

지상파 3D HDTV 전송을 위한 DVB-T2 시스템의 채널 부호의 연구 및 연판정 복호에 관한 연구

*권경훈, **임현호, ***허 준

*고려대학교, **고려대학교, ***고려대학교

*superstarkkh@korea.ac.kr, limhh2@korea.ac.kr **junheo@korea.ac.kr

A Study of FEC and Soft Decision Decoding of DVB-T2 Transmission System for Terrestrial 3D HDTV Broadcasting

*Kyung-hoon Kwon, **Hyunho Im, ***Jun Heo

Korea University

요약

본 논문에서는 지상파 3D HDTV 방송 서비스를 제공하기 위하여 기존의 유럽형 HDTV 방송 서비스인 DVB-T2 전송 시스템의 채널 부호군을 연구하고, 이 시스템의 외부 부호(Outer Code)로 쓰이는 BCH 부호의 경판정(Hard Decision)을 통한 복호를 연판정(Soft Decision)을 통한 복호로 수정함으로써 성능에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 또한 기존의 DVB-T2 전송 시스템의 성능을 살펴보고, 이를 바탕으로 기존의 외부 부호(Outer Code)인 BCH 부호와 내부 부호(Inner Code)인 LDPC 부호의 조합을 연판정이 가능하고 복호하는 블록(Block)의 길이가 더 짧아진 BTC(Block Turbo Code)부호와 LDPC 부호와의 조합으로 바꿈으로써 기존의 DVB-T2 전송 시스템보다 블록 오류율이 낮아짐을 확인하였다.

1. 서론

최근 들어 기존의 HDTV 기술과 3DTV 기술을 접목시킨 3D HDTV 전송 시스템이 세계 여러 나라에서 각광받고 있다. 그에 따라 세계 각국에서 많은 연구가 진행 중에 있으며, 현재에는 3D HDTV와 관련하여 많은 분야의 제품들이 출시되고 있다. 이에 따라 한국정보통신기술협회(TTA)에서는 3D HDTV 서비스의 중요성을 인식하고, 표준화 위원회를 설립하여 표준화 작업을 진행 중에 있지만 아직 지상파로 어떤 전송 기술을 사용하고 어떻게 채널을 할당하여 서비스 할 것인지에 대해서는 아직 논의가 미미한 수준이다.

대표적인 지상파 HDTV 전송 시스템에는 미국과 현재 국내에서 사용되고 있는 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 방식과 유럽에서 사용되고 있는 DVB-T(Digital Video Broadcasting-Terrestrial) 방식이 있다. 현재 유럽에서는 기존의 DVB-T에서 성능이 개선되면서 기존 DVB-T와 호환을 유지하며 전송효율을 증가시킨 DVB-T2 방식을 채택하여 현재 실험방송을 유럽 전역에 걸쳐 수행하고 있다.

본 논문에서는 유럽에서 실험방송을 수행하고 있는 DVB-T2 전송 시스템의 채널 부호군의 분석하고 제안된 채널 부호와의 결합을 통해 성능이 변하는 정도를 확인하고자 한다. 기존의 DVB-T2에 쓰이는 채널 부호는 외부 부호(Outer Code)인 BCH 부호와 내부 부호(Inner Code)인 LDPC 부호를 직렬 연결하는 구조를 갖고 있다[3]. 이때 외부 부호로 사용되는 2진 BCH 부호의 연산은 GF(2)에서 정의되므로 간단하게 생성 및 복호 할 수 있으며, 비트 단위의 LDPC 부호에 연결하여 사용하는 것이 용이하다는 장점이 있다.

DVB-T2 전송 시스템의 외부 부호로 사용되는 BCH 부호는 경판정(Hard Decision)을 통해 복호가 이루어진다. 일반적으로 연판정

(Soft Decision)을 통한 복호가 경판정을 통한 복호보다 성능이 우수하므로 본 논문에서는 BCH 부호의 경판정 복호를 BTC(Block Turbo Code) 부호의 연판정 복호를 수행함으로써 변하는 성능의 정도를 알아보고자 한다.

2. DVB-T2 및 BTC 개요

2-1. DVB-T2 전송 시스템의 채널 부호

DVB-T2 전송 시스템에서는 채널 부호로 BCH 부호와 LDPC 부호를 서로 직렬 연결하여 사용한다[3]. 그림 1.은 DVB-T2 전송 시스템의 블록 다이어그램이다. DVB-T2에서 사용하는 LDPC 부호의 사양은 크게 긴 블록 사이즈(64800비트) 및 짧은 블록 사이즈(16200비트), 두 가지가 있는데 본 논문에서는 긴 블록 사이즈를 선택하였다.

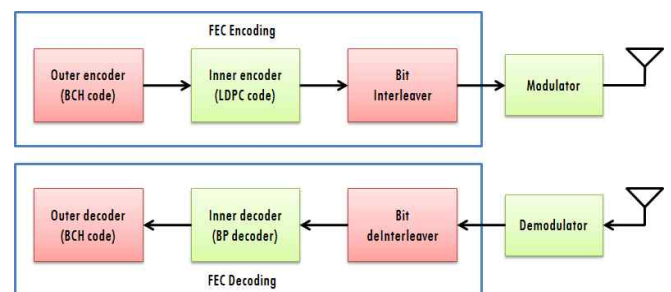


그림 1. DVB-T2 채널 부호 및 복호 구조

그림 2는 DVB-T2 전송 시스템의 BCH 및 LDPC 부호화된 블록의 구조를 소개하고 있다. 여기서 K_{bch} 는 부호화 이전의 정보 데이터 (information data)의 비트 수를 의미하고, $N_{bch}(K_{ldpc})$ 는 BCH encoder를 통해 생성된 데이터의 비트 수를 의미한다. 생성된 $N_{bch}(K_{ldpc})$ 는 다시 LDPC Encoder를 통해 부호화 됨으로써 전체 부호어의 비트 수인 N_{ldpc} 가 생성된다. 표 1은 LDPC 부호화율에 따르는 K_{ldpc} 의 값들을 나타내고 있다.

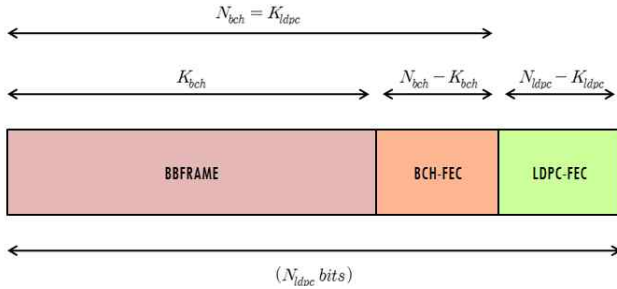


그림 2. BCH 및 LDPC 부호화된 블록 구성도

LDPC code rate	K_{bch}	$N_{bch} = K_{ldpc}$	BCH t-error correction
1/2	32 208	32 400	12
3/5	38 688	38 880	12
2/3	43 040	43 200	10
3/4	48 408	48 600	12
4/5	51 648	51 840	12
5/6	53 840	54 000	10

표 1. LDPC 부호화율에 따른 Coding Parameters

또한 표 1에서 제시한 변수에 따라 외부 부호로서 t 비트의 오류정정 능력을 갖는 BCH(N_{bch}, K_{bch}) 부호가 사용된다. BCH의 생성 다항식은 각 프레임의 크기와 오류 정정 개수 t에 따라, 다항식의 곱[3]으로 생성할 수 있다.

2-2. BTC(Block Turbo Code)

1998년 Pyndiah에 의해 소개된 BTC(Block Turbo Code)는 블록 길이가 긴 부호의 부호화 구성의 단점과 길이가 긴 블록의 많은 계산량과 같은 단점을 보완하기 위해 작은 블록 크기를 가로 세로로 product 시킨 후 같은 복잡도로 많은 블록 크기의 효과를 얻을 수 있고 높은 부호화율에서 Shannon Limit에 거의 근접하는 성능을 가지는 오류정정부호어이다[6].

BTC 부호는 두 개 혹은 그 이상의 짧은 길이의 블록 (C_1, C_2)를 이용하여 긴 블록 부호 $C_1 \times C_2$ 를 만드는 것이 가장 효율적이고 간단한 부호화 알고리즘이다. 그림 3은 BTC의 부호화기 구성도이다.

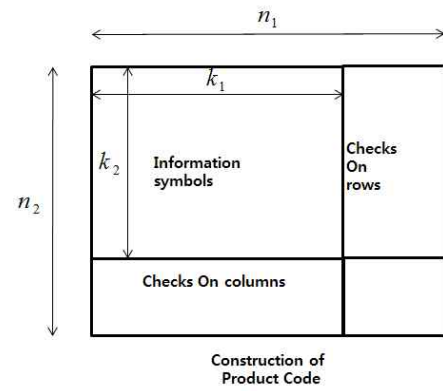


그림 3. BTC의 부호화기 구성도 ($P = C_1 \times C_2$)

$k_1 \times k_2$ 개의 information bits를 행렬로 배치한 후, 가로와 세로를 각각 (n_1, k_1, δ_1) 과 (n_2, k_2, δ_2) 로 부호화하여 전송한다. 여기서 $n = n_1 \times n_2$, $k = k_1 \times k_2$, $\delta = \delta_1 \times \delta_2$ 가 되고 부호율 R은 $R = R_1 \times R_2$ 가 된다. 두 부호를 Product 하여 높은 부호율에서 minimum hamming distance(δ)를 증가 시키고 이로 인해 오류정정능력이 향상된다.

3. DVB-T2에서 연판정을 이용한 반복 복호 기법

본 논문에서는 기존의 DVB-T2 전송 시스템에서 사용하는 BCH 부호를 BTC 부호의 블록 부호로 적용함으로써 생기는 성능 이득에 대해서 알아보고자 한다.

BTC의 복호 과정에서는 1972년 Chase에 의해 정립된 low complexity 알고리즘인 Chase Algorithm이 사용된다. Chase 알고리즘은 수신된 신호 벡터 R을 식(1)과 같이 maximum likelihood 방식에 의해 최적 결정 비트(Reliability of Decision) D를 결정한다.

$$D = C^i \text{ if } |R - C^i|^2 \leq |R - C^l|^2 \quad \forall l \in [1, 2^k], \quad l \neq i \quad (1)$$

$$|R - C^i|^2 = \sum_{l=1}^n (r_l - c_l^i)^2$$

높은 SNR에서 D는 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ 의 중심점에서 반경이 $(\delta - 1)$ 의 구안에 포함될 확률이 높다. 이 때 $y_l = 0.5(1 + \text{sgn}(r_l))$ 이다. 이로써 후보 가능한 부호어 C를 찾는 chase 알고리즘은 다음 4 단계를 따른다.

1단계 : $p = \left\lfloor \frac{\delta}{2} \right\rfloor$ 개의 신뢰도가 가장 낮은 Y의 비트 위치를 수신 벡터 R을 이용해서 결정한다. 신뢰도가 낮은 비트의 위치는 수신된 $\Lambda(y_j) = \ln \frac{P_j(e_j = +1/r_j)}{P_j(e_j = -1/r_j)} = |r_j|$ 이다.

2단계 : q개의 test pattern T^q 를 생성한다. T^q 의 생성 방법은 n개의 비트 위치 중 $\Lambda(y_j)$ 가 가장 적은 값에 해당하는 위치 j에 “1”

을 위치시키고 나머지는 “0”을 배치하는 방법을 계속해서 p개의 비트 위치에 “1”을 위치시키고 나머지 비트는 “0”을 배치한다.

3단계 : q개의 T^q 를 생성하고 난 뒤에, $Z^q = Y \oplus T^q$ 하여 오류 위치를 정정한 Z^q 를 생성한다.

4단계 : Z^q 를 블록 복호하여 C^q 를 생성한다.

4단계가 완료하면 C 벡터가 생성되며 연관정을 출력하기 위해 D의 j번째 비트 신뢰도 (LLR)_j는 다음과 같다.

$$(LLR)_j = \ln\left(\frac{\Pr(e_j = +1|R)}{\Pr(e_j = -1|R)}\right) \quad (2)$$

식 (2)는 Pyndiah에 의해 다음 식 (3)과 같이 간략하게 최적화 된다.

$$r'_j = r_j + w_j$$

r_j : soft input data , w_j : extrinsic information

$$w_j = \sum_{l=1, l \neq j}^n r_l c_l^{+1(j)} p_l \quad (3)$$

$$p_l = \begin{cases} 0, & \text{if } c_l^{+1(j)} = c_l^{-1(j)} \\ 1, & \text{if } c_l^{+1(j)} \neq c_l^{-1(j)} \end{cases}$$

$c_l^{+1(j)}, c_l^{-1(j)}$ 은 j번째 비트가 +1,-1을 가지는 부호어 중 수신신호와 hamming distance가 가장 작은 부호어의 l번째 비트를 나타낸다.

r'_j 은 chase 알고리즘에 의해 복호된 최적 결정 비트 D의 soft decision 값이다. r'_j 은 $r'_j = \beta \cdot d^j$ ($\beta \geq 0$) 으로 나타낼 수 있으며 β 는 신뢰도 factor 이다. 처음 반복 시에는 신뢰도가 낮으므로 낮은 값으로 반영하면서 반복횟수가 증가 할수록 높게 설정한다. Pyndiah가 제안한 BTC부호의 복호기 구조는 다음과 같다[6].

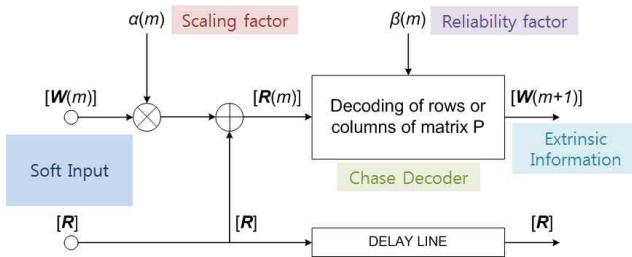


그림 4. BTC의 복호기 구조

α 는 scaling factor 이며, 수신신호 R과 W에 있는 샘플들의 표준편차를 고려한 것이다. Pyndiah는 scaling factor $\alpha(m)$ 과 신뢰도 factor $\beta(m)$ 을 다음과 같이 정의하였다[6].

$$\alpha(m) = [0, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 1.0] \quad (4)$$

$$\beta(m) = [0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0]$$

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 사용된 BTC + LDPC 부호는 기존의 DVB-T2에서 사용되는 LDPC 부호를 Inner Code로 그대로 사용하였고 Outer Code로 쓰인 BTC 부호는 (255,247,3) BCH 부호를 Product 부호로 변환하여 Kldpc의 길이만큼 되도록 shortened 된 형태의 부호를 사용하였다. 즉, Shortened BCH (180,172,3) 부호를 BTC 부호로 만들어 사용하였다. 전체 부호화율은 기존 DVB-T2 방식의 Overall Code Rate R=0.497에 비해 조금 줄어든 0.457의 부호화율을 가진다. 채널은 Flat Fading AWGN 채널을 가정하였으며 이때 Doppler Frequency 상수는 1E-2이다.

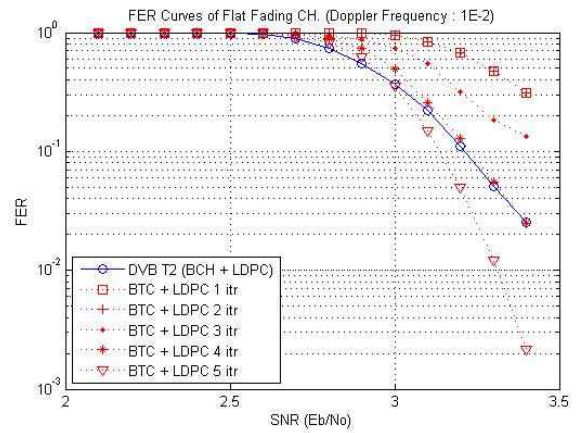


그림 5. DVB-T2 전송 시스템과 제안된 BTC + LDPC 부호의 FER Performance

그림 5에서 알 수 있듯이 제안된 BTC + LDPC 부호인 경우 반복 복호를 할수록 성능 이득이 점차적으로 증가됨을 알 수 있다. BTC 부호를 4번 반복복호 하였을 시 기존의 DVB-T2 전송 시스템과 거의 유사한 블록 오류율을 보이고 있고, 5번 반복 복호시에 기존 시스템보다도 0.3dB 이상의 우수한 성능을 보이고 있다.

5. 결론 및 차후 연구 방향

본 논문에서는 내부 부호인 LDPC 부호를 거쳐 외부 부호인 BCH 부호를 경관정하는 기존의 DVB-T2 전송 시스템 방식을 외부 부호인 BCH 부호를 연관정이 가능한 BTC 부호로 변경하여 연관정 하였을 때 생기는 성능 이득에 대해서 알아 보았다. High SNR 영역에서 BTC 부호의 반복 복호 횟수를 증가시키에 따라 블록 오류율이 감소하는 것을 확인하였다. 하지만 Low SNR 영역에서의 기존 DVB-T2 전송 시스템이 제안된 BTC+LDPC 시스템 보다 더 좋은 성능을 가진다. 따라서 Low SNR 영역에서 기존의 시스템보다 더 좋은 성능을 얻을 수 있는 방안으로 기존의 LDPC 부호보다 Shannon Limit에 더 가까운 성능

을 가지는 Non Binary LDPC 부호를 연결시키는 연구가 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가 관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음 [KI002058 , 차세대 지상파 3D HDTV를 위한 고효율 전송기술 개발]

참 고 문 헌

- [1] John R. Barry, Low-density parity check codes, Tech. report, Georgia Institute of Technology, 2001
- [2] D. J. C. MacKay and R. M. Neal, "Near Shannon limit performance of low-density parity-check codes", Electron. Lett., vol. 32, pp. 1645 - 1646, 1996.
- [3] Digital Video Broadcasting (DVB) : Frame structure channel coding and modulation systems for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI EN 302 755 v1.1.1 2009-09
- [4] S.Lin and D.J.Costello, Jr., "Error Control Coding", 2nd Ed. Pearson Prentice Hall. 2004
- [5] M. C. Davey, "Error-correction using Low-Density Parity-Check Codes," Univ. of Cambridge PhD dissertation, 1999.
- [6] R. M. Pyndiah, "Near-optimum decoding of product codes: Block Turbo Codes", IEEE Trans. commun., vol. 46, pp.1003-1010, 1998.