

Iterative Demapping and Decoding 기반 차세대 유럽형 디지털 지상파 방송 시스템(DVB-T2)의 BICM 성능 평가

정희원 전은성*, 서정욱**, 양장훈***, 종신회원 김동구*

Performance Evaluation of the Iterative Demapping and Decoding based DVB-T2 BICM module

Eunsung Jeon*, Jeongwook Seo**, Janghoon Yang*** *Regular Members*,
Dongku Kim* *Lifelong Member*

요약

본 논문은 차세대 유럽형 디지털 지상파 시스템으로 알려진 DVB-T2 시스템의 BICM(Bit Interleaved Coded and Modulation) 모듈의 FER(frame error rate) 및 BER (bit error rate) 성능을 전산 실험을 통해 분석하였다. AWGN 채널, flat 페이딩 Rayleigh 채널 및 15% erasure 채널에서 ETSI EN 302 555 표준에 따라 제작된 full 시뮬레이터를 통해 실험을 하였으며, 수신 모듈은 디매퍼가 LDPC 채널 디코더로부터 전달되는 apriori 정보를 이용하여 LLR(log likelihood ratio) 값을 계산하는 iterative demapping decoder (IDD) 기술을 적용하였다. 또한 DVB-T2 시스템에서 선택적으로 사용할 수 있는 성상회전(rotated constellation) 기술의 성능도 비교하였다. 실험 결과 flat 페이딩 Rayleigh 채널에서 성상회전을 사용할 경우, 사용하지 않은 시스템에 비해서 FER= 10^{-4} 에서 약 0.5dB 정도의 Eb/No[dB]의 이득을 얻을 수 있으며, 성상회전과 IDD를 동시에 적용할 경우, 1.2 dB 정도의 Eb/No[dB]의 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 또 15% erasure가 있는 채널에서는 성상회전을 적용할 때 BER= 10^{-4} 지점에서 대략 5dB 정도의 Eb/No[dB]의 이득을 얻을 수 있으며, IDD를 적용할 경우 추가적인 3dB의 이득이 있음을 확인할 수 있었다.

Key Words : DVB-T2, BICM, Iterative demapping and decoding

ABSTRACT

In this paper, the performance of bit interleaved of coded and modulation(BICM) module of the second generation of digital terrestrial television broadcasting system(DVB-T2) is evaluated with the help of computer simulation. The frame error rate performance is studied in AWGN, Rayleigh fading and 15% erasure channels. In addition, iterative receiver is considered that exchanges extrinsic information between the rotated demapper and the LDPC decoder. Through the simulation it is observed that under the flat fading Rayleigh channel, about 1.2dB gain at FER of 10^{-4} is introduced when rotated constellation and iterative demapping and decoding are employed. Under the 15% erasure channel, rotated constellation gives performance gain of about 5dB at BER of 10^{-4} and when IDD is applied, additional performance gain of about 3dB can be achieved.

* 연세대학교 전기전자공학과 이동통신 연구실 (youngmil2@yonsei.ac.kr), ** KETI 모바일단말연구센터
*** 한독미디어대학원대학교

논문번호 : KICS2010-11-538, 접수일자 : 2010년 11월 10일, 최종논문접수일자 : 2011년 1월 31일

I. 서 론

차세대 디지털 지상파 TV의 표준으로 알려진 DVB-T2 기술은 ASO(Analogue Switch Off) 이후의 환경을 위해서 DVB 프로젝트에 의해 개발되었으며, 256-QAM, 성상회전(rotated constellation) 분산 MISO 다이버시티 및 LDPC 디코딩과 같은 최신의 변조 및 코딩 기술을 채택을 하고 있으며, 기존의 DVB-T에 비해 전송 효율을 30% 이상 증가시킬 수 있다. DVB-T2 물리계층 시스템은 크게 채널 코딩, 인터리빙 및 변복조 기능을 수행하는 BICM 모듈과 OFDM(orthogonal frequency division and multiplexing) 변복조를 위한 OFDM 모듈로 구성되어 있다^[1]. BICM 수신 모듈에서 시스템의 비트 오류율 성능 향상을 위하여 LDPC 디코더와 심볼 디매퍼(demapper) 간에 apriori 정보를 교환하여 디코딩을 수행하는 iterative demapping and decoding(IDD) 기법을 선택적으로 채택할 수 있다(그림 1. 참조). 본 논문에서는 이와 같은 IDD 기반 BICM 수신 모듈의 AWGN 및 Rayleigh 페이딩 채널, 15% erasure 채널에서의 성능을 전산 실험을 통해 평가한다. 시뮬레이터는 DVB-T2 표준 문서인 [1]을 기반으로 제작되었다. 먼저 II장에서 DVB-T2 BICM 모듈을 소개하고 III장에서 전산실험 결과를 소개하며 IV장에서 결론을 맺는다.

II. DVB-T2 BICM 시스템 모델

2.1 LDPC 채널 코딩

DVB-T2 BICM 송신기는 그림 1과 같이 최대 256까지 가능한 다수개의 PLP(Physical Layer Pipe)로 구성되었으며, 각각의 PLP는 서로 다른 변조 지수 및 부호화율(code rate)을 가질 수 있다. 채널코딩은 기존의 RS 코드 기술을 사용하지 않고, DVB-S2의 BCH - LDPC concatenated 코드 기술을 사용하며, LDPC 이후 FEC(Forward Error Correction) 블록의 길이에 따라서 normal 프레임($N_{ldpc} = 64,800$)과 short 프레임($N_{ldpc} = 16,200$)으로 구분되어진다. 사용되는 부호화율은 각각 1/4(short 프레임만 해당), 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 이며 1/4 채널 코딩은 채널 에러에 강인한 전송을 위해 설계되었으며 시스템 정보를 전송하는 L1 시그널링 전송에만 적용된다.

2.2 인터리버(Interleaver)

LDPC 코드가 랜덤하게 분포하는 비트에러에 대해서 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 무작위 패턴의 에러를 발생시키도록 인터리버를 사용한다. DVB-T2 BICM 모듈에서는 Bit 인터리버, Cell 인터리버, Time 인터리버, Frequency 인터리버의 4가지의 인터리버를 사용한다. Bit 인터리버와 Time 인터리버는 row/column 블록 인터리버 계열이며, Cell 인터리버와 Frequency

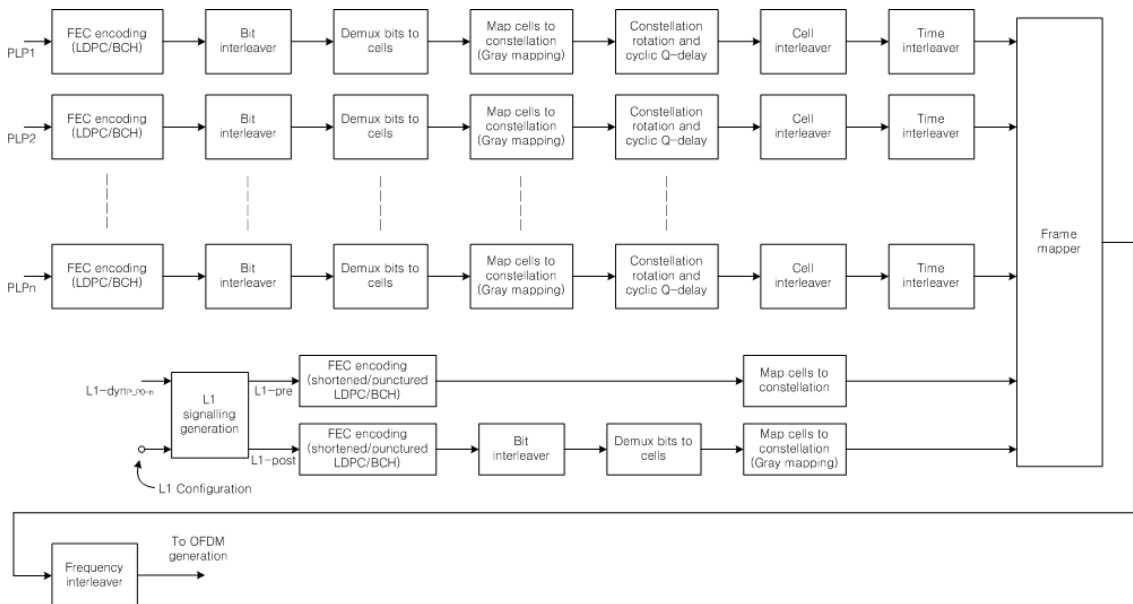


그림 1. DVB-T2 BICM 송신 모듈 구조^[1]

인터리버는 permutation 함수를 통해 인터리빙을 수행된다. Bit 인터리버와 Cell 인터리버는 한 FEC 블록내에서 에러를 랜덤화 하기 위해 사용되는 반면, Time 인터리버는 다수개의 FEC 블록들로 구성된 INTERLEAVING_FRAME 단위로 수행되어지며, FEC 블록들로부터 슬라이스나 서브 슬라이스 전체로 데이터들을 분산시키기 위해서 사용된다. Frequency 인터리버는 프레임 매핑 이후, OFDM 심볼에서 인접한 데이터 셀들을 랜덤화하기 위해서 사용한다.

2.3 성상회전

Rayleigh 페이딩 채널에서 deep fading에 신호가 빠질 경우, 신호 자체가 소실될 수 있다(erasure). 이러한 문제를 해결하기 위해서 성상회전 기법이 제안되었다. 성상회전을 적용할 경우, I-채널 신호와 Q-채널 신호가 서로 상관 관계를 가지게 되므로 I/Q 채널 중 한 채널의 신호가 소실될 경우, 소실되지 않은 다른 채널의 신호를 통해 어느 정도 복원이 가능하다(그림 2 참조). 성상회전 기술과 함께 사용되어지는 Q-delay 기술은 Q-채널의 신호를 I-채널 신호에 비해서 한 심볼 지연시켜 보내는 기술로서 I/Q 채널의 심볼이 동시에 deep 페이딩으로 소실이 되는 것을 방지한다. 변조 지수에 따라 회전각이 있는데 QPSK 신호는 29° , 16-QAM, 64-QAM 그리고 256-QAM 신호는 각각 16.8° , 8.6° , $\text{atan}(1/16)^\circ$ 만큼 회전시킨다.

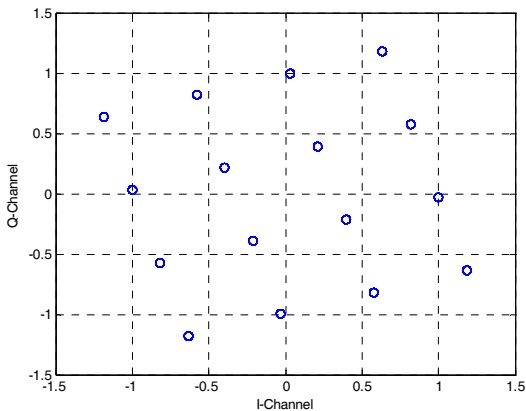


그림 2. 16QAM 성상회전

2.4 L1 시그널링 발생 및 프레임 빌드

L1 시그널링은 프레임의 심볼과 L1-pre 시그널링과 L1-post 시그널링으로 구성된다. P1 심볼은 프레임의 대략적 시간 동기 및 소수배/정수배 주파수 동기를 추정하는데 적합하도록 설계가 되어 있으며, FFT

SIZE 및 분산 MISO 전송 여부를 알리는 7비트로 구성된 기본적인 시스템 정보를 가지고 있다. 반면에 L1-pre 시그널링과 L1-post 시그널링은 시스템에 대한 자세한 정보를 전송하며, L1-pre 신호는 200비트의 고정된 길이의 시스템 정보를 전송하며, L1-post 신호는 시스템 파라미터에 따라서 정보 비트 길이가 가변적이다. 또한 L1-pre 시그널링은 무선 채널의 에러에 강인한 전송을 위하여 BPSK 변조와 1/4 부화 화율(short 프레임)을 적용하여 반면에 L1-post 시그널링은 BPSK/QPSK/16QAM/64QAM 변조 중에서 선택할 수 있으며, 1/2 부화화율(short 프레임)을 적용한다.

N 개(최대 256개)의 T2 프레임이 하나의 슈퍼 프레임을 구성하며, T2 프레임은 그림 3.과 같이 P1 심볼, L1 시그널링(L1-pre, L1-post)로 구성되어 있다. L1-post 시그널링는 다시 전송되는 시스템 정보에 따라서 Configurable 파트와 Dynamic 파트 그리고 Extension, CRC32, 1비트의 L1-padding으로 구성된다. L1-pre 시그널링과 L1-post Configurable 파트 신호는 슈퍼 프레임동안 변하지 않는 시스템 정보를 전송하나, L1-post Dynamic 파트는 T2 프레임마다 바뀔 수 있는 시스템 정보를 전송한다. P1 심볼은 OFDM 변조 시 생성되어 T2 프레임 가장 앞 부분에 삽입이 된다. L1 시그널링 이후에 각각의 PLP로 부터 오는 데이터 셀들이 common type PLP, Type 1 PLP, Type 2 PLP 순으로 T2 프레임에 매핑된다.

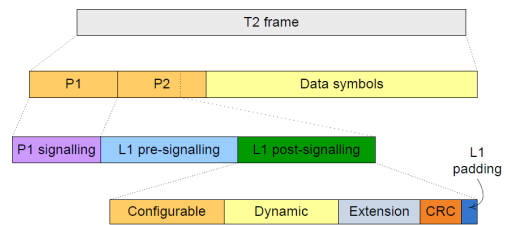


그림 3. T2 프레임 구조^[1]

2.5 LLR demapping

그림 4는 DVB-T2 BICM 수신 모듈의 구성도이다. 수신 모듈은 data & common PLP 수신 모듈과 L1-pre 수신 모듈, L1-post 수신 모듈이 독립적으로 LLR(log likelihood ratio) 디매핑(demapping) 및 복호를 수행한다. 본 논문에서는 data 및 common PLP 수신 모듈의 성능 평가에 초점을 두며, 수신기는 LDPC와 디매핑 간 apriori 정보를 주고받는 IDD 기법을 적용하여 성능을 평가한다. 디매핑은 성상회전을 적용

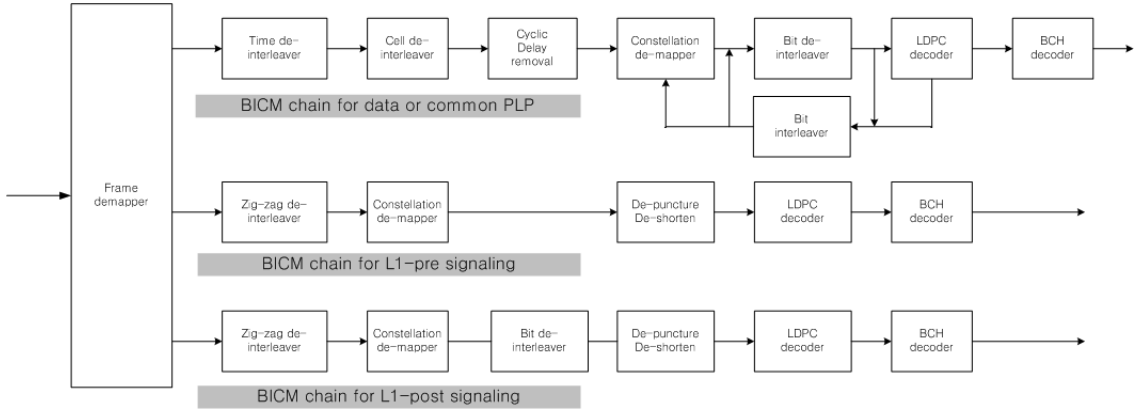


그림 4. DVB-T2 BICM 수신 모듈 구조^[1]

할 경우와 적용하지 않을 경우가 다르게 구현되며 각각의 경우는 다음과 같다.

- 성상회전을 적용하지 않은 경우
(LLR-demapping for non-rotated constellation)
I/Q 채널에서 LLR은 각각 다음과 같이 표현된다.

(i) I-channel

$$LLR(c_{I,k}) = \log \frac{\sum_{\alpha \in S_k^{(0)}} \exp\left(-\frac{(y_i - \alpha)^2}{2\sigma^2} \prod_{i \neq k} \text{Pr}_{LDPC}(c_i)\right)}{\sum_{\alpha \in S_k^{(1)}} \exp\left(-\frac{(y_i - \alpha)^2}{2\sigma^2} \prod_{i \neq k} \text{Pr}_{LDPC}(c_i)\right)} \quad (1)$$

(ii) Q-channel

$$LLR(c_{I,k}) = \log \frac{\sum_{\alpha \in S_{Qk}^{(0)}} \exp\left(-\frac{(y_i - \alpha)^2}{2\sigma^2} \prod_{i \neq k} \text{Pr}_{LDPC}(c_i)\right)}{\sum_{\alpha \in S_{Qk}^{(1)}} \exp\left(-\frac{(y_i - \alpha)^2}{2\sigma^2} \prod_{i \neq k} \text{Pr}_{LDPC}(c_i)\right)} \quad (2)$$

여기서 y_i 는 i 번째 수신 심볼이며, $c_{I,k}$, $c_{Q,k}$ 는 각각 I-채널, Q-채널의 k 번째 비트이며, $LLR(c_{I,k})$, $LLR(c_{Q,k})$ 는 해당하는 LLR 값이다. $S_{I,k}^{(j)}$ 과 $S_{Q,k}^{(j)}$ 는 각각 I 및 Q 채널에서 k 번째 비트가 $j(=0,1)$ 를 갖는 심볼들의 집합이다.

- 성상회전을 적용할 경우
(LLR-demapping for rotated constellation)

I/Q 채널이 서로 회전에 의한 상관관계를 가지므로 다음과 같이 I/Q 채널의 수신 신호를 모두 이용하여 아래의 (3) 과 같이 표현된다. 여기서 y_{Ii} , y_{Qi} 는 각각 수신된 i 번째 I 및 Q 채널 심볼이며 $S_k^{(j)}$ 는 k 번째 비트가 $j(=0,1)$ 를 갖는 심볼의 집합이다

$$LLR(c_k) = \log \frac{\sum_{\alpha \in S_k^{(0)}} \exp\left(-\frac{(y_{Ii} - \alpha)^2 + (y_{Qi} - \alpha)^2}{2\sigma^2} \prod_{i \neq k} \text{Pr}_{LDPC}(c_i)\right)}{\sum_{\alpha \in S_k^{(1)}} \exp\left(-\frac{(y_{Ii} - \alpha)^2 + (y_{Qi} - \alpha)^2}{2\sigma^2} \prod_{i \neq k} \text{Pr}_{LDPC}(c_i)\right)} \quad (3)$$

수식 (1),(2),(3)에서 $\text{Pr}_{LDPC}(c = k), k = 0, 1$ 는 0 또는 1에 대한 apriori 값으로 수식 (4)와 같이 LDPC 입력과 출력의 LLR ($LLR_{IN}(c_k)$, $LLR_{OUT}(c_k)$)에서 extrinsic LLR ($LLR_{EXT}(c_k)$)을 계산하고 이 값을 이용하여 수식 (5),(6)과 같이 apriori 확률을 계산한다.

$$LLR_{EXT}(c_k) = LLR_{OUT}(c_k) - LLR_{IN}(c_k) \quad (4)$$

$$\text{Pr}_{LDPC}(c_k = 0) = \frac{1}{1 + \exp^{LLR_{EXT}(c_k)}} \quad (5)$$

$$\text{Pr}_{LDPC}(c_k = 1) = 1 - \text{Pr}_{LDPC}(c_k = 0) \quad (6)$$

III. 전산 실험 결과

3.1 실험 환경

전산 실험의 파라미터는 표 1과 같다. AWGN 채널과 flat 페이딩 Rayleigh 채널에서 실험을 수행하였으며, common&data PLP에 대해서 LDPC 출력 FER 및 BER 성능을 비교하였다. LDPC 채널코딩은

표 1. 전산실험 파라미터

	Parameter	Options
1	Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
2	Coding	1/2, 5/6
3	FEC Type	16K, 64K
4	Rotation	True, False
5	Channel	AWGN, Rayleigh fading, 15% erasure channel
6	IDD	Genie aided[2]
7	LDPC iteration	100
8	LDPC algorithm	Sum product algorithm
9	Interleaver	Bit/Cell/Time interleaver

normal_FEC(64K)와 short_FEC(16K)을 사용하였으며, 채널 부호화율은 1/2과 5/6을 사용하였다. IDD의 구현은 genie aided 기법을 사용하여 구현하였다^[2]. 이와 같은 경우 LDPC 디코더에서 디매퍼로 입력에서 apriori 값이 정확하다고 가정한 것으로 IDD iteration을 무한히 수행하였을 경우 얻어지는 성능이다. AWGN 채널에서는 성상회전 및 IDD의 성능 이득이 거의 없으므로^[3], 성상회전 및 IDD 수신은 flat fading Rayleigh 채널과 15% erasure가 발생하는 채널에 적용하였다.

3.2 실험 결과

그림 5와 그림 6은 각각 AWGN 채널과 flat fading Rayleigh 채널에서 LDPC 출력 FER 성능을 변조지수와 채널코더 부호화율에 따라서 비교 실험한 결과이다. AWGN 채널에 대해서는 성상회전 및 IDD의 성

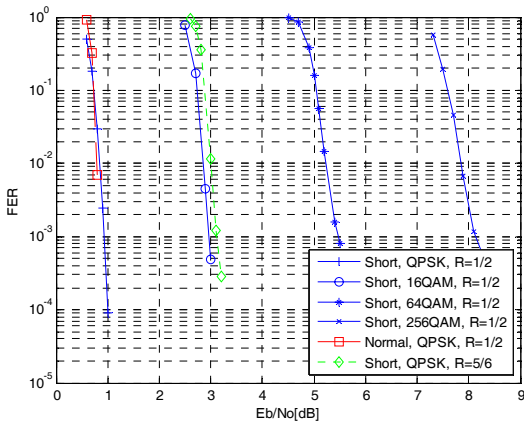


그림 5. AWGN 채널에서 common & data PLP 성능

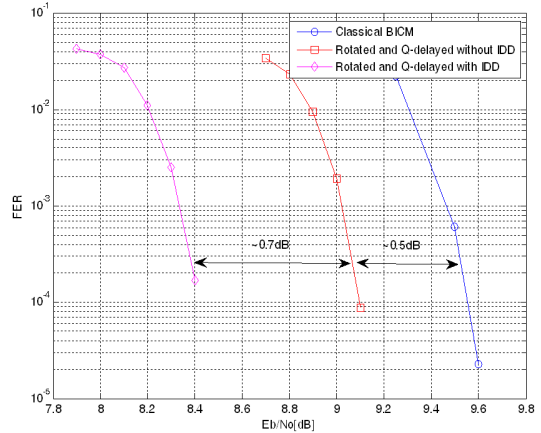


그림 6. Flat 페이딩 Rayleigh 채널에서의 common & data PLP 성능(16QAM)

능 이득이 거의 없는 것으로 알려져 있다^[3]. 그림 6.을 통해서 erasure가 없는 flat fading Rayleigh 채널의 경우, 성상회전을 적용할 경우, 적용하지 않은 시스템에 비해서 대략 0.5 dB 정도 Eb/No의 이득을 가지며 성상회전 및 IDD을 적용할 경우, 대략 1.2[dB] 정도의 그다지 큰 성능의 이득을 가지지 않음을 볼 수 있다. 반면에 그림 7을 통해 15%의 erasure가 있는 채널에서 성상회전을 적용할 경우 BER=10⁻⁴ 지점에서 대략 5dB의 성능이득이 있으며, IDD를 적용할 경우 3dB의 추가적인 이득이 있음을 볼 수 있다. 성상회전을 적용할 경우, I/Q 채널 중 한 채널의 신호가 소실될 경우, 소실되지 않은 다른 채널의 신호를 통해 어느 정도 복원이 가능하며, 이 기술과 함께 사용되어지는 Q-delay 기술은 Q-채널의 신호를 I-채널 신호에 비해서 한 심볼 지연시켜 보내기 때문에 I/Q 채널의 심볼

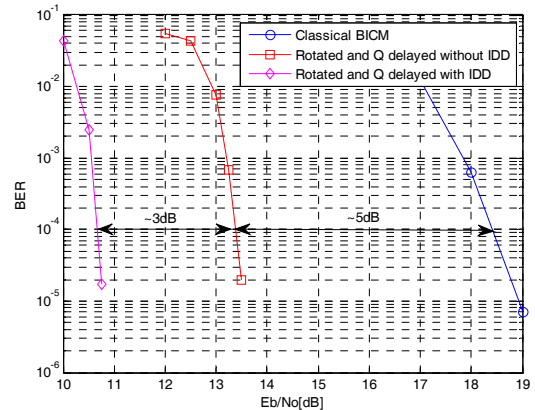


그림 7. 15% Erasure 채널에서의 common & data PLP 성능(16QAM, code rate = 1/2 (short frame))

이 동시에 deep 페이딩으로 소실이 되는 것을 방지하므로 성상회전과 Q-delay 기술은 erasure 채널에서 큰 성능의 이득을 가짐을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 AWGN 및 flat fading Rayleigh 채널 환경에서 iterative demapping and LDPC decoding 수신 기술을 적용한 차세대 유럽형 디지털 지상파 방송 시스템(DVB-T2) BICM 모듈의 FER 및 BER 성능을 전산 실험한 결과를 보여주고 있으며, flat fading Rayleigh 채널에서 성상회전을 적용할 경우, 대략 0.5 dB Eb/No의 이득이 있으며, IDD를 적요할 경우, 대략 1.2dB 정도의 성능이 이득이 있었고, 15% erasure 채널에서 성상회전과 IDD 기술이 각각 BER=10⁻⁴ 지점에서 5dB와 3dB의 Eb/No의 이득이 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] ETSI EN 302 755 V.1.1.1 : Digital Video Broadcasting(DVB); Frame structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television(DVB-T2), June 2008.
- [2] DVB Document A133: Implementation Guideline for a Second Generation Digital Terrestrial Broadcasting System(DVB-T2), Feb. 2009, www.dvb.org.
- [3] C. Abdel Nour and C. Douillard, "Rotated QAM constellations to improve BICM performance for DVB-T2," *IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, ISSSTA'08*, Bologna, Italy, Aug. 2008, pp.354-359.
- [4] M.C. Valenti, S. Cheng, and R. Iyer Seshadri, "Turbo and LDPC codes for digital video broadcasting," *Chapter 12 of Turbo Code Applications: A Journey from a Paper to Realization*, Springer, 2005

전 은 성 (Eunsung Jeon)

정회원



2005년 2월 연세대학교 전기전자공학부(학사)
 2007년 2월 연세대학교 전기전자공학과(석사)
 2007년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 <관심분야> Sphere decoder, MIMO iterative detection, W-CDMA system simulation, OFDM 동기 기술, DVB-T2.

서 정 욱 (Jeongwook Seo)

정회원



1999년 2월 한국항공대학교 정보통신과(학사)
 2001년 2월 한국항공대학교 정보통신과(석사)
 2010년 3월 연세대학교 전기전자공학과(박사)
 2001년~현재 전자부품연구원 모바일단말 연구센터 선임연구원

<관심분야> 통계적 신호처리, 방송통신시스템 설계

양 장 훈 (Janghoon Yang)

정회원



1996년 2월 연세대학교 전파공학과(학사)
 2001년 U.S.C. Dept of Electrical Engineering(석사)
 2001년 U.S.C. Dept of Electrical Engineering(박사)
 2001년~2006년 삼성전자 책임 연구원

2006년~2010년 연세대학교 공과대학 전기전자공학부 연구 교수

2010년~현재 한독미디어대학원 대학교 뉴미디어학부 조교수

<관심분야> CDMA, OFDMA, MIMO, Relay, Cross layer optimization, 간섭 채널, 정보이론, neural signal processing

김 동 구 (Dongku Kim)

중신회원



1983년 2월 한국항공대학교 통
신공학과

1985년 U.S.C. Dept. of
Electrical Engineering 석사

1992년 U.S.C. Dept. of
Electrical Engineering 박사

1994년~현재 연세대학교 전기

전자공학과 교수

<관심분야> CDMA 이동통신, 다중접속 기술, 변조
및 채널 부호화 기술, 스케줄링/MAC기술, 순방
향링크 빔성형 기술 및 MIMO기술, UWB,
Binary CDMA