

일반논문-10-15-5-06

LDPC 복호와 MAP 등화기를 결합한 DVB-T2 터보 등화기법의 성능분석

태 청 송^{a)}, 한 동 석^{b)‡}

Performance Analysis of DVB-T2 Turbo Equalization with LDPC and MAP Detector

Qing Song Tai^{a)} and Dong Seog Han^{b)‡}

요 약

본 논문에서는 DVB-T2 (digital video broadcasting for terrestrial - 2nd generation) 시스템을 위한 터보 등화기를 제안 하고 그 성능을 분석하였다. 터보 등화기는 MAP (maximum a posteriori) 검파기와 LDPC (low density parity check) 복호기로 구성 되었다. LS (least square) 채널 추정 기반 SISO (soft-input-soft-output) MAP 등화기는 LDPC 복호기에 외래 확률 값을 준다. 터보 등화기의 성능을 반복 횟수에 따라 컴퓨터 실험을 통하여 분석하였다.

Abstract

In this paper, a turbo equalizer is proposed for the digital video broadcasting for terrestrial - 2nd generation (DVB-T2) system. The proposed turbo equalizer is consisted with the maximum a posteriori (MAP) and low density parity check (LDPC) decoder. The channel information for the soft-input-soft-output (SISO) MAP equalizer is based on the least square (LS) channel estimator. The performance is analyzed through computer simulations in terms of the iteration number.

Keyword : DVB-T2, Map Detector, LDPC Decoder, LS channel estimator

1. 서 론

유럽의 새로운 DTV 표준인 DVB-T2 (digital video

broadcasting for terrestrial - 2nd generation terrestrial)는 높은 데이터 전송률을 가지며 열악한 채널 환경에서도 신뢰성 있게 정보를 전송할 수 있도록 설계되어져 있다^[1]. DVB-T2는 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 전송 기술을 기반으로 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k의 다양한 부반송파 모드를 지원한다. 또한 QPSK (quadrature phase shift keying), 16-QAM (quadrature amplitude modulation), 64-QAM, 256-QAM의 다양한 성상을 제공한다. DVB-T2에서 오류정정은 되풀이 되어 복호 할 수 있는 LDPC (low density parity check) 부호^[2]를 사용한다.

a) 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 졸업
Graduated from School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

b) 경북대학교 IT대학 전자공학부
School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

‡ 교신저자 : 한동석(dshan@ee.knu.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음[10035618, 차세대 지상파 3D HDTV를 위한 효율 전송기술 개발].

· 접수일(2010년6월7일), 수정일(2010년8월23일), 게재확정일(2010년8월28일)

본 논문에서는 DVB-T2의 특성을 이용하여 최적의 수신 성능을 확보할 수 있는 등화기법에 대하여 제안한다. 제안한 시스템은 SISO (soft-input soft-output) 시스템에서 MAP (maximum a posteriori) 등화기와 LDPC 등화기를 상호 연계한 터보 등화기이다. 터보 등화기는 Douillard 등에 의하여 1995년 제안 되었다^[3]. 이것의 오류 정정 능력은 코드워드 비트로 구성된 외적 LLR (log-likelihood ratio) 값의 계산을 반복하여 개선하는 장점을 가지고 있다. 또한 MAP 검파기는 채널 정보를 이용하여 다중경로 채널 영향을 최소화하는 장점이 있다. 이 때, 수신기의 채널 정보는 DVB-T2 프레임에 있는 파일럿 신호를 이용하여 구할 수 있다. 본 논문에서는 DVB-T2 프레임의 파일럿 톤 신호를 이용한 LS (least square) 채널 추정 법을 사용하여 MAP 검파기에서 필요한 채널 정보를 구한다.

제안된 터보 등화기는 MAP 검파기에서 출력된 외적 확률을 LDPC 복호기에서 활용한다. LDPC 복호 알고리즘은 복잡도가 낮은 알고리즘을 통하여 우수한 BER (bit error rate) 성능을 나타낸다. 일반적으로 LDPC는 BP (belief propagation)라 불리는 SP (sum-product) 복호 또는 MS (min-sum)의 두 가지 알고리즘을 사용한다^[4]. MS 알고리즘은 쉽게 구현할 수 있지만 성능이 우수하지 않으므로 본 논문에서는 SP 알고리즘을 사용한다. LDPC 복호기는 SP 알고리즘을 이용하여 초기 확률 값을 반복 횟수에 따라 갱신하여 더 정확하게 복호하도록 한다.

본 논문은 1장의 서론에 이어 2장에서 터보 등화기의 개념을 설명한다. 3장에서는 DVB-T2 시스템을 위한 터보 등화기를 제안한다. 4장에서는 실험 모델과 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 내린다.

II. 터보 등화기

터보 등화기는 MAP 검파기와 LDPC 복호기 사이에 검파 확률 정보의 교환 과정을 통하여 시스템 성능을 개선시킨다. MAP 검파기에서는 LDPC 복호기의 초기 판단을 위한 정보를 보내 준다. LDPC는 초기 판단을 하기 전까지 반복 과정을 계속 진행한다. 본 논문에서는 MAP 검파기와

LDPC 복호기 사이에 반복 과정을 전체반복 (global iteration)이라 하고 LDPC 자체반복을 지역반복 (local iteration)이라 한다. 한 개 블록 크기만큼 수신 데이터의 등화와 해독 과정을 수렴 기준에 따라 정지 할 때까지 복호기의 피드백을 이용하여 되풀이 한다. 복호기에서 반복을 정지하면 LDPC 복호기는 최종으로 신호를 결정한다.

일반적인 터보 등화기의 블록도를 그림 1에 나타내었다. 등화기와 채널 복호기 사이에는 인터리버 (interleaver) $\Pi(\cdot)$ 와 역인터리버 (de-interleave) $\Pi(\cdot)^{-1}$ 가 있다. 외적 LLR $L_E(x_n)$ 에는 다중경로 채널 구조를 예측하여 얻은 채널 정보가 들어있다. 등화기의 소프트 출력 값 $L_E(x_n)$ 을 역인터리빙 시킨 $\hat{L}_E(x_n)$ 은 사전 정보 또는 소프트 정보로 LDPC 복호기의 입력 값이 된다.

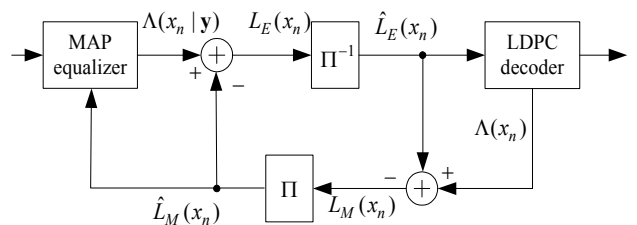


그림 1 . 터보 등화기의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block Diagram for Turbo Equalizer

인터리버는 송신측에서 한 개 블록 크기의 부호기 출력 값을 재배치시킨다. 따라서 역인터리버는 인터리버의 역과정을 거쳐 송신신호를 복원한다. 복호기에서 출력한 피드백 정보는 다시 인터리빙 과정을 거쳐 정정된 신호를 MAP 등화기에 재입력한다. 수신신호의 다중경로 채널 효과를 감소하기 위해 등화기는 posteriori-LLR 값을 다음과 같이 계산한다.

$$A(x_n|y) = \ln \frac{P(x_n = +1|\vec{y})}{P(x_n = -1|\vec{y})} \quad (1)$$

여기서 $P(x_n = +1|\vec{y})$ 와 $P(x_n = -1|\vec{y})$ 는 \vec{y} 인 신호를 수신한 경우, 송신 신호가 +1 또는 -1일 확률 값이다. 수신 신호가 \vec{y} 이고 송신 신호가 x_n 일 때 LLR은 소프트 확률 값이다.

Bayes 규칙으로부터 식 (1)을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 A(x_n|y) &= \ln \frac{\sum_{\vec{x}: x_n = +1} P(x_n = +1|\vec{y})}{\sum_{\vec{x}: x_n = -1} P(x_n = -1|\vec{y})} \\
 &= \ln \frac{\sum_{\vec{x}: x_n = +1} P(\vec{y}|\vec{x}) \prod_{n' \neq n} P(x_{n'})}{\sum_{\vec{x}: x_n = -1} P(\vec{y}|\vec{x}) \prod_{n' \neq n} P(x_{n'})} \quad (2) \\
 &= L_E(x_n) + L_M(x_n)
 \end{aligned}$$

여기서 $L_M(x_n) = \ln P(x_n = +1)/P(x_n = -1)$ 은 송신신호의 각 비트가 x_n 일 때 LDPC 복호기의 출력 값 또는 피드백 정보인 사전 정보이다. $\forall \vec{x}: x_n = 1$ 은 임의의 \vec{x} 의 n 번째 요소가 1인 경우를 뜻한다. $P(\vec{y}|\vec{x})$ 는 송신신호가 \vec{x} 일 때 수신신호 \vec{y} 의 조건부 확률 값이다. $P(x)$ 는 \vec{x} 의 확률 값이다. $P(x_{n'})$ 는 \vec{x} 의 n' 번째 요소의 확률 값이다. 터보 등화기의 사전 정보 $L_M(x_n)$ 은 이전 반복 과정에서 출력한 LDPC 복호기의 소프트 출력 값을 인터리빙 한 것이다. 첫 번째 반복을 시작 할 때 사용할 수 있는 사전 정보 값이 없으므로 첫 번째 반복에서 설정을 $L_M(x_n) = 0$ 와 같이 한다. n 번째 수신신호가 0 또는 1인 초기 확률 값 f_n^0 와 f_n^1 을 얻기 위하여 식 (3)의 LLR $\hat{L}_E(x_n)$ 을 LDPC 복호기에 입력한다.

$$\hat{L}_E(x_n) = \ln \frac{P(x_n = +1|y_n)}{P(x_n = -1|y_n)} = \frac{f_n^0}{f_n^1} = \frac{2}{\sigma^2} y_n \quad (3)$$

입력된 초기 확률 값은 다음과 같은 2단계 과정을 거쳐 수신신호의 확률 값을 계산하여 갱신된다. LDPC 부호기의 코드율이 R 일 때 주어진 SNR (signal-to-noise ratio)을 가진 수신신호 y_n 의 표준편차는 $\sigma^2 = 1/(2R \cdot 10^{SNR})$ 이다.

LDPC 복호기는 외적 확률 값을 활용하여 송신신호가 0과 1인 사전 확률 값을 계산한다. LDPC 복호기는 마지막 전체 반복에서 경관정을 한다. 전체 반복을 계속 수행하면 LDPC는 소프트 정보 $A(x_n)$ 을 생성한다. MAP 등화기의 자체 성능 개선을 위하여 LDPC 복호기의 피드백 정보

$L_M(x_n)$ 을 MAP에서 재활용을 한다.

III. 제안한 터보 등화기

본 장에서는 DVB-T2 규격의 변조와 부호화 기술을 이용한 터보 등화기를 제안한다. DVB-T2 시스템에서는 OFDM 변조 기술을 이용하여 다중 경로 채널에서도 강건한 신호를 송신 할 수 있을 뿐만 아니라 LDPC 오류 정정 부호를 도입하여 아주 낮은 SNR과 심각한 간섭 환경에서도 아주 우수한 오류 정정 성능을 가진다. DVB-T2 시스템의 송신단 블록도를 그림 2에 나타내었다.

그림 2에서 DVB-T2 시스템은 블록 길이가 64,800 비트인 LDPC 부호기를 사용한다. 시간 인터리빙 한 신호를 송신하기 전에 OFDM 변조를 시킨다. 2k 모드로 작용할 때 각 OFDM 심볼은 $N=2,048$ 개의 부 반송파로 구성된다. 모든 부 반송파 중에서 1,705개의 부 반송파는 신호 송신신호에 활용되고 343개는 ICI (inter-channel interference)를 막기 위하여 보호대역 (guard band)으로 사용 된다. 분산 파일럿은 12개의 부 반송파 간격으로 배치되었고 이러한 배치 방법도 4가지 패턴으로 되어 있다. 시간 영역에서 OFDM 변조된 신호 x_n 을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j(2\pi kn/N)}, n=0,1,2,\dots,N-1 \quad (4)$$

다중경로에 의한 영향을 줄이기 위하여 그림 3과 같이 한 심볼을 IFFT (inverse fast Fourier transform) 한 뒤, 심볼의 앞부분에 보호구간 (guard interval, GI)을 삽입한다. GI의 데이터는 Δ [sec]길이만큼 OFDM 심볼의 마지막 신호를 반복한 것이다.

수신기의 MAP 등화기 에서 등화를 수행하기 전에 수신신호는 OFDM 복조를 수행한다. MAP 등화기를 위한 채널 정보는 파일럿 신호를 이용한 LS 채널 추정 법을 이용하여 구한다. 파일럿 신호가 없는 부반송파 영역은 보간법을 사용하여 채널을 추정한다. 다중경로 채널환경에서 n 번째 OFDM 신호 $r(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

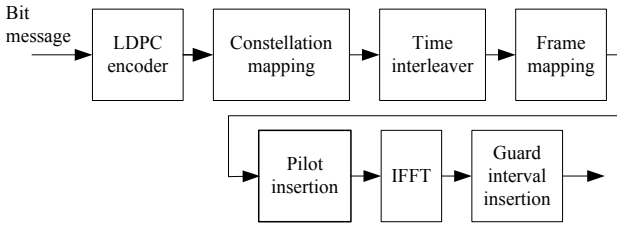


그림 2 . DVB-T2 송신 측 블록 다이어그램
Fig. 2. Transmitter Block Diagram for DVB-T2

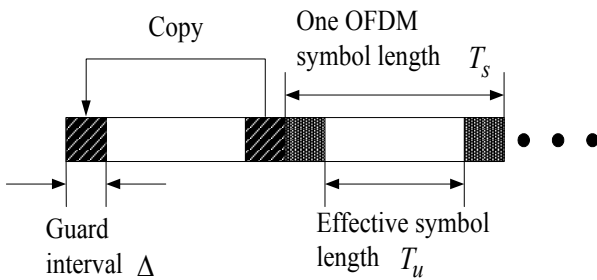


그림 3 . 시간 영역에서의 OFDM 신호 포맷
Fig. 3. OFDM Signal Format in Time-Domain

$$r(n) = x(n) * h(n) + w(n) \tag{5}$$

여기서 $w(n)$ 은 AWGN(additive white Gaussian noise)이고 $*$ 는 컨볼루션을 의미 한다. 채널 임펄스 응답 $h(n)$ 은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$h(n) = \sum_{i=0}^{L-1} \alpha_i \delta(n - \tau_i), 0 \leq n \leq N-1 \tag{6}$$

여기서 L 은 경로 개수이고 α_i 는 i 번째 채널의 복소 이득이며 τ_i 는 i 번째 경로의 지연을 표현한다. 주파수 영역에서 k 번째 부 반송파에 실린 수신신호 $R(k)$ 는 다음과 같다.

$$R(k) = \sum r(n) e^{-2\pi kn/N} = X(k)H(k) + W(k), k = 0, 1, \dots, N-1 \tag{7}$$

여기서 $H(k)$ 와 $W(k)$ 는 각각 채널 전달 함수와 주파수 영역에서 AWGN을 의미한다. 주파수 영역에서 파일럿 위치

에 있는 채널 응답을 다음과 같이 구할 수 있다.

이웃 파일럿 톤 사이의 간격이 D , p 번째 파일럿 위치의 추정된 채널 응답 $\hat{H}(pD)$ 는 다음과 같다.

$$\hat{H}(pD) = \frac{R(pD)}{X(pD)}, p = 0, 1, \dots, P-1 \tag{8}$$

$R(pD)$ 와 $X(pD)$ 는 p 번째 파일럿 위치의 수신된 신호와 송신한 신호이다. P 는 총 파일럿 개수이다. 이들의 값은 단 파일럿 위치의 채널 정보만을 의미한다. 다른 부 반송파의 채널 정보는 보간 법을 이용하여 구할 수 있다. 모든 부 반송파 위치에서 주파수 영역의 선형 보간 법을 이용하여 구한 모든 채널 응답은 다음과 같다.

$$\hat{H}(pD+l) = \frac{D-l}{D} \hat{H}(pD) + \frac{l \hat{H}((p+1)D)}{D}, 1 \leq l \leq D-1 \tag{9}$$

각 OFDM 심볼의 파일럿 위치가 다르므로 심볼 사이의 보간 법은 항상 더 정확한 채널 정보를 얻기 위하여 응용된다. 채널 등화는 수신신호에 역 채널 정보를 곱하여 실행된다. 제안된 등화기 안에 MAP 등화기는 이 채널 정보를 초기 채널 정보로 사용한다. MAP 등화기는 채널 탭 길이만큼의 수신 데이터를 얻는다. 채널 탭 길이가 3이면 순차적으로 3개 수신된 신호가 선택되어 똑 같은 시간에 등화 된다. 다음 MAP 등화기는 선택 된 수신신호의 조건 확률 값을 계산한다.

MAP 검파기는 다중 경로 효과를 감소하고 수신 신호의 소프트 확률 값을 추출하여 LDPC 복호기에 전달한다. DVB-T2 시스템을 위한 LDPC 복호기는 한번에 64,800개의 비트를 복호한다. 그러므로 수신신호가 LDPC 블록 크기에 해당할 때까지 누적 할 필요가 있다. MAP 등화기 소프트 출력 값의 개수가 LDPC 블록 길이와 일치 하면 LDPC 복호기에서는 자체 반복을 통하여 누적된 소프트 출력 값을 갱신 시킨다. 그러나 전체 반복을 한번 시행해서는 정확한 판단이 된 값을 생성 할 수 없다. LDPC 복호기에서는 두 번째 전체 반복을 위해 갱신 된 소프트 확률을 MAP 등화기에 준다. 이 DVB-T2 수신기의 구조를 그림 4에서

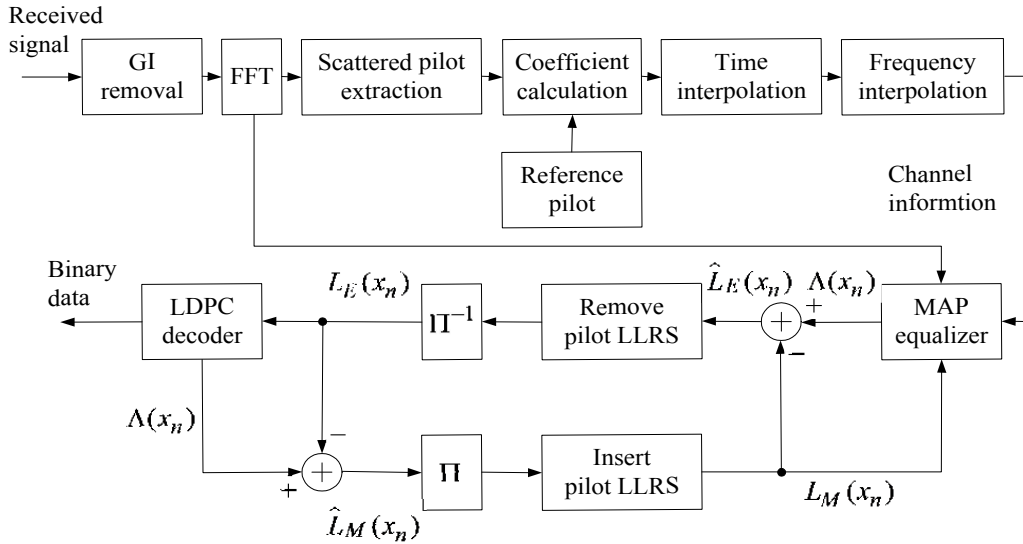


그림 4 . DVB-T2 시스템의 수신기 구조
Fig. 4. Receiver Structure of DVB-T2 System

나타내었다.

그림 4에 제안된 DVB-T2 수신기는 LDPC 복호에 필요한 소프트 확률값을 MAP 등화기를 통하여 제공함으로써 LDPC 복호기의 신뢰성을 높일 수 있다. 그리고 MAP 등화기의 복호 신뢰성은 기존 채널 등화기에서 채널 정보를 제공함으로써 전체 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있다.

IV. 성능 분석

DVB-T2 시스템을 위한 제안된 터보 등화기의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 실험을 수행하였다. 실험에서 LDPC 한 블록의 길이는 64,800 비트이고 부호율은 1/2이다. 신호 성상은 QPSK이고 2k 모드의 OFDM 변조 방식을 적용하였다. 수신 단에서 OFDM 복조 된 수신 신호를 MAP 등화기를 이용하여 먼저 등화를 수행하고 LDPC 복호기로 송신 신호를 복원한다.

본 논문에서는 세 가지 수신기를 고려하여 제안된 시스템의 성능을 평가 한다. 첫 번째 수신기는 제안한 터보 등화기로 MLDP로 표기 하였으며, MAP 등화기와 LDPC 복호기를 연동한 시스템이다. 그리고 MAP 등화를 위한 채널

정보는 LS 채널 추정 법을 적용하였다. 두 번째 수신기 PCSI는 채널의 특성을 완벽히 아는 경우의 MLDP이다. 세 번째 수신기 LDPC는 전통적인 LS 등화기와 LDPC 복호기를 상호 연동 없이 직렬 연결한 시스템이다.

첫 번째 실험은 채널 임펄스 응답이 $[h_0, h_1, h_2] = [0.407, 0.815, 0.407]$ 인 채널 C_1 을 사용한다. 전체 반복횟수에 따라

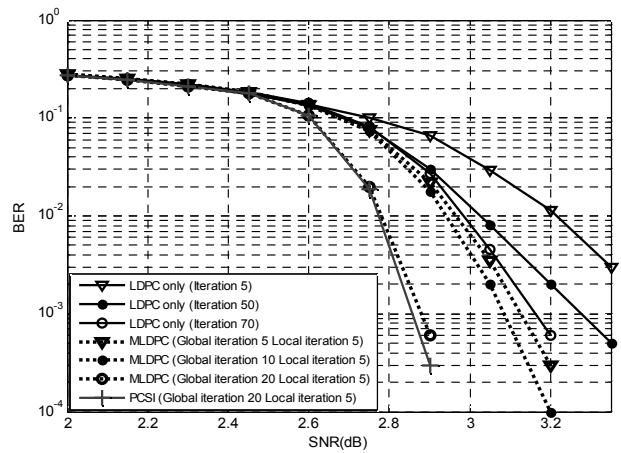


그림 5 . DVB-T2 시스템을 위한 MLDP, PCSI, LDPC 성능 비교 (3-탭 채널 C_1 , 신호 성상 QPSK).

Fig. 5. Performance Comparison of MLDP, PCSI, LDPC for DVB-T2 System (3-Tap channel C_1 , QPSK constellation)

MLDPC, PCSI와 LDPC 성능을 비교한 결과를 그림 5에 나타내었다. 단 LDPC 복호기만을 적용한 DVB-T2 시스템의 오류 정정 성능을 실험 한 결과 LDPC 70번 반복에서 오류 정정 성능이 포화 되었고 BER 10^{-3} 를 만족하기 위하여 SNR 3.16dB를 필요로 한다. 70번 이상 반복 하였을 때 더 이상의 성능 개선은 없었다. 본 실험에서 LDPC는 5회의 지역반복을 통하여 성능이 포화 되어 지역반복은 5회로 제안하였다. 제안한 MLDPC는 5번의 지역반복과 5 번의 전체반복을 통하여, BER 10^{-3} 에서 SNR 3.13dB를 가진다. 모든 실험에서 MLDPC와 PCSI는 매번 전체반복할 때 LDPC 지역반복을 5로 설정하였다. MLDPC는 전체반복을 20번 이상하였을 때 BER 10^{-3} 에서 SNR 값이 계속 2.88dB이 되어 20번 반복에서 성능이 포화된다. PCSI에서 전체반복 20번과 지역반복 5번 수행 하였을 때 BER 10^{-3} 에서 SNR 2.86dB을 가진다. 그 결과 제안 된 수신기 MLDPC의 성능은 LDPC보다 0.28dB 좋고 PCSI 보다 0.12 dB 떨어짐을 알 수 있다.

두 번째 실험은 채널 응답이 $[h_0, h_1, h_2, h_3, h_4] = [0.7263, 1, 0.6457, 0.9848, 0.7456, 0.8616]$ 인 브라질 C 채널을 사용하였다. 브라질 C 채널은 DTV 수신기 성능 분석에 일반적으로 사용되는 채널로서 실험결과를 그림 6에 나타내었다.

그림 6에서 LDPC 복호기만 적용한 DVB-T2 시스템의 오류 정정 성능을 실험한 결과 LDPC 복호기는 70번 반복

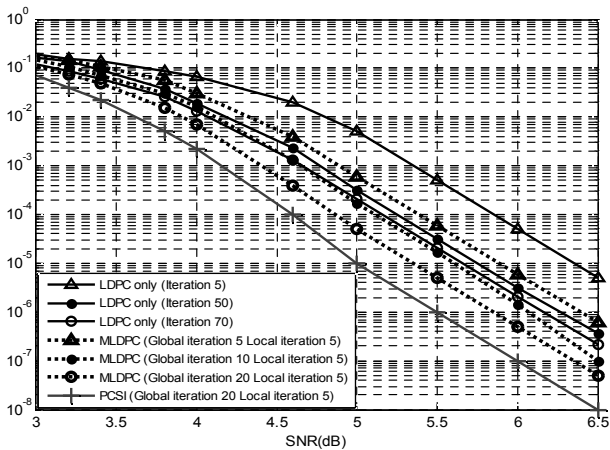


그림 6 . DVB-T2 시스템을 위한 MLDPC, PCSI, LDPC 성능 비교 (브라질 C 채널, 신호 성상 QPSK).
Fig. 6. Performance Comparison of MLDPC, PCSI, LDPC for DVB-T2 System. (Brazil C channel, QPSK constellation)

에서 오류율이 포화가 되었고 BER 10^{-6} 에서 SNR 6.17dB를 가진다. 70번 이상 반복 했을 때 더 이상 성능 개선은 없었다. 제안한 MLDPC는 5번 지역반복과 5 번 전체반복을 하였을 때 BER 10^{-6} 에서 SNR 6.39dB를 가진다. 모든 실험에서 MLDPC와 PCSI는 매번 전체반복할 때마다 LDPC 지역반복 회수를 5로 설정하였다. MLDPC는 전체 반복을 20번 이상하였을 때 BER 10^{-6} 에서 SNR 값이 계속 5.85dB이므로 20번 반복 했을 때 성능이 포화된다. PCSI에서 전체반복 20번과 지역반복을 5번 하였을 때 BER 10^{-6} 에서 SNR값이 5.50dB이다. 그 결과 제안 된 수신기인 MLDPC의 성능은 LDPC 보다 0.32dB 좋고 PCSI 보다 0.35dB 떨어짐을 알 수 있다.

그림 7에서 LDPC 복호기만 적용한 DVB-T2 시스템의 비트 오류 성능을 실험한 결과 LDPC 70번 반복에서 에러 성능이 포화 되었고 BER 10^{-6} 에서 SNR 값이 33.2dB이다. 70번 이상 반복하였을 때 성능 개선은 더 이상 없었다.

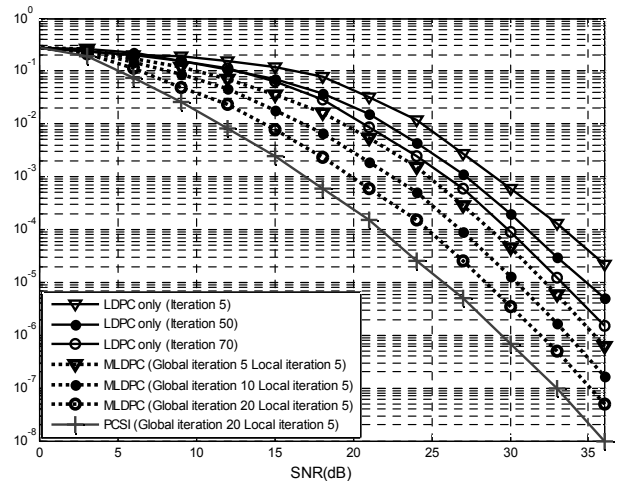


그림 7 . DVB-T2 시스템을 위한 MLDPC, PCSI, LDPC 성능 비교 (브라질 C 채널, 신호 성상은 QPSK, 50Hz 도플러 효과).
Fig. 7. Performance Comparison of MLDPC, PCSI, LDPC for DVB-T2 System (Brazil C channel, QPSK constellation, 50Hz Doppler effect)

제안한 MLDPC는 5번의 지역반복과 5번의 전체반복을 하였을 때 BER 10^{-6} 에서 SNR 32.3dB를 가진다. MLDPC는 전체반복을 20번 하면 BER 10^{-6} 에서 SNR 값 28.4dB을 가지고 20번 이상 반복했을 때 더 이상 성능 개선은 없었다.

PCSI에서 전체반복 20번과 지역반복 5번 했을 때 BER 10^{-6} 에서 SNR 값 25.7dB 을 가진다. 그 결과 제안 된 수신기 MLDPC 성능은 LDPC 보다 4.8dB 좋고 PCSI 보다 2.7dB 떨어짐을 알 수 있다.

이 필요하다. 제안한 터보 등화기는 단 LDPC와 LS 채널 추정 법을 적용한 LDPC 보다 DVB-T2 수신 정확도를 더 크게 개선하였다. 제안한 터보 등화기는 채널 환경이 열악 할수록 LDPC 보다 더 높은 SNR 이득을 가진다.

V. 결론

본 논문에서는 DVB-T2 시스템을 위한 터보 등화기를 제안 하였다. MAP 등화기의 채널 추정은 LS 추정법을 적용 하였다. 반복 회수가 포화 되었을 때 제안된 터보 등화기 MLDPC는 이상적인 채널 환경에서의 PCSI와 비슷한 성능 을 가진다. 실험결과 제안한 터보 등화기는 20번 전체 반복 에서 포화 된다. 각 전체 반복 마다 5번의 LDPC 지역 반복

참 고 문 헌

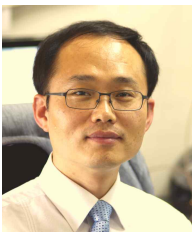
- [1] European Telecommunication Standard, Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), June 2008.
- [2] R. G. Gallager, "Low-density parity-check codes," IRE Trans. Inf. Theory, vol.8, pp. 21 - 28, Jan. 1962.
- [3] C. Douillard, M. Jézéquel, and C. Berrou, "Iterative Correction of Inter-symbol Interference: Turbo Equalization," European Trans. Telecommum., vol.6, no.5, pp.507-511, Sep./Oct.1995.
- [4] N. Wiberg, "Codes and decoding on general graphs," Ph.D. dissertation, Linköping Univ., Linköping, Sweden, 1996.

저 자 소 개



태 청 송

- 2007년 6월 : 연변대학교(중국) 전자정보학부 (공학사)
- 2009년 8월 : 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 석사
- 2009년 8월 ~ 2010년 3월 : 경북대학교 부설 임베디드소프트웨어연구센터 (CEST) 연구원
- 주관심분야 : MIMO, 방송통신기술



한 동 석

- 1987년 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)
- 1987년 10월 ~ 1996년 8월 : 삼성전자 기술총괄 신호처리 연구소 선임연구원
- 1996년 월 ~ : 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수
- 2006년 7월 ~ 2008년 7월 : 정보통신연구진흥원 디지털TV/방송사업단 단장
- 주관심분야 : 차세대 방송 시스템 및 이동통신 신호처리