C$, y que por lo tanto los sistemas BICM son subóptimos. Sin embargo, la realimentación de la información decodificada al proceso de detección compensa la diferencia de capacidad entre ambos sistemas. En [5] se demuestra de forma experimental que esta diferencia decrece conforme incrementamos la tasa de código, y aumenta para mayores órdenes de modulación.

A. Canal variante en el tiempo

En este artículo se analiza el rendimiento de la detección iterativa en canales variantes en el tiempo. DVB-T2 ha sido diseñado para receptores fijos, aunque el código LDPC y el entrelazado temporal permiten un buen rendimiento en escenarios móviles. Consideramos un sistema *single input single output* (SISO) con sincronización perfecta y conocimiento exacto del canal. La señal recibida en tiempo discreto $r(n)$ a la entrada de la FFT es

$$r(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h(n, l) x(n-l) + z(n), \quad (3)$$

donde $x(n)$ es la señal transmitida, $h(n, l)$ es la respuesta impulsional del canal del l -ésimo retardo en el instante n , y $z(n)$ es ruido blanco gaussiano (AWGN). Por lo tanto, el sistema se puede representar en el dominio frecuencial como

$$R = \mathbf{H}X + Z, \quad (4)$$

donde los términos de la diagonal $g(k) = H_{kk}$ representan la ganancia para el símbolo deseado x_k y el resto de los componentes de la matriz caracterizan la interferencia interportadora (ICI). Z_k es el ruido en la subportadora k , y H_{km} , de dimensiones $(N \times N)$, denota la respuesta frecuencial del canal variante en el tiempo. Se demuestra que la mayor parte de la energía de la ICI está concentrada en las inmediaciones de la diagonal (Fig. 1). En consecuencia, se define una profundidad de diagonal máxima (q) y se desprecian el resto de los valores de la matriz. Para la mayoría de las aplicaciones se considera una única diagonal adyacente a la hora de suprimir la ICI ($q = 1$).

III. DETECCIÓN ITERATIVA

La Fig. 2 muestra el diagrama de bloques simplificado de un sistema BICM-ID. La decodificación de los códigos LDPC es un proceso iterativo (habitualmente implementado por medio del algoritmo suma-producto o SPA) que al cabo de un número finito de iteraciones (iteraciones internas) genera información *soft* en forma de *log-likelihood ratio* (LLR), la cual es realimentada al detector MAP como información *a priori* (L_A). El intercambio de información *soft* entre el decodificador y el detector MAP se extiende a un número finito de iteraciones (iteraciones externas) que dan lugar a la mejora del rendimiento del receptor. En las simulaciones presentadas en este trabajo se ha empleado el algoritmo *min-sum* para decodificar el código LDPC, el cual consiste en

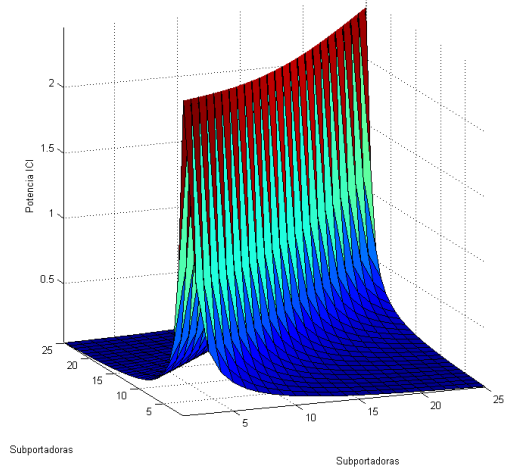


Fig. 1. Estructura diagonal de la respuesta frecuencial del canal variante en el tiempo.

una aproximación del algoritmo SPA de menor complejidad computacional.

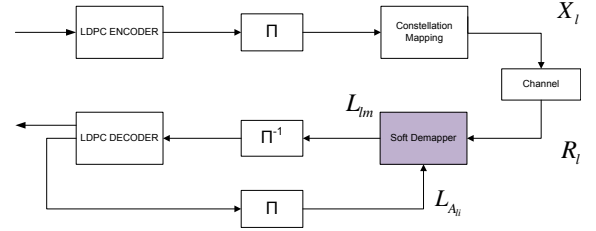


Fig. 2. Transmisor y receptor en un sistema BICM-ID.

La ecuación 5 describe el proceso de detección.

$$L_{lm} = \frac{\sum_{X_l \in \chi^+} \exp \left[- \left| \frac{R_l - H_l X_l^+}{N_0} \right|^2 + \sum_{i=1, i \neq m}^M L_{A_{li}} X_{li} \right]}{\sum_{X_l \in \chi^-} \exp \left[- \left| \frac{R_l - H_l X_l^-}{N_0} \right|^2 + \sum_{i=1, i \neq m}^M L_{A_{li}} X_{li} \right]}, \quad (5)$$

donde M es el orden de modulación.

A. Detección MAP y corrección ICI iterativa

La supresión de la ICI en sistemas DVB ha sido considerada en más de una ocasión por otros autores [8][9]. En este caso se propone un detector MAP corrector de ICI de baja complejidad [10]. El citado detector, además de compensar la ICI, se vale de la diversidad frecuencial que introduce la misma. El proceso de detección consta de dos etapas. La primera estima la señal transmitida \hat{X}_n por medio de un algoritmo pseudo-viterbi de complejidad M^3 si consideramos una diagonal adyacente a cada lado ($q = 1$) en la matriz \mathbf{H} . La segunda etapa ejecuta la detección compensando la ICI por medio de la señal estimada \hat{X}_n .

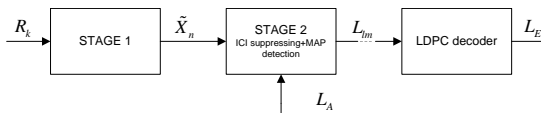


Fig. 3. Estructura del detector MAP iterativo corrector de ICI.

Como se puede apreciar en la Fig. 3 la información *soft* que genera el decodificador LDPC es realimentada a la segunda etapa del detector, tal como lo describe (6). En las simulaciones realizadas para este trabajo se considera $q = 1$.

IV. RESULTADOS

Los resultados que se muestran en este trabajo responden al siguiente modo de transmisión: longitud de FFT, 8K; longitud de intervalo de guarda (GI), 1/4; y longitud de código LDPC, 64800. Se han realizado 50 iteraciones internas y 3 iteraciones externas en la detección iterativa.

A. Recepción fija

La Fig. 4 muestra la tasa de error de bit (BER) de una transmisión de señal DVB-T2 sobre el canal AWGN antes de decodificar BCH. Se ha mantenido fija la tasa de código (1/2) variando el orden de modulación. Se aprecia que la detección iterativa introduce una ganancia de 0.6 dB aproximadamente para 64-QAM, y 0.3 dB para 16-QAM.

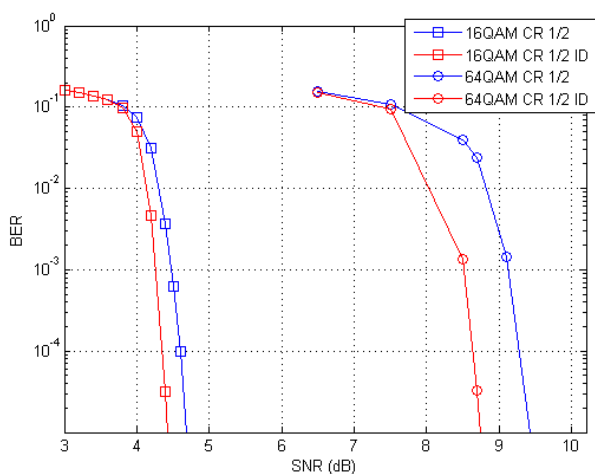


Fig. 4. Detección iterativa sobre el canal AWGN.

La ganancia debida a la detección iterativa disminuye considerablemente para canales selectivos en frecuencia. Se ha considerado el canal TU6 (*6-taps Typical Urban channel*) y se presentan resultados para distintos órdenes de modulación y tasa de código (Fig. 5). Tal como se aprecia, las ganancias están cerca de 0.2-0.3 dB y se verifica el análisis teórico: cuanto mayor es el orden de modulación y menor la tasa de código, mayor es la ganancia que introduce la detección iterativa.

B. Recepción móvil sin corrección de ICI

En lo que concierne a la recepción móvil de DVB-T2, analizaremos en primera instancia la potencialidad del estándar en escenarios móviles. A pesar de que, inicialmente DVB-T2 fuera concebido para recepción fija, los códigos LDPC junto al entrelazado temporal permiten recibir la señal en escenarios móviles exigentes. Debido al entrelazado temporal, la ICI es una fuente de diversidad que puede ser explotada por algoritmos de detección y/o equalización. La profundidad de entrelazado temporal puede ser superior a 1023 bloques FEC, estando la profundidad óptima directamente relacionada con la potencia de ICI que soporta el sistema.

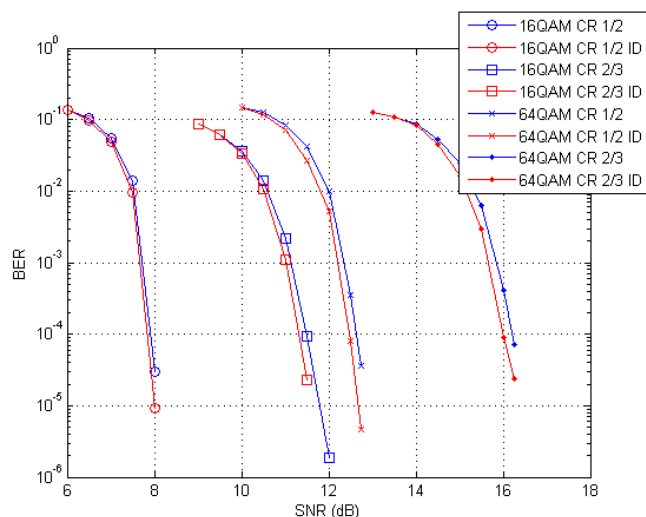


Fig. 5. Detección iterativa sobre el canal TU6.

La Fig. 6 analiza el efecto del entrelazado temporal en DVB-T2. Se propone una frecuencia Doppler de 100 Hz sobre el canal TU6. Se considera 16-QAM, tasa de código 2/3 y 8K de longitud de FFT.

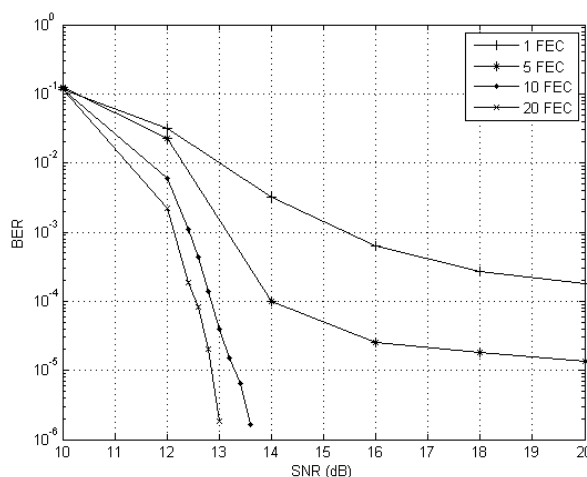


Fig. 6. Efecto del entrelazado temporal sobre DVB-T2. Canal TU6, 16-QAM, tasa de código 2/3, longitud de FFT 8K, frecuencia Doppler 100 Hz.

$$L_{lm} \approx \sum_{k=l-q}^{k=l+q} \log \left[\frac{\sum_{X_l \in \mathcal{X}^+} \exp \left[-\frac{1}{N_0} \left| R_k - \sum_{n=0, n \neq l}^{N-1} H_{kn} \tilde{X}_n - H_{kl} X_l^+ \right|^2 + \sum_{i=1, i \neq m}^M L_{A_i} X_{li} \right]}{\sum_{X_l \in \mathcal{X}^-} \exp \left[-\frac{1}{N_0} \left| R_k - \sum_{n=0, n \neq l}^{N-1} H_{kn} \tilde{X}_n - H_{kl} X_l^- \right|^2 + \sum_{i=1, i \neq m}^M L_{A_i} X_{li} \right]} \right] \quad (6)$$

Tal como se aprecia, a partir de 10 bloques FEC de entrelazado desaparece el suelo de error debido a la ICI, haciendo posible recibir la señal. A partir de 20 bloques FEC de profundidad, la ganancia que produce el entrelazado disminuye notablemente.

C. Recepción móvil con corrección de ICI

La detección MAP iterativa ha sido simulada sobre un detector corrector de ICI [10]. Se han escogido dos escenarios de transmisión: entorno urbano (canal TU6) afectado por 100 Hz de Doppler y entorno rural (canal RA6) con 160 Hz de frecuencia Doppler. En la simulación del canal urbano se ha introducido entrelazado temporal de 5 bloques FEC.

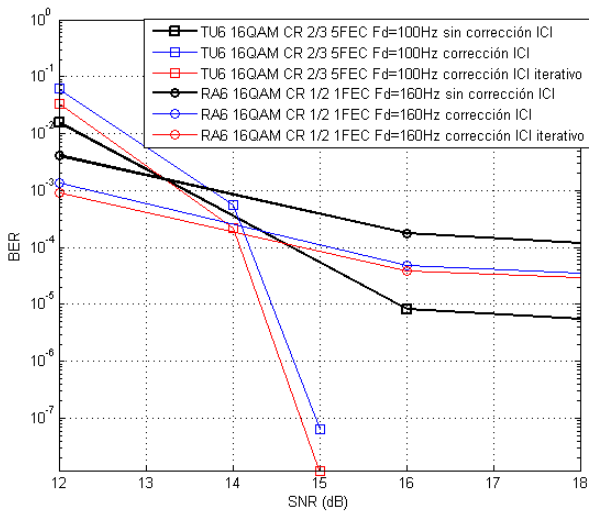


Fig. 7. BILCM-ID sobre un detector MAP corrector de ICI [10].

En ambas simulaciones se aprecia la ganancia de la corrección de ICI. Para el caso del entorno urbano, la corrección de ICI elimina el suelo de error y hace posible la recepción de la señal. En este caso, la ganancia que aporta la detección iterativa después de 3 iteraciones externas es de 0.4 dB aproximadamente para un valor de BER de 10^{-6} . Por otra parte, se aprecia que a bajos valores de relación señal-ruido (SNR), la detección MAP correctora de ICI produce peor resultado en comparación con la detección MAP convencional. Esto es debido a que, a bajos valores de SNR, las estimadas que entrega la primera etapa resultan muy distorsionadas, haciendo imposible la corrección de la ICI y corrompiendo aún más la señal.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el efecto de la detección iterativa en DVB-T2. Estudios similares [5] han demostrado la ganancia que introduce la detección iterativa en sistemas DVB en canales planos afectados por AWGN. Esta publicación analiza el rendimiento de la detección iterativa en DVB-T2 sobre un modelo de canal selectivo tanto en tiempo como en frecuencia. Los resultados de la detección iterativa han sido completados con la implementación de un cancelador de ICI que explota la diversidad frecuencial que introduce la frecuencia Doppler.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio por la financiación concedida al proyecto FURIA y FURIA 2, como también al consorcio FURIA por su ayuda en este estudio. Por otra parte, la investigación en el que se enmarca este trabajo goza de la financiación de la Consejería de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco a través del programa IKERTU.

REFERENCES

- [1] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). ETSI EN 302 755 V1.1.1," September 2009.
- [2] S. ten Brink, J. Speidel, and R.-H. Yan, "Iterative demapping and decoding for multilevel modulation," vol. vol.1, Piscataway, NJ, USA, 1998, pp. 579 – 84.
- [3] X. Li and J. Ritcey, "Bit-interleaved coded modulation with iterative decoding using soft feedback," *Electronics Letters*, vol. 34, pp. 942 – 3, 1998.
- [4] E. Zehavi, "8-PSK trellis codes for a Rayleigh channel," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 40, pp. 873 – 84, 1992.
- [5] Q. Xie, K. Peng, C. Pan, and Z. Yang, "Bit-interleaved LDPC coded modulation with iterative demapping and decoding," *Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University*, vol. 49, pp. 1201 – 1204, 2009.
- [6] DVB, "Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)," Document A133, February 2009.
- [7] G. Caire, G. Taricco, and E. Biglieri, "Bit-interleaved coded modulation," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 44, pp. 927 – 46, 1998.
- [8] M. Poggioni, L. Rugini, and P. Banelli, "DVB-T/H and T-DMB: physical layer performance comparison in fast mobile channels," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 55, pp. 719 – 30, 2009.
- [9] S. Tomasin, A. Gorokhov, H. Yang, and J.-P. Linnartz, "Iterative interference cancellation and channel estimation for mobile OFDM," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 4, pp. 238 – 45, 2005.
- [10] F. Peng and W. Ryan, "A low-complexity soft demapper for OFDM fading channels with ICI," Piscataway, NJ, USA, 2006, pp. 1549 – 54.