

차세대 유럽형 디지털 지상파 방송 시스템 성능 분석

Performance Evaluation of a Next Generation European Digital Terrestrial Television Broadcasting System(DVB-T2)

전은성*, 서정욱**, 김동구*

Eun-Sung Jeon*, Jung-Wook Seo** and Dong-Ku Kim*

요 약

차세대 유럽형 디지털 지상파 방송 표준으로 알려진 DVB-T2 시스템은 ASO(Analogue Switch Off) 이후, HD급 이상의 고품격 방송 서비스 제공을 위해서 DVB 프로젝트에 의해 개발된 최신 유럽형 지상파 방송 표준이다. 본 논문에서는 DVB-T2 시스템의 전체적인 시스템 구조 및 특징을 대략적으로 기술하고, 다양한 채널환경에서 성능을 분석하였다. 실험에 사용한 채널은 AWGN 채널, 레일리 채널, 라이시안 채널, 0db-echo 채널이며, ETSI EN 302 755 표준에 따라서 제작된 Full 시뮬레이터를 통해 전산실험을 수행한 후, Implementation Guideline에서 제시하고 있는 성능과 비교 평가하였다.

Abstract

DVB-T2 system developed by DVB project is the next generation digital terrestrial television broadcasting standard designed for offering HDTV service in a post-Analog Switch Off (AOS) environment. In this paper, the performance of DVB-T2 is evaluated with the help of computer simulation. The bits error rate(BER) performance is studied in both AWGN, Rayleigh, Ricean and 0db-echo channel. Firstly, we will give a brief introduction to DVB-T2 system and then compare its BER performance to that of Implementation Guideline.

Key words : DVB-T2, Rayleigh Channel, Ricean Channel, 0dB-echo Channel

I. 서 론

DVB-T2(Digital Video Broadcasting - the Second Generation Terrestrial)은 HD급 이상의 고품격 방송 서비스 제공을 위한 최신 지상파 방송 표준으로 한정된 대역폭에서 기존의 DVB-T에 비해 30% 이상의 대비 전송 효율을 향상시켰다. 높은 오류 정정 능력과 다양한 오류 부호화율을 제공하기 위해서 BCH-LDPC 채널 코더 및 비트, 셀, 시간, 주파수의 인터리빙을

사용하며, 256QAM까지 변조가능하다. 또한 성상회전(rotated constellation), 분산 MISO 다이버시티와 같은 최신의 기술을 채택하였으며, 파일럿의 오버헤드를 줄이기 위해서 FFT 크기와 보호구간의 길이 따라서 다양한 파일럿 패턴을 사용하였다. DVB-T2 물리계층 시스템은 크게 채널 코딩과 인터리빙 및 변복조 기능을 수행하는 BICM 모듈과 OFDM 모듈로 구성되어 있다[1]. BICM 수신 모듈은 그림 1과 같이 BCH-LDPC 채널 인코더와 비트, 셀, 시간, 주파수 인

* 연세대학교 전기전자공학과

** KETI 모바일단말 연구센터

· 제1저자 (First Author) : 전은성

· 투고일자 : 2010년 12월 29일

· 심사(수정)일자 : 2010년 12월 30일 (수정일자 : 2011년 2월 18일)

· 게재일자 : 2011년 2월 28일

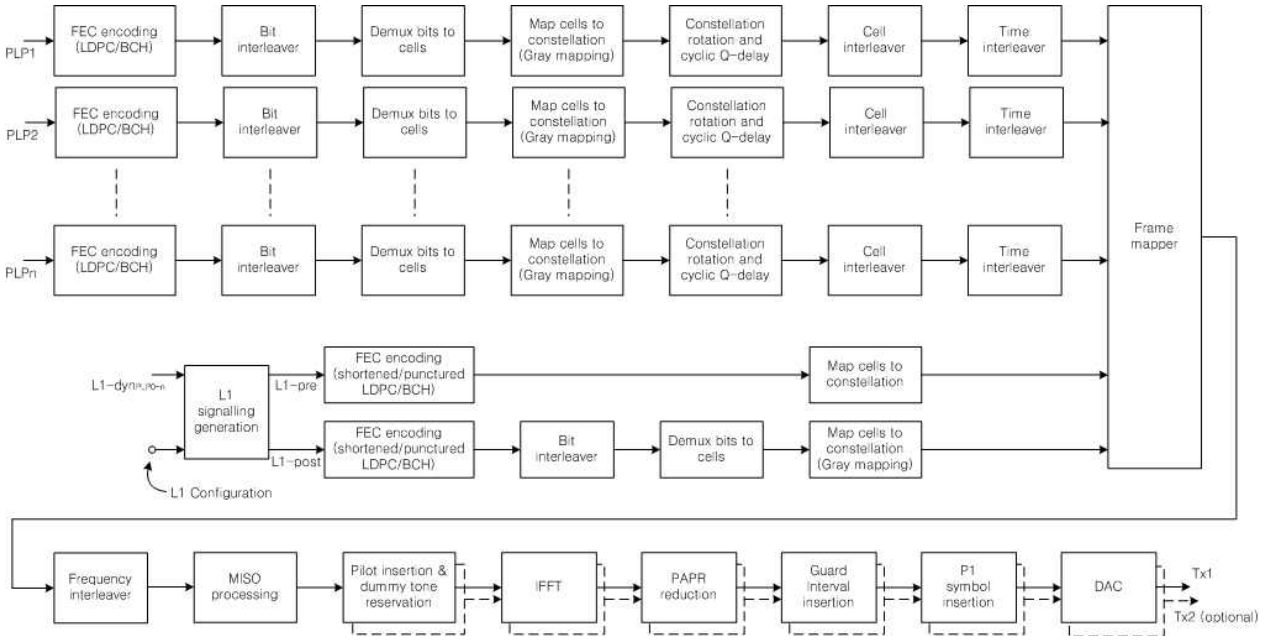


그림 1. DVB-T2 송신 블록도
Fig. 1. DVB-T2 transmitter block.

터리버로 구성되어 있으며, 하나의 방송 채널에서 다양한 오류 부호화율, 변조 지수, 비트, 셀, 시간, 주파수 인터리버를 사용하는 PLP(Physical Layer Pipe) 개념을 도입하였다. [6]에서 DVB-T2의 L1 신호에 대한 성능을 다양한 채널에서 분석하였으며 채널추정에 의한 성능열하는 고려하지 않았다. 반면에 본 논문은 PLP에서 입력되는 데이터 신호에 대해서 성능을 분석하였으며, 채널 추정에 의한 성능 열하에 대한 성능도 분석하였다.

본 논문의 II 장에서 DVB-T2 대략적인 시스템을 구조를 기술하고, III장에서 실험에 사용된 채널을 기술한 후, 표준에 따라 제작된 Full 시뮬레이터의 전산실험 결과를 Implementation Guideline[2]에서 제시하고 있는 성과와 비교 평가한다. 그리고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. DVB-T2 시스템

2-1 BCH-LDPC 오류정정

DVB-T가 길쌈코드(convolution encoder)과 Reed-Solomon 코드를 사용한 반면, DVB-T2는

DVB-S2와 마찬가지로 BCH와 LDPC 코드 기술을 사용한다. FEC(Forward Error Correction)블록의 길이에 따라서 64,800 비트의 normal 프레임과 16,400 비트의 short 프레임으로 구분된다. 1/4(short 프레임만 해당), 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6의 7가지의 부호화율을 정의하며, 1/4 부호화율은 시스템 정보를 전송하는 L1 시그널링에만 적용된다.

2-2 인터리버

LDPC 코드는 랜덤하게 분포하는 비트에러에 대해서 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 무작위 패턴의 에러를 발생시키도록 인터리버를 사용한다. 비트, 셀, 시간, 주파수의 4가지 인터리버를 사용한다. 비트, 시간 인터리버는 블록 인터리버 계열이며, 셀, 주파수 인터리버는 permutation 함수를 통해 인터리빙을 수행된다. 비트, 셀 인터리버가 한 FEC 블록 내에서 에러를 랜덤화하기 위해 사용되는 반면, 시간, 주파수는 다수개의 FEC 블록들로 구성된 인터리빙 프레임 내에서 에러를 랜덤화하기 위해 수행된다. 주파수 인터리버는 OFDM 한 심볼 내에서 인접한 데이터 셀들을 랜덤화하기 위해서 사용한다.

2-3 성상회전

레이리 페이딩 채널에서 deep fading에 신호가 빠질 경우, 신호 자체가 소실될 수 있다(erasure). 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). Q-delay 기술은 성상회전 기술과 함께 사용되어지며, Q-채널의 신호를 I-채널 신호에 비해서 한 심볼 지연시켜 보내는 기술로서 I/Q 채널의 심볼이 동시에 deep 페이딩으로 소실이 되는 것을 방지한다. 회전각은 변조지수에 따라서 QPSK는 29°, 16-QAM, 64-QAM 그리고 256-QAM 는 각각 16.8°, 8.6°, atan(1/16) 만큼 회전시킨다.

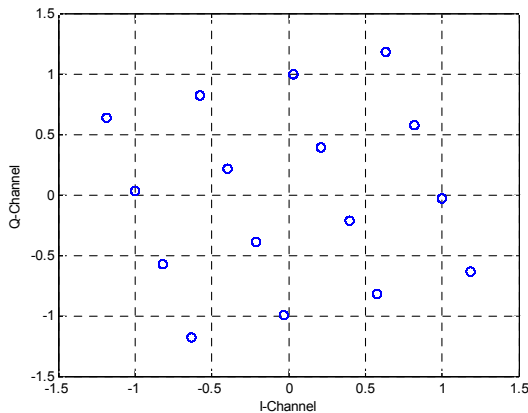


그림 2. 16QAM 성상회전
Fig. 2. Constellation rotation for 16QAM

2-4 L1 시그널링과 프레임 빌더

L1 시그널링은 P1 심볼과 L1-pre 신호와 L1-post 신호로 구성된다. P1 심볼은 프레임의 시작 신호로서 프레임의 대략적 시간 동기 및 소수배 및 정수배 주파수 동기를 추정하는데 적합하도록 설계가 되어 있으며, 7비트의 기본적인 시스템 정보를 전송한다. L1-pre 신호는 200비트의 고정된 길이의 시스템 정보를 전송하며, L1-post 신호는 시스템 정보에 따라서 전송되는 정보 비트 길이가 가변적이다. L1-pre 신호는 무선 채널의 에러에 강인한 전송을 위하여 BPSK 변조와 1/4 부호화율(short 프레임)을 적용하고, L1-post 신호는 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 변조를 적용하며, 1/2 부호화율(short 프레임)을 사용한다.

최대 255개의 T2 프레임이 하나의 슈퍼 프레임을 구성하며, T2 프레임은 그림 3과 같이 P1 심볼, L1 시그널링(L1-pre, L1-post)로 구성된다. L1-post 신호는 다시 Configurable 파트와 Dynamic 파트 그리고 Extension, CRC32, 1비트의 L1-padding으로 나뉘어진다. L1-pre 신호와 L1-post Configurable 파트 신호는 슈퍼 프레임동안 변하지 않는 시스템 정보를 전송하고 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 시그널링과 함께 PLP로 생성되는 데이터는 프레임 빌더에서 T2 프레임으로 매핑된다.

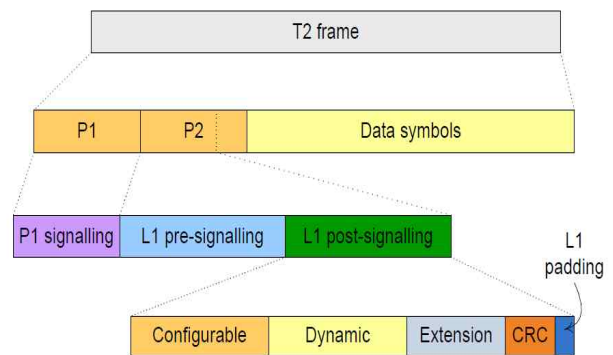


그림 3. T2 프레임 구조
Fig. 3. T2 frame structure

2-5 FFT 크기와 보호구간 길이

정의되는 FFT 크기는 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K의 총 6개의 FFT 크기를 가지며, 보호구간의 길이는 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4를 사용한다. 다양한 길이의 보호구간을 정의하고 있어서 오버헤드를 기존의 DVB-T에 비해서 줄일 수 있다. 32K는 부반송파 사이의 거리가 짧기 때문에 ICI 영향이 크므로 이동수신에서는 사용하지 않는다.

2-6 파일럿 패턴 및 채널추정

P2 파일럿, 분산 파일럿(scatter pilot), 연속 파일럿(continual pilot), Edge 파일럿, Frame closing 파일럿

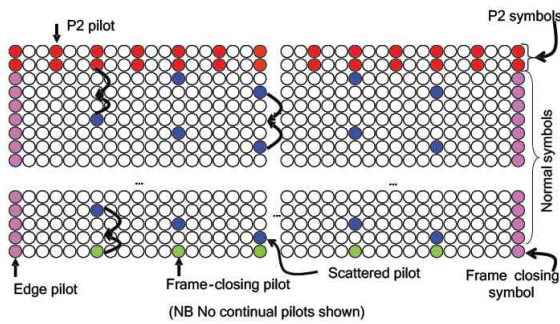


그림 4. 파일럿 패턴과 주파수 채널 추정

Fig. 4. Pilot pattern and Freq. channel estimation

를 사용하며, 분산 파일럿은 PP1에서 PP8까지 FFT 크기와 보호구간 길이에 따라서 8개의 패턴을 가진다(그림 4. 참조) 채널의 추정은 주어진 파일럿을 사용하여 다음과 같은 LS(least square) 채널 추정 기법을 사용하며, 주파수축 선형 보정(frequency linear interpolation)과 시간축 선형 보정(temporal linear interpolation)을 사용하여 데이터 셀에 대한 채널을 추정한다[7].

$$H'_{k,l} = \frac{Y_{k,l}}{X_{k,l}} = H_{k,l} + \frac{N_{k,l}}{X_{k,l}} \quad (1)$$

여기서 k 과 l 은 각각 심볼 및 셀 인덱스이며 $H'_{k,l}$, $Y_{k,l}$, $X_{k,l}$ 은 주어진 인덱스에서의 추정된 채널의 주파수 응답, 수신 셀, 파일럿 셀이다.

2-7 PAPR 감쇄기법

DVB-T2에서는 송신되는 OFDM 심볼의 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 줄이기 위해서 ACE(Active Constellation Extension) 방법과 TR(Tone Reservation) 두 기술을 사용한다[4],[5]. ACE는 일정 크기 이상의 피크(peak)를 클리핑(Clipping)하고 왜곡된 성상도에 대해서 성능 열하가 없도록 바깥쪽 성상들을 동적으로 확장시키며, TR은 약 1% 정도의 부반송파를 사용하여 PAPR을 줄이는 기법이다.

ACE는 낮은 레벨의 변조를 사용한 데이터에서 사용되며, TR은 높은 레벨의 변조를 사용할 때 장점이 있으며, 성상회전 기법과 ACE은 동시에 사용될 수 없다.

2-8 LLR 디매핑

DVB-T2는 앞 절에서 언급한 바와 같이 성상회전 기법을 선택적으로 사용할 수 있으며, 성상회전을 사용할 경우와 사용하지 않을 경우, LLR(log likelihood ratio) 디매핑(demapping)방법이 다음과 같이 서로 다르게 구현된다.

- 성상회전을 적용하지 않을 경우

$$LLR(c_k) = \log \frac{\sum_{\alpha \in S_k^{(0)}} \exp\left(-\frac{(y_i - \alpha)^2}{2\sigma^2}\right)}{\sum_{\alpha \in S_k^{(1)}} \exp\left(-\frac{(y_i - \alpha)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (2)$$

여기서 y_i 는 i 번째 수신 셀이며, c_k 셀의 k 번째 비트이며, $LLR(c_k)$ 해당하는 LLR값이다. $S_k^{(j)}$ 과 $S_{Q,k}^{(j)}$ 는 k 번째 비트가 $j(=0,1)$ 를 갖는 셀들의 집합이다.

- 성상회전을 적용한 경우

I/Q 채널이 서로 회전에 의한 상관관계를 가지므로 다음과 같이 I/Q 채널의 수신 신호를 모두 이용하여 아래의 (3)과 같이 표현된다.

$$LLR(c_k) = \log \frac{\sum_{\alpha \in S_k^{(0)}} \exp\left(-\frac{(y_{Li} - \alpha_I)^2 + (y_{Qi} - \alpha_Q)^2}{2\sigma^2}\right)}{\sum_{\alpha \in S_k^{(1)}} \exp\left(-\frac{(y_{Li} - \alpha_I)^2 + (y_{Qi} - \alpha_Q)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (3)$$

여기서 y_{Li} , y_{Qi} 는 각각 수신된 i 번째 I 및 Q 채널 셀이며 $S_k^{(j)}$ 는 k 번째 비트가 $j(=0,1)$ 를 갖는 셀의 집합이다. [2]에서 언급한 바와 같이 LDPC 디코더와 디매핑 간 apriori 정보를 주고받는 iterative demapping and decoding 기법을 적용할 경우, 디매핑의 복조 성능을 향상시킬 수 있으나 본 논문에서는 적용하지 않았다.

Ⅲ. 채널 모델링

3-1 가우시안 채널

오직 하나의 경로만 있는 경우로, 백색 가우시안 잡음만 신호만 첨가된다.

3-2 레일리 채널

이동 실내 또는 실외 수신 환경을 고려하며, 도플러는 고려하지 않는다. 21개의 채널 탭으로 구성된 채널 모델은 다음과 같다.

$$y(t) = k \sum_{i=1}^N \rho_i e^{-j\theta_i} x(t - \tau_i) \quad (4)$$

여기서 k 는 다음과 같다.

$$k = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \rho_i^2}} \quad (5)$$

표 2. 에 채널 프로파일이 정의되어 있으며 ρ_i , τ_i , θ_i 은 각각 채널 탭의 상대전력, 지연 그리고 위상이다.

3-3 라이시안 채널

고정 옥외 지붕 위 수신을 가정한다. 도플러 주파수 천이는 고려하지 않는다. 채널모델은 다음과 같다.

$$y(t) = \frac{\rho_0 x(t) + \sum_{i=1}^N \rho_i e^{-j\theta_i} x(t - \tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^N \rho_i^2}} \quad (6)$$

라이시안 지수(Ricean factor)는 다음과 같이 정의한다.

$$K = \frac{\rho_0^2}{\sum_{i=1}^N \rho_i^2} \quad (7)$$

본 논문에서 $K = 10dB$ 를 사용하였다.

3-4 0dB-Echo 채널

2개의 탭만을 가지고 있으며, 채널 프로파일은 테이블 2와 같다.

표 1. 레일리, 라이시안 채널의 채널 모델
Table 1. Rayleigh and Ricean profile

i	ρ_i	τ_i	θ_i
1	0,057662	1,003019	4,855121
2	0,176809	5,422091	3,419109
3	0,407163	0,518650	5,864470
4	0,303585	2,751772	2,215894
5	0,258782	0,602895	3,758058
6	0,061831	1,016585	5,430202
7	0,150340	0,143556	3,952093
8	0,051534	0,153832	1,093586
9	0,185074	3,324866	5,775198
10	0,400967	1,935570	0,154459
11	0,295723	0,429948	5,928383
12	0,350825	3,228872	3,053023
13	0,262909	0,848831	0,628578
14	0,225894	0,073883	2,128544
15	0,170996	0,203952	1,099463
16	0,149723	0,194207	3,462951
17	0,240140	0,924450	3,664773
18	0,116587	1,381320	2,833799
19	0,221155	0,640512	3,334290
20	0,259730	1,368671	0,393889

표 2. 0dB-Echo 채널 모델
Table 2. 0dB-Echo profile

i	α_i	τ_i	Δf_i
1	0	0	0
2	0	0.9Δ	0

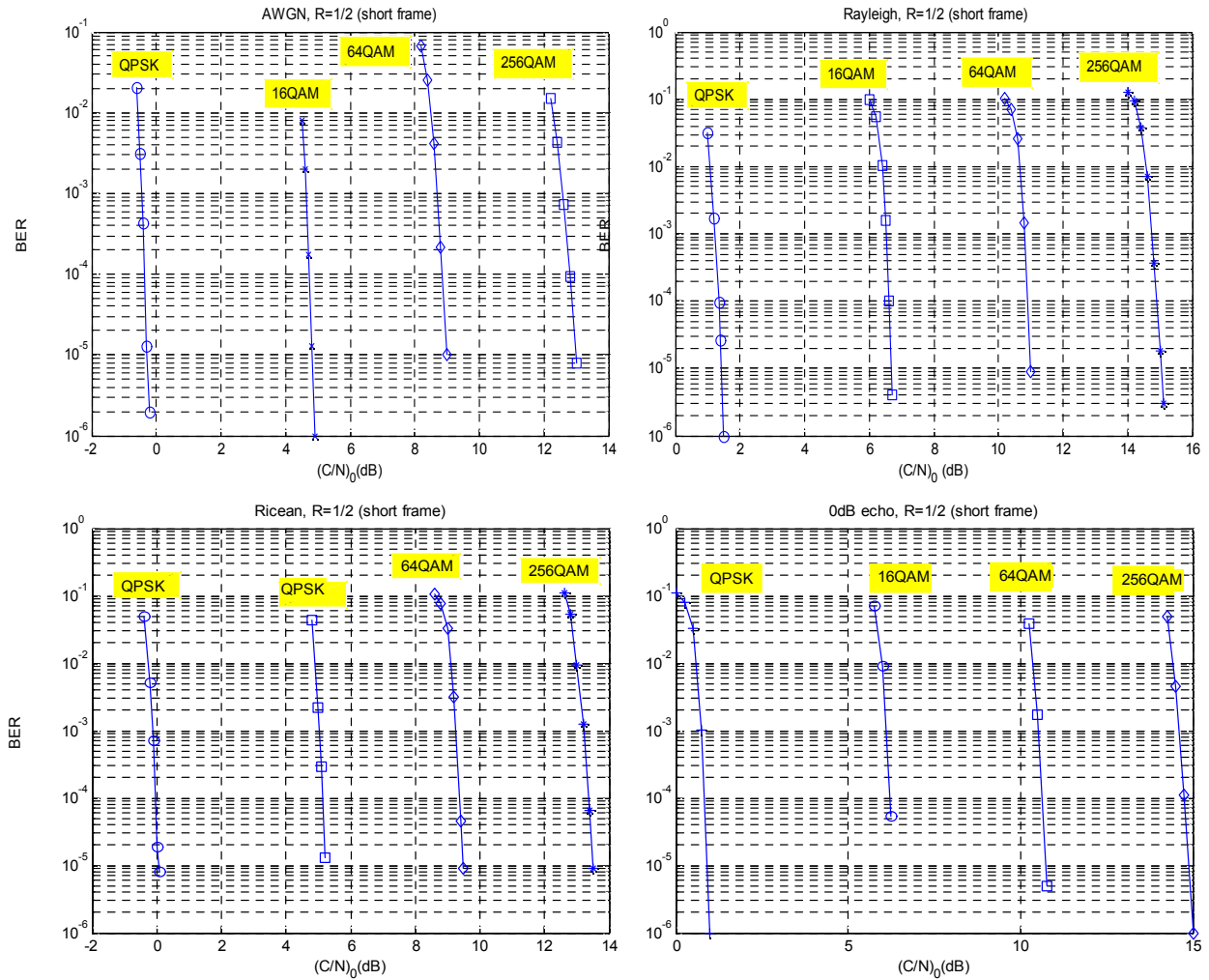


그림 5. BER 성능 (a) AWGN 채널, (b) Rayleigh 채널, (c) Ricean 채널, (d) 0dB-Echo 채널
 Fig. 5. BER performance (a) AWGN channel, (b) Rayleigh channel, (c) Ricean channel, (d) 0dB-Echo channel

표 3. LDPC 출력단에서 BER = 10⁻⁴을 만족하는 (C/I)(db) [기준치 / 실험치]
 Table 3. Required (C/N)(dB) for BER= 10⁻⁴ after LDPC [I.G. / Sim.]

Modulation	Gaussian channel	Rayleigh channel	Ricean channel	0dB-echo channel
QPSK	0.4 / -0.8	1.5 / 1.7	0.7 / 0.0	1.2 / 0.9
16-QAM	5.2 / 4.8	6.6 / 6.5	5.5 / 5.3	6.3 / 6.3
64-QAM	8.7 / 8.7	10.7 / 10.9	9.1 / 9.5	10.5 / 10.5
25-6QAM	12.1 / 12.9	14.4 / 14.9	12.4 / 13.1	14.3 / 14.9

IV. 전산실험 결과

BER=10⁻⁴에서를 만족하는 요구되는 C/N (carrier to noise ratio)를 구하기 위해서 50개의 FEC 블록의 에러를 얻을 때까지의 시뮬레이션을 구동하였다.

QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM에서 16,200 비트 길이(short frame) 코드 부호화율 1/2로 하였다. 정상 회전, PAPR 감쇄기법은 고려하지 않았고, 파일럿

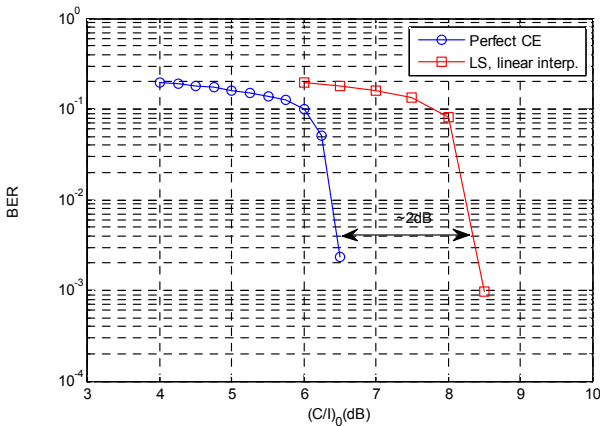


그림 6. 채널 추정을 고려한 BER 성능
 (레이리 채널, QPSK, R=1/2(short), 2K, PP=5, GI=1/6)
 Fig 6. BER performance with channel estimation (Rayleigh,
 QPSK, R=1/2(short), 2K, PP=5, GI=1/6)

전력은 데이터 전력과 동일하게 설정하였다. 모든 성능은 LDPC 출력 단에서 측정하였다. 채널 추정 및 시간 및 주파수 동기는 정확하다고 가정하였다. FFT 크기는 2K, 보호구간 길이는 1/32, 파일럿 패턴은 PP4를 사용하였다. LDPC 디코더 알고리즘은 Sum product algorithm(SPA)를 사용하였다[3].

표 3.는 Implementation Guideline에서 제시하고 있는 성능과 실험에서 구한 성능의 비교하였다. LDPC 출력 단에서 BER=10⁻⁴을 만족하는 (C/N)(dB) 값을 비교하였으며, Implementation Guideline에서 제시하고 있는 성능과 약 0.8 dB 이내의 성능 차이를 가짐을 볼 수 있다. 이와 같은 성능 차이는 T2 프레임 매핑 방식과 LDPC 디코더의 구현 시 사용하는 알고리즘의 차이로 보인다.

그림 6.은 채널 추정을 고려한 BER 성능이다. QPSK 변조와 파일럿 패턴은 PP=5를 사용하였으며, 보호구간의 길이는 전체 심볼 길이의 1/16이다. 레이리 채널에서 채널 부호화율은 1/2(short frame)이며, FFT 사이즈는 2K이다. 앞절에서 언급한 LS 채널 추정기를 사용했으며, 주파수축 선형 보간과 시간축 선형 보간을 이용하였다. 채널 추정을 적용할 경우, 그림 6.과 같이 대략적으로 2dB의 성능 열차가 있음을 볼 수 있다.

V. 결 론

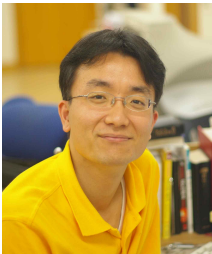
본 논문은 차세대 유럽형 지상파 방송 시스템인 DVB-T2 시스템을 표준 문서인 ETSI EN 302 755를 따라 제작된 full 시뮬레이터를 사용하여 다양한 채널 환경에서 성능을 실험하여, Implementation Guideline에서 제시하고 있는 성능과 비교하였다. 본 논문에서는 도플러에 의한 시변 채널을 고려하지 않고 고정 채널 환경만을 고려하였으나, DVB-T2가 도플러에 성능이 민감한 32K의 FFT 크기를 지원하는 점과 아직 시변 채널에 대한 성능 가이드라인이 없는 점을 고려하여, 시변 채널 환경에서의 성능 검증에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 보인다. 또한 MISO 다이버시티 기법을 사용한 MISO 채널에 대한 연구도 추후 연구과제로 보인다.

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] 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.
- [4] B. S. Krongold and D. L. Jones, "PAR Reduction in OFDM via Active Constellation Extension," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 49, no. 3, Sept. 2003, pp. 258-68.
- [5] Mohamad Mroue, Amor Nafkha, Jacques Palicot Benjamin Gavalda and Nelly Dagorne, "Performance and Implementation Evaluation of TR PRPR Reduction Method for DVB-T2", *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, Vol. 2010.

- [6] T. Jokela, M. Tupala, and J. Paavola, "Analysis of Physical Layer Signaling Transmission in DVB-T2 Systems", *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 56, no. 3, Sep. 2010.
- [7] M. Hsieh and C. Wei, "Channel estimation for OFDM systems based on comb-type pilot arrangement in frequency selective fading channels," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 44, no. 1, pp. 217-225, Feb. 1998.

전 은 성 (全恩成)



2005년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부(공학사)
 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과(공학석사)
 2007년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 관심분야 : Sphere Decoder, MIMO

Iterative Detection, W-CDMA System Simulation, OFDM 동기기술, DVB-T2

서 정 욱 (徐廷郁)



1999년 2월 : 한국항공대학교 정보통신과(공학사)
 2001년 2월 : 한국항공대학교 정보통신과(공학석사)
 2010년 3월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 2001년 3월~현재 : 전자부품연구원

모바일 연구센터 선임연구원

관심분야 : 통계적 신호처리, 방송통신시스템 설계

김 동 구 (金東九)



1983년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과

1985년 : USC. Dept. of Electrical Engineering 석사

1992년 : USC. Dept. of Electrical Engineering 석사

1994년 ~현재 : 연세대학교 전기

전자공학부 교수

관심분야 : CDMA 이동통신, 다중접속 기술, 변조 및 채널 부호화 기술, 스케줄링/MAC기술, 순방향링크 빔성형 기술 및 MIMO기술, UWB, Binary CDMA