

차세대 유럽형 디지털 케이블 방송 표준 DVB-C2 시스템 성능평가

준회원 임형묵*, 윤재선*, 정회원 백종호**, 종신회원 송형규*

Performance Evaluation of DVB-C2 - The Standard for Next Generation Digital Cable Broadcasting

Hyoung-Muk Lim*, Jae-Seon Yoon* *Associate Members*,
Jong-Ho Paik *Regular Member*** Hyoung-Kyu Song* *Lifelong Member*

요 약

차세대 유럽형 디지털 케이블 TV 표준인 DVB-C2는 LDPC와 BCH를 이용하고 더욱 높은 차수의 변조를 이용하여 에러 정정능력 및 전송 유효율을 높이고, OFDM 기술을 기반으로 하여 대역폭 사용 효율을 높인 기술로서 기존의 아날로그 케이블 방송을 대체할 획기적인 기술 방식이다. 본 논문에서는 DVB-C2 전체적인 시스템 구조와 함께 송수신구조를 알아보고, 기존의 DVB-C와 비교하여 DVB-C2의 대역폭 효율에 대해서 알아본다. 마지막으로 DVB-C2의 BICM 구조를 기초로 OFDM 구조를 적용한 시뮬레이터를 통하여 얻은 결과에 DVB-C2 Implementation Guidelines 에서 제시한 성능과 비교 평가해 본다.

Key Words : DVB-C2, OFDM, Cable, Broadcasting, LDPC, BCH

ABSTRACT

DVB-C2 is the next generation digital broadcasting standard which will replace the analog cable broadcasting. LDPC and BCH significantly increase performance of forward error correction and allows for the application of higher constellation. Additionally, DVB-C2 is based on OFDM instead of single-carrier modulation, which gives additional flexibility and robustness in typical cable channels. This paper will give an introduction to the DVB-C2 system and spectral efficiency of DVB-C2 compare with DVB-C. Finally, The the simulation which is using BICM and OFDM structure show the performance of the DVB-C2.

I. 서 론

HFC(Hybrid Fiber Coaxial)을 이용한 네트워크는 광대역 통신 서비스의 이상적인 환경을 제공하였다. 통신 대역을 단지 아날로그 TV의 방송에만 사용 하였던 과거와는 다르게 디지털 방송 표준 기술과 MPEG-2와 같은 비디오 압축 기술 등이 발전된 지금은 다양한 디지털 방송 프로그램 제공이 가능해 졌다. 많은 케이블 네트워크는 아직도 아날로그 프로그램을

사용하고 있으며, 전화, 인터넷, 그리고 TV 방송서비스가 함께 공존하고 있다. 그리고 많은 케이블을 이용한 네트워크는 양방향 통신이 가능하도록 발전할 것이며, HD급의 서비스를 제공함으로써 더욱 높은 전송율이 필요로 하게 될 것이다. 이런 요구를 만족시키기 위하여 DVB-C2 표준은 디지털 신호를 이용한 방송에서 더욱 강력한 에러 정정 기법을 이용하여 전송율을 높이고 OFDM을 기반으로 하여 더욱 효율적으로 주파수 대역을 사용하는 차세대 유럽형 디지털 방송

* 세종대학교 정보통신공학과 (songhk@sejong.ac.kr), ** KETI 모바일단말연구센터
논문번호 : KICS2010-09-460, 접수일자 : 2010년 9월 27일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 3일

표준 기술이다.

본 논문에서는 기본적인 DVC-C2의 개요를 제 2장을 통해 알아본 뒤, 제 3장을 통하여 송수신 구조와 함께 FEC와 변조 기법에 대해 알아본다. 그리고 4장에서 수신 단에서의 LDPC와 BCH 복호화 기법에 대하여 알아 본다. DVB-C와 비교한 대역폭 효율을 제 5장에서 알아보고, 제 6장에서 기본적인 송수신 구조에 대하여 모의 실험을 통하여 성능을 평가해본 뒤, 마지막으로 제 7장에서 결론을 맺는다.

II. DVB-C2 시스템 개요

최근 유럽에서 여러 방면에서 사용되고 있는 DVB 계통의 차세대 물리 계층은 DVB-S2/T2/C2로 총 3가지 전송방식으로 나누어져 있다. 이들 DVB 2.0 물리 계층 송수신 규격의 주된 목적중 하나는 서로 다른 세 가지 전송 방식의 규격들에 대하여 여러 구조들을 최대한 공유하여 사용하는데 있다. DVB 2.0 물리 계층의 송수신 규격에서는 Bose Chaudhuri Hocquenghem (BCH) 코드와 함께 Low Density Parity Check (LDPC) 코드를 결합하여 사용하는 Forward Error Correction(FEC) 기법을 사용하고 있다.

그림 1은 DVB-C2 시스템의 기본적인 구조를 나타낸 것이다. 여기서 앞단의 Input processing 과 Bit interleaved Coding & Modulation (BICM)은 DVB 2.0 물리계층의 공통 규격이다. 일반적으로 바라보았을 때 DVB-C2 시스템 구조는 크게 총 4블록으로 나누어 볼 수 있다. DVB-C2 시스템은 기본적으로 하나 또는 여러개의 MPEG-2 Transport Stream(TS)와 Generic Stream(GS)을 입력이 가능하도록 되어 있으며, 그림 1과 같이 시스템 앞에 Input processor 블록을 통하여 하나 또는 다중의 논리적인 단위로 분리하게 된다. 그리고 분리된 각각의 단위들은 Physical Layer Pipes(PLPs)의 형태로 전달되게 된다. 이 PLP 들은 하나 또는 여러 그룹으로 묶이고 이들은 하나의 Data Slice를 형성하게 된다. 이렇게 PLP를 기본으로 한 Data Slice들이 DVB-C2 시스템의 기본 구성 요소

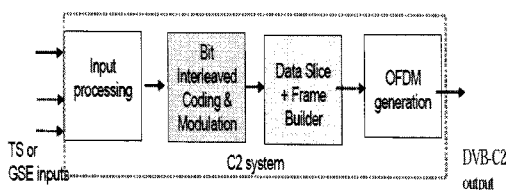


그림 1. 상위레벨 DVB-C2 시스템 구조도

가 된다.

III. DVB-C2 시스템 송수신 구조

3.1 DVB-C2 시스템 송신 구조

그림 2는 DVB-C2의 송신 구조를 간략하게 나타낸 것이다. DVB 2.0 물리계층은 시스템의 기본 단위로 PLP를 채용 하고 있다. PLP는 일반적인 MPEG-TS 뿐만 아니라, GS Encapsulation(GSE) 프로토콜로 불리는 IP 데이터를 포함하고 있는 기본적인 채널이다.

각각의 PLP는 그림 2와 같이 Input processing 블록, FEC 블록 및 Quadrature Amplitude Modulation (QAM) Mapping 블록을 거친 후에 하나 또는 여러 개의 PLP들은 Data Slice를 구성하게 된다. Data Slice는 연접 오류 와 협대역 간섭의 영향을 줄이기 위하여 시간 및 주파수 인터리버를 적용하게 된다. 여러 Data Slice들과 Layer 1(L1) 신호가 포함된 프리엠블이 결합하여 DVB-C2 프레임을 형성하게 되고 최종적으로 OFDM 신호로 변환을 하게 된다.

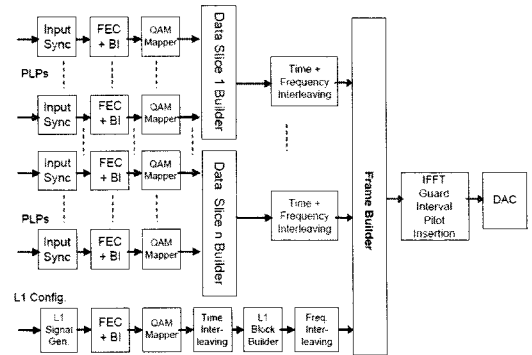


그림 2. DVB-C2 시스템 송신 구조

3.2 PLP(Physical Layer Pipe)

DVB 2.0 방송 시스템에서 도입된 PLP 개념은 하나의 물리적인 방송 채널을 여러 개의 독립된 논리적인 채널로 전송을 가능하게 하는 것으로, 각각의 PLP는 MPEG-2 TS 또는 GSE를 포함하게 된다. PLP가 전송되었을 때 수신단에서는 헤더에서 제공하는 PLP ID를 통하여 데이터 패킷의 복호화 여부를 판단할 수 있어 효과적으로 수신 전력을 줄일 수 있다. 또한, DVB-C2 시스템은 그림 2와 같이 하나의 논리적인 방송 채널에 대해서 각각 서로 다른 변조 방식, 채널 부호화율, 시간 및 셀 인터리빙 길이등을 적용함으로써 다양한 방송 서비스가 가능해 진다. 결과적으로 서로 다른 서비스 마다 다양한 Quality of Service(QoS) 수

준을 적용할 수 있고, 각각의 네트워크 환경에 적합한 전송 품질의 유지가 가능하게 된다. 만약 전송단에서 사용자의 수신단 까지의 채널 환경의 특성을 알고 있다면, 데이터 전송률을 최적화 할 수 있게 된다. 그리고 리턴 채널을 통하여 최적의 주파수 효율을 얻을 수 있다.

3.3 FEC and Modulation

DVB-C2에서는 DVB-T2 및 DVB-S2에 적용된 것과 동일한 LDPC 기법을 사용하게 된다. 이 기법은 60 년대에 발견 되었지만, 반도체 제조기술의 발전이 이루어진 지금 실제 구현이 가능하게 되었다. LDPC는 DVB-C에서 사용하는 Reed Solomon(RS) code 와 비교하였을 때 동일한 부호화율 에서도 더욱 막강한 에러 정정 능력을 가진다. 또한 LDPC codeword 의 길이를 길게 함으로서 더 높은 성능을 가지게 된다. 이러한 이유로 DVB-C2 에서는 codeword의 길이를 64800 bits로 사용한다. 그래서DVB-C2는 MPEG-2 TS packet뿐만 아닌 다른 packet 형식의 data stream 에 대하여 지원이 가능해 졌다.

BICM 블록에서는 내부 코딩에 LDPC를 사용하며 외부 코딩으로 BCH 코딩을 사용한다. BCH 코딩을 통하여 전체의 bit stream 의 1퍼센트 정도에 해당하는 여분의 비트를 덧붙이게 된다. 이것은 낮은 오류 정정 능력을 가지고 있으며, LDPC 디코더 후에 발생하는 error-floor를 방지할 수 있다.

표 1은 quasi error-free reception에서의 필요한 Signal-to-noise-ratios(SNR)을 다양한 변조기법과 부

표 1. 가능한 QAM 기법과 code rate(CR)의 조합

CR	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM	4096QAM
2/3	-	13.5dB	-	-	-
3/4	-	-	20.0dB	24.8dB	-
4/5	10.7dB	16.1dB	-	-	-
5/6	-	-	22.0dB	27.2dB	32.4dB
9/10	12.8dB	18.5dB	24.0dB	29.5dB	35.0dB

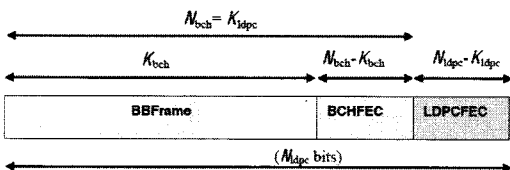


그림 3. FEC 코딩후의 데이터의 형태

호화율 간의 조합에 따라 나타낸 것이다. DVB-C에서는 주로 256QAM 기법을 사용하였으나, DVB-C2에서는 1024QAM과 4096QAM이 추가 되었다. 높은 성능의 에러 정정 능력은 높은 차수의 변조를 사용을 가능하게 하였고, 채널 상태에 따라 변조기법과 부호화율의 다양한 조합이 가능하게 되었다.

3.4 DVB-C2 Framing and OFDM

Single-carrier QAM 변조 기법을 사용하는DVB-C와는 다르게 DVB-C2는 OFDM을 사용한다. OFDM은 최신의 방송이나 양방향 통신 기술에서 적용되어 있으며, 다중경로 또는 협대역 간섭에 강인한 것으로 알려져 있다. 처음 세대의 DVB-T에서 이미 OFDM을 개발 하였으며 DVB-T2에서 확장과 개선되어 사용되었다. DVB-C2는 DVB-T2의 OFDM의 매개변수에 대하여 케이블 환경에 맞도록 하여 재 사용 하였다. 이러한 결과로 기존의 에러 정정 기법 블록과

같은 부분에 대하여 동일하게 사용이 가능해졌다. DVB-C2의 OFDM에서는 DVB-T2와 동일한 4K FFT 모드를 사용했다. 즉 유효한 OFDM심벌의 길이는 448 μ s 가 된다. 전체 심벌 길이의 1/64 또는 1/128의 길이를 가지는 Guard Interval (GI)을 옵션으로 사용할 수 있다. 또한 DVB-T2와 동일한 채널 추정 블록과 파일럿 패턴을 사용한다.

DVB-C2의 특징 중 하나는 신호 생성 시 다양한 대역폭을 가질 수 있다는 것이다. 다양한 필터 계수와 시스템 클럭을 유지하며 OFDM 특정 부분송파들을 지정함으로써 이루어 내었다. 이런 결과로 송신단에서는 많은 서비스를 포함하기 위하여 신호의 대역폭을 확장할 수 있다. 수신기의 구현 복잡도와 가격 측면을 고려하여 일본 지상파 방송 표준인 ISDB-T에서 사용된 분할된 OFDM 수신을 적용하였다. 수신기는 기존의 6 또는 8 MHz의 TV 튜너 대역을 이용하여 광대역 전송 신호에서 원하는 일부 서비스만을 추출해 낼

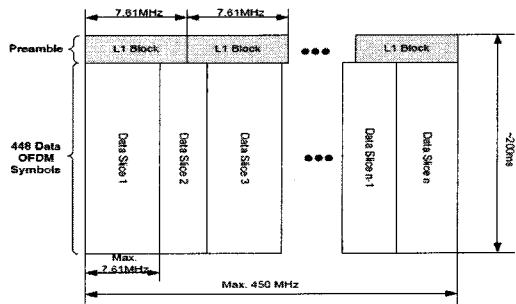


그림 4. 시간, 주파수 축에서의 DVB-C2 Frame

수 있다. 이것은 Data Slice가 기존 대역폭을 넘지 않도록 구성되어 있기 때문이다.

매 C2 프레임은 하나 이상의 OFDM 심벌로 구성된 프리엠블로부터 시작된다. 프리엠블은 2가지의 주요 기능을 하는데, 하나는 OFDM 심벌과 프레임 구조에 대한 신뢰성 있는 시간 및 주파수 동기가 가능하게 하는 것이다. 그러한 이유로 프리엠블에는 매 6배수의 OFDM 부반송파에 변조된 특별한 프리엠블 파일럿이 삽입된다. 다른 하나의 프리엠블의 역할은 Data Slice들과 그 내부의 정보들을 복호화 하기 위한 Layer 1 signalling을 실어 나르는 것이다.

프리엠블은 주파수 축에서 전 대역에 대하여 7.61Mhz 마다 반복적으로 배치되게 된다. 이렇게 고정적인 길이를 가지며 주파수 축에서 반복되는 이유는 8MHz 수신기를 이용하여 어느 튜닝 지점에서든 L1 part 2 signalling을 얻어 낼 수 있기 위함이다.

그림 5와 같이 수신기에서 L1 블록 한 구간에 대하여 정확한 튜닝 위치와 수신 윈도우를 지정하지 않은 경우에는 L1 블록의 주파수상에서 순환 반복하고 있는 특성을 이용하여 re-ordering하여 L1 블록을 복원할 수 있다.

이와는 다르게 Data Slice는 정적인 주파수상의 패턴을 가지지 않고 유연하게 변하여 할당된다. L1 signalling data를 어느 튜닝 지점에서든지 얻을 수 있기 때문에 단지 Data Slice는 최대 대역폭은 7.61MHz를 넘지 않지만 하면 된다. 이러한 이유로 Data Slice는 매우 정확하게 소스 신호에 대한 비트율을 맞출 수 있다.

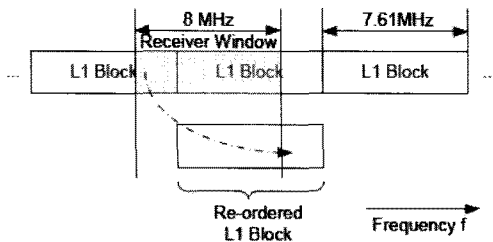


그림 5. DVB-C2 프리엠블 구조와 L1 Signalling 정보를 얻기 위한 re-ordering

IV. 수신기에서의 LDPC와 BCH 복호화 기법

이번 장에서는 본 논문의 시뮬레이터의 수신기에서 사용하는 LDPC와 BCH의 복호화 기법에 대해서 설명한다.

4.1 LDPC 복호기

본 논문의 시뮬레이터에서 사용한 LDPC 복호화 기법은 MS (Min-Sum) 복호화 알고리즘으로 이 알고리즘은 최적의 알고리즘인 SPA(Sum-Product Algorithm)보다 구현이 간단하고 추가적인 table이 필요하지 않다. 또한 SNR 추정이 필요하지 않으며 $L(r_{ji})$ 값을 설정하는 과정이 단순히 작은 값만을 찾기 때문에 입력 값을 상당부분 Clipping 하여도 성능 저하가 거의 없다는 장점이 있다. 하지만 SPA에 비해 0.5~1dB정도 성능이 떨어지는 단점이 있다. MS 복호화 기법의 내용은 다음과 같다.

LDPC 디코더는 코드워드 $\Lambda(N_{ldpc}, 64800$ 또는 16200, 그림 3)를 입력으로 사용하여 information bits (길이 K_{ldpc} , 그림 3)를 출력한다. 이를 위해 먼저 $L(c_i)$ 를 구한다.

$$L(c_i) = \log \left(\frac{\Pr(c_i = 0|Y)}{\Pr(c_i = 1|Y)} \right) \quad (1)$$

식 (1)은 BPSK 변조를 사용했을 경우의 Log-Likelihood Ratio(LLR) 식이며, 여기서 Y는 c_i 에 대한 채널 아웃풋이고, c_i 는 수신한 코드워드의 i 번째 bit이다. 다음으로 $L(q_{ij})$ 를 구한다.

$$L(q_{ij}) = L(c_i) \quad (2)$$

$$L(q_{ij}) = L(c_i) + \sum_{j' \in c_{i,j}} L(r_{ji'}) \quad (3)$$

iteration index가 0인 경우 식 (2)을 따르고, iteration index가 0이 아닌 경우 식 (3)을 따른다. 다음으로 $L(r_{ji})$ 를 구한다.

$$L(r_{ji}) \approx \prod_{i \in V_{N_j}} \alpha_{ij} \min \beta_{ij} \quad (4)$$

여기서 $\alpha_{ij} = \text{sign}[L(q_{ij})]$, $\beta_{ij} = |L(q_{ij})|$ 이다.

다음으로 parity check를 위해서 $L(Q_i)$ 값을 식 (5)와 같이 설정한다.

$$L(Q_i) = L(c_i) + \sum_{j \in c_i} L(r_{ji}) \quad (5)$$

그 후 모든 i에 대하여 \hat{c}_i 값을 식 (6)과 같이 구한다.

$$\hat{c}_i = \begin{cases} 1, & \text{if } L(Q_i) < 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

만약 $\hat{c}_i H^T = 0$ 이거나 iteration index가 정해놓은 최대 값이 된다면 지금까지의 과정을 멈추고, 그렇지 않다면 $L(q_{ij})$ 를 구하는 식으로부터 계속 반복 해나간다.

4.2 BCH 디코더

그림 6은 BCH 디코더의 블록도 이다. BCH 디코더 과정은 먼저 $2t$ 개의 syndrome을 계산한 후 error locator polynomial $\sigma(x)$ 을 계산하여 오류 위치를 판별한다. 일반적으로 Berlekamp-Masset(BM) algorithm과 Peterson algorithm, 그리고 Euclidean algorithm이 많이 사용된다. 현재 DVB-C2 시스템에서는 BCH 복호를 위해 Reed-Solomon(RS) 코드에 많이 사용되던 BM 알고리즘을 사용한다. BM 알고리즘은 효과적으로 오류 위치를 찾아내기 위한 기본적인 BCH 디코더의 속도를 크게 가속화시킬 수 있는 iterative 알고리즘으로 수신된 코드워드를 이용하여 얻은 신드롬으로 minimum linear feedback shift register (LFSR)을 만드는 방법이다. BM 알고리즘에서는 식 (7)을 만족하는 error locator polynomial ($\sigma(x)(i+1)$)의 최소 반복 횟수를 찾을 수 있다.

$$\sum_{j=0}^{i+1} S_{k-j} \sigma_j^{(i+1)} = 0 \quad l_i < k < i+1 \quad (7)$$

$$\sigma^{(i)}(x) = 1 + \sigma_1^i x + \dots + \sigma_l^i x^l \quad (8)$$

$$d_i = S_{i+1} + S_i \sigma_1^{(i)} + \dots + S_{i-l_i} \sigma_{l_i}^{(i)} \quad (9)$$

식 (8)은 i 번 반복하여 얻은 error locator polynomial이며 식 (9)는 i 번 반복에서의 discrepancy이다. 반복과정은 다음과 같다.

우선 $d_i = 0$ 일 때

$$\sigma^{(i+1)}(x) = \sigma^{(i)}(x) \quad l_{i+1} = l_i \quad (10)$$

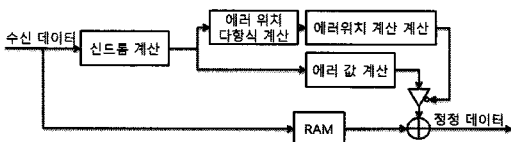


그림 6. BCH 디코더 블록도

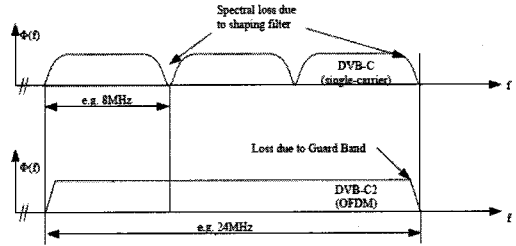


그림 7. DVB-C의 대역 사용(위)과 DVB-C2의 대역사용(아래)

$d_i \neq 0$ 일 때 m 번째 ($-1 \leq m < i, d_m \neq 0, (m-l_m)$ 은 최대) 반복에서의 error locator polynomial 이 solution 이라고 하면 식 (11)과 (12)와 같다.

$$\sigma^{(i+1)}(x) = \sigma^{(i)}(x) + d_i d_m^{-1} x^{i-m} \sigma^{(m)}(x) \quad (11)$$

$$l_{i+1} = \max(l_i, l_m + i - m) \quad (12)$$

초기 i 값은 0이고, $i \leq l_i + 1 + t_d - 1$ 또는 $i = 2t_d - 1$ 일 때 중지한다. 초기 상태는 다음 식 (13)과 (14)와 같이 설정한다.

$$\sigma^{-1}(x) = 1, l_{-1} = 0, d_{-1} = 1 \quad (13)$$

$$\sigma^0(x) = 1, l_0 = 0, d_0 = S_1 \quad (14)$$

V. DVB-C2 대역폭 효율

DVB-C2의 중점적인 목표중 하나는 대역폭 효율을 높이는 것이다. 이 목표를 달성하기 위하여 LDPC 코드와 함께 높은 차수의 QAM 기법을 사용하며 OFDM을 적용하였다.

DVB-C는 단일 부반송파를 기반으로 하며 송신필터를 이용하여 송신 신호를 형성한다. 송신기에서 Half Nyquist 필터를 사용하게 되어 신호의 주파수영역에서 가장자리 부분에서 roll-off 현상이 발생되어 나타난다. 이때 필터의 roll-off factor가 0.15이면 DVB-C에서는 주파수 효율이 15% 감소하게 된다. 가능한 작은 값을 사용하여 효율을 높일 수 있지만, 이것은 높은 정밀도의 송수신기를 필요로 하게 된다. 또한 이 현상은 채널 대역폭과는 독립적이므로 15%의 대역 효율 손실은 16MHz의 채널에 대해서도 동일하게 일어나게 된다.

반면 OFDM 기반의 DVB-C2의 경우에는 단지 대역 효율 손실은 Guard Interval(GI)과 주파수 상에서

실리는 파일럿, 그리고 스펙트럼 가장자리의 보호 대역에 의해서만 발생된다. normal mode의 경우 GI의 길이는 1/128이고 파일럿의 밀도는 1/96이 되며, 이 두 요소에 의한 대역 손실은 약 2%정도이다. 그리고 보호 대역은 각 채널 간 주파수 간섭을 막기 위함인데, 한 OFDM 신호 안의 Data Slice 사이에는 필요가 없다. Data Slice는 주파수 축에서 끈임 없이 배치되어 있기 때문이다.

그림 8의 경우 대략적으로 200KHz 정도의 보호대역이 필요로 하게 된다. 32MHz의 대역폭을 사용하는 DVB-C2 신호 (Data Slice 당 6.4MHz이고 총 5개)에 대하여 전체적인 대역 손실을 따지게 된다면 3.25%이 된다. DVB-C의 15%와 비교하였을 때 대역 효율성 측면에서 DVB-C2는 매우 우수하다.

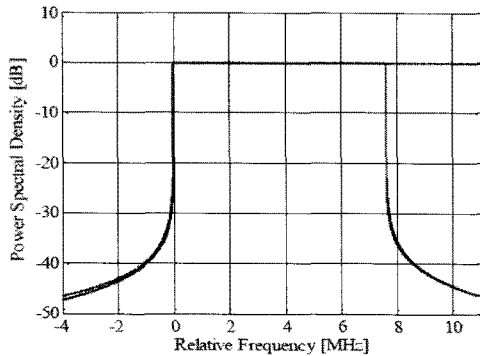


그림 8. 7.61MHz부터 450MHz사이의 대역을 사용하며 Guard Interval이 1/128인 DVB-C2의 이상적인 전력 스펙트럼 밀도

VI. 모의실험 및 고찰

절에서는 DVB-C2의 기본적인 BICM 블록과 OFDM을 적용한 시뮬레이터를 통하여 성능을 알아본다. 입력되는 PLP는 하나이고 Data Slice 하나를 구성한다. 채널은 AWGN을 사용하였고, DVB-C2 신호의 부호화율과 변조 기법을 변화하며 SNR 성능 비교를 하였다.

간단한 성능 분석을 위하여 L1프리앰블은 사용하지 않았으며 채널 추정 및 동기는 완벽한 상황임을 가정하였다. 그림 9는 시뮬레이터의 블록도이다. 보호 구간은 1/64를 사용하였고 FFT 크기는 4K로 설정하였으며 그중 부반송파는 3408개를 사용하였다. PLP의 FEC 타입은 0으로 LDPC 이후의 한 FEC 블록당 16200 bit가 된다. LDPC 부호화 기법으로는 연산량

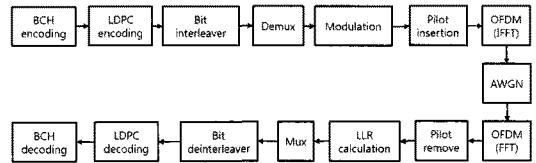


그림 9. 시뮬레이터 블록도

이 비교적 적고 구현이 간단한 min sum 알고리즘을 사용하였다. min sum 알고리즘에서는 반복적인 복호화 수행으로 성능을 향상시킬 수 있다. 본 모의실험에서는 성능향상과 연산량을 고려하여 10번으로 설정하였다. BCH 복호화 기법으로는 BM 알고리즘을 사용하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 각 SNR당 실험은 100만번씩 수행하였으며, 낮은 SNR구간에 대하여는 SNR 변화를 2씩 주었고, 그래프의 변화가 급격하게 나타나는 부분에 대하여는 자세한 관찰을 위하여 SNR을 1씩 변화하며 실험하였다.

표 2는 DVB-C2 Implementation Guidelines에서 제시한 시스템 출력단에서의 변조 차수 변화와 부호화율에 따라 요구되는 SNR이다.

그림 10은 부호화율 4/5일 때 변조 차수 변화에 따른 실험 결과 그래프이다. 64QAM의 결과에 대해서 BER 10⁻⁴를 만족할 때의 SNR 값은 약 17.3dB이다. 제시된 값 16.1dB와 비교하면 1.2dB의 SNR 차이가 나타났다.

그림 11은 부호화율 9/10일 때 변조 차수를 변화에 따른 실험 결과 그래프이다. 마찬가지로 64QAM의

표 2. 변조와 부호화율을 변화 하였을 때 BER 10⁻⁴를 만족하기 위한 SNR

Modulation	CR	SNR(dB)
16QAM	4/5	10.7
	9/10	12.8
64QAM	2/3	13.5
	4/5	16.1
	9/10	18.5
256QAM	3/4	20.0
	5/6	22.0
	9/10	24.0
1024QAM	3/4	24.8
	5/6	27.2
	9/10	29.5
4096QAM	5/6	32.4
	9/10	35.0

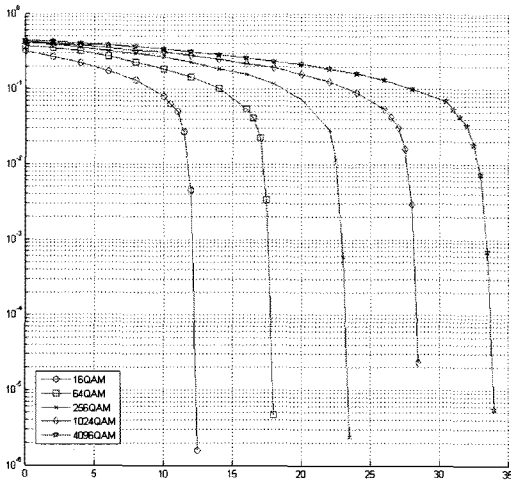


그림 10. 부호화율 4/5일 때 변조에 따른 BER 성능비교

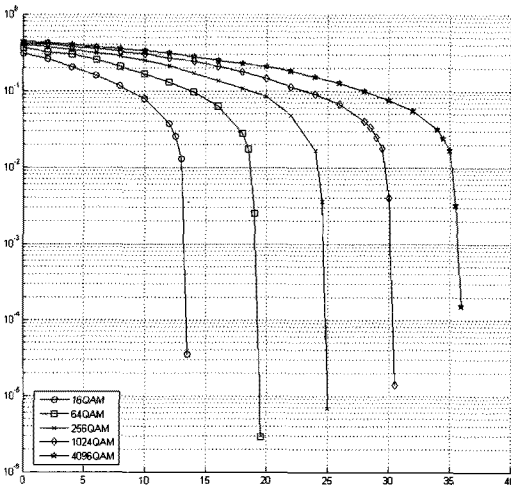


그림 11. 부호화율 9/10일 때 변조에 따른 BER 성능비교

결과에 대해서 BER 10^{-4} 를 만족 할 때의 SNR값은 약 18.9dB 이고, 이 결과는 제시된 값 18.5와 비교하였을 때 0.4dB의 SNR 차이가 나타났다. 여기서 발생한 차이의 원인은 DVB-C2 Implementation Guidelines에서 제안한 LDPC 복호화 알고리즘과 본 논문의 시뮬레이터에서 사용한 것과 달라 발생한 것으로 보인다.

VII. 결 론

본 논문에서는 차세대 디지털 방송 표준인 DVB 2.0 중 케이블 채널을 이용하는 DVB-C2를 주제로 전체적인 송신 구조와 DVB-C시스템과 비교하여 대역

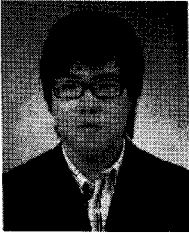
폭 효율을 알아보았고, 송수신구조의 모의실험을 통하여 BER 성능을 알아보았다. DVB-C2는 BCH 와 LDPC를 사용하여 여러 정정능력을 높였고, 4096QAM의 높은 차수의 변조 기법을 지원하여 높은 데이터 전송률을 가질 수 있게 하였다. 그리고 OFDM 프레임 구조를 이용하여 하나의 OFDM신호에 다양한 서비스를 실어 보낼 수 있었으며, OFDM을 사용함으로써 주파수 대역 효율도 DVB-C에 비하여 상당히 개선되어 있는 것을 확인 할 수 있었다. 수신부의 LDPC 디코더는 본 논문의 모의실험에서 이용한 Min-Sum 복호화 알고리즘에 대하여 알아보았고, BCH 디코더의 BM 알고리즘을 알아보았다. 마지막으로 DVB-C2의 기본적인 BICM 블록과 OFDM 구조를 적용하여 AWGN에서의 BER 성능을 실험 해보았다. 본 논문의 결과에서는 64QAM에서 부호화율 4/5과 9/10일 때 BER 10^{-4} 를 만족하기 위해서는 17.3dB와 18.9dB의 SNR이 필요하다라는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB), Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2).
- [2] Digital Video Broadcasting (DVB), Implementation Guidelines for a second generation digital cable transmission system (DVB-C2), DVB Document A147, March 2010.
- [3] DVB-C2 - The Standard for Next Generation Digital Cable Transmission, J. Robert, C. Schaaf, L. Stadelmeier, Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 2009. BMSB '09. IEEE International Symposium on.
- [4] ASO(Analogue Switch Off) 시대를 위한 차세대 지상파 TV 표준 DVB-T2 기술 소개, 서정욱, 김현식, 전원기, 백종호, 김동구, 한국통신학회지, 2008.
- [5] Implementation of the Berlekamp-Massey algorithm and Peterson's algorithm in C Programming Language, Lei Zhou.
- [6] Design of a Low Density Parity Check Iterative Decoder, Jean Nguyen, Computer Engineer, University of Wisconsin, Madison Dr. Borivoje Nikolic, Engling YeoMentor, Electrical Engineer, University of California, Berkeley.

임 형 목 (Hyoung-Muk Lim)

준회원



2010년 2월 세종대학교 정보통신공학과 학사
2010년 3월~현재 세종대학교 정보통신공학과 석사과정
<관심분야> MIMO, 협력 통신, 디지털 방송

백 중 호 (Jong-Ho Paik)

정회원



1994년 2월 중앙대학교 전기공학과 학사
1997년 2월 중앙대학교 전기공학과 석사
2007년 8월 중앙대학교 전자전기공학부 박사
1997년 1월~현재 전자부품연구원 모바일단말연구센터 센터장
<관심분야> 차세대 모바일 방송기술, 차세대 방송통신융합기술, 차세대 사운드기술

윤 재 선 (Jae-Seon Yoon)

정회원



2005년 2월 세종대학교 정보통신공학과 학사
2007년 2월 세종대학교 정보통신공학과 석사
2007년 3월~현재 세종대학교 정보통신공학과 박사과정
<관심분야> MIMO, 디지털 방송, 협력 통신, WPAN

송 형 규 (Hyoung-Kyu Song)

종신회원



1996년 2월 연세대학교 전자공학과 박사
1996년 1월~2000년 2월 전자부품연구원 책임연구원
2000년 3월~현재 세종대학교 정보통신공학과 교수
<관심분야> 디지털통신, 방송통신, WPAN