

High Code Rate 달성을 위해 낮은 차수의 생성다항식을 적용한 Block Turbo Codes

*권경훈 **이동훈 ***허 준

고려대학교

*superstarkkh@korea.ac.kr

Block Turbo Codes applying low generating polynomials for High Code Rate

*Kyunghoon Kwon **Donghoon Lee ***Jun Heo

Korea University

요약

본 논문에서는 지상파 3D HDTV 방송 서비스를 제공하기 위하여 기존의 유럽형 HDTV 방송 서비스인 DVB-T2 전송 시스템의 채널 부호군 중 외부부호로 쓰이는 BCH 부호를 연관성 복호가 가능한 Block Turbo Code로 대체함으로써 생기는 성능이득과 높은 부호율을 달성하기 위한 방법을 제안하였다. 기존의 DVB-T2 시스템에서 외부부호로 쓰이는 BCH 부호의 부호율의 경우 0.994정도의 높은 부호율을 가진다. 따라서 이에 준하는 높은 부호율을 가지면서 연관성 복호가 가능한 BTC 부호를 제안하고, 기존의 BTC 보다 더 높은 부호율을 가지는 BTC 부호를 설계한다. 모의 실험을 통하여 새롭게 제안된 BTC 에서도 반복부호의 이득이 생기는 것을 확인하고 기존 DVB-T2 시스템의 BCH 부호보다 성능이 우수함을 확인하였다.

1. 서론

최근 들어 3D TV 보급률이 점차 높아지면서 3D 방송에 대한 관심이 계속적으로 증가하고 있다. 또한 3D 콘텐츠를 통한 차세대 실감 방송기술이 보급되면서 HD(High Definition)급 화질의 3D HDTV 방송을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

3D HDTV 방송을 위해 물리계층에서 많은 연구가 진행되고 있는 부분 가운데 대표적인 연구 중 하나는 오류정정부호이다. 오류정정부호는 기존의 데이터에 특정한 여유 비트를 더해 송신단에서 데이터를 전송함으로써 수신단에서 데이터 복호를 통해 오류가 생기는 많은 비트들을 복원해 줄 수 있다. 추가되는 패리티 비트의 양에 따라서 시스템의 전송용량과 부호율이 결정되게 된다. 3D HD 방송의 경우 하나의 영상 프레임을 전송하는 HD 방송보다 좌, 우 영상 프레임을 모두 전송해야 하기 때문에 더 많은 전송량을 필요로 한다. 따라서 3D HD 방송에서는 HD 방송에서 사용되는 오류정정부호보다 더 높은 전송효율을 가지는 오류정정부호의 적용이 필요하다. 이에 본 논문은 기존의 유럽형 DTV 표준인 DVB-T2(Digital Video Broadcasting-Terrestrial) 전송 시스템에서 사용되는 오류정정부호를 알아보고 외부부호로 사용되는 BCH 부호의 경관성 복호를 연관성 복호가 가능한 Block Turbo Code(BTC)를 적용하여 추가적인 서비스 품질을 보장하고, 그 수신 성능을 각 부호율에 따라 분석한다[1][2][3][4]. 또한 BTC는 충분히 높은 부호율을 가지고 있지만 기존 DVB-T2 시스템의 외부 부호로 쓰이는 BCH 부호의 경우 0.994의 부호율을 가지기 때문에 이에 근접하는 더 높은 부호율을 가지는 BTC를 제안한다.

2. DVB-T2 시스템과 제안된 오류정정부호 시스템

DVB-T2 전송 시스템에서는 외부부호로 BCH 부호를 사용하고 내부부호로 LDPC(Low Density Parity Check) 부호를 사용한다. 그림 1. 은 DVB-T2 전송 시스템의 블록도이다. LDPC 부호는 오류정정부호로서 매우 강력한 부호로 알려져 있는 부호이다. 따라서 이 시스템에서 주요 오류 정정은 내부부호인 LDPC 부호가 하게 되고, 나머지 잔류오류에 대해서 외부부호로 쓰이는 BCH 부호가 잔류오류를 잡아내는 시스템 형태이다[1].

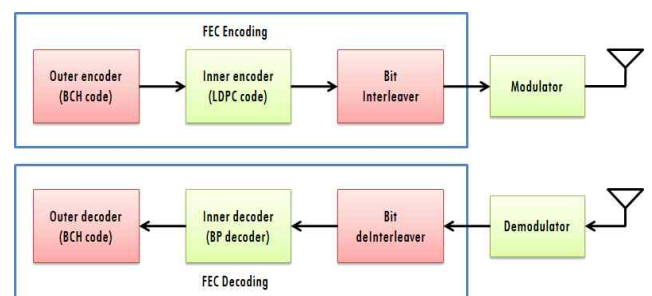


그림 1. DVB-T2 채널 부호 및 복호 구조

내부부호인 LDPC 부호의 경우 연관성 반복 복호를 통해 강력한 오류 정정 능력을 보이지만 외부부호인 BCH 부호의 경우 오류 정정이 가능한 오류의 개수만을 정정하고 그 이상의 오류에 대해서는 오류 정정이 불가능하다. 이럴 경우 방송시스템에서 사용되는 채널의 경우 fading의 영향이 크게 작용되는 채널이기 때문에 비교적 높은 SNR(Signal to Noise Ratio) 영역에서 LDPC 부호에서 정정하지 못한 오류의 개수가 BCH 부호가 정정할 수 있는 오류의 개수보다 더 많이 발생할 가능성이 크다.

따라서 LDPC 부호가 정정하지 못한 잔류오류들을 연관정 반복복호가 가능한 BTC를 적용하게 되면 기존의 시스템에서 생기는 오류마루현상을 최대한 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만 BTC를 적용하게 될 경우 전체 부호율에 영향을 끼쳐서 전체 시스템의 성능이 전체적으로 낮아지게 된다. 그 이유는 낮은 부호율로 인해 상대적으로 잡음의 크기가 증가하게 되기 때문이다. 이 결과 낮은 SNR 영역에서 기존의 시스템보다 더 높은 비트오류확률을 가지게 되고 높은 SNR 영역으로 가야지만 성능이 역전되는 현상이 생긴다. 따라서 외부부호로 대체할 BTC의 부호율을 높이는 것이 전체 시스템의 성능 향상을 가져온다.

3. 낮은 차수의 생성다항식이 적용된 BTC

기존의 BTC의 경우 (n,k,d)의 BCH 부호를 곱부호(product code) 형태로 만들어서 복호를 진행한다. 이때 n은 부호화된 전체 부호어의 길이를 뜻하고 k는 정보데이터의 길이를 의미한다. d는 사용되는 부호의 최소 해밍 거리를 의미한다. BTC 부호는 정형화된 BCH 부호를 가로와 세로 방향으로 배열한 후 각각 BCH 부호화를 통해서 전체 부호화 과정을 마치고 복호시에는 각각의 열과 행을 Chase 알고리즘을 이용하여 연관정 반복복호를 한다[3]. 가장 높은 부호율을 만들기 위해서 각각의 열과 행에 사용되는 BCH 부호는 1개의 오류만을 정정할 수 있는 부호를 사용한다. 그럴 경우 각 행과 열에는 n-k개의 패리티가 생기고 전체 시스템에서는 $n^2 - k^2$ 개의 패리티가 생성된다. 이때 DVB-T2 시스템에 적합한 BTC는 LDPC 부호율이 1/2일 경우 (255,247,3)²BTC 부호를 shortened하여 (180,172,3)²BTC 부호를 사용하게 된다. 그럼 외부부호로 사용되는 BTC의 부호율

$$= \frac{172^2}{180^2} = 0.914 \text{ 가 되고, 기존 DVB-T2에서 사용되는 BCH 부호}$$

의 부호화율 R=0.994 보다 낮은 부호율을 가지게 된다. 전체 시스템 입장에서 본다면 전체 부호율 $R_{total} = 0.497$ 에서 $R_{Total} = 0.457$ 로 줄어들게 된다. 이는 동일한 LDPC 부호를 사용하였을 때 외부부호인 BTC를 복호하게 되면 각 정보 데이터의 비트 에너지에서 패리티 비트에 대한 에너지를 많이 분배해줘야 하기 때문에 줄어든 부호율은 정보 데이터의 비트 에너지 손실로 이어진다. 정보데이터의 비트 에너지가 줄어들게 되면 잡음측면에서 볼 때 상대적으로 잡음의 파워가 증가하게 된다. 그로 인해 낮은 SNR 영역에서 BTC와 LDPC의 직렬 연결 부호가 기존의 DVB-T2 시스템보다 더 낮은 성능을 가지다가 높은 SNR 영역에서 BTC의 연관정 반복복호의 성능이득이 보인다. 그림 2.에서 Rayleigh Fast Fading 채널에서의 제안된 시스템과 기존 DVB-T2 시스템의 성능 그래프를 보여준다.

따라서 기존의 (180,172,3)²BTC를 낮은 차수의 생성다항식으로 구성된 BCH부호를 기반으로 하는 BTC를 제안한다. 기존의 BTC는 각 행과 열에서는 8비트씩의 패리티 비트가 생성된다. BTC를 구성하게 되는 BCH 부호의 경우 정보비트의 길이와 부호어의 길이가 제한적으로 생성된다. 길이가 정해진 정보데이터에 정형화된 생성다항식으로 부호어를 생성하지만 제안된 시스템에서는 부호어의 길이에 맞춰 제일 차수가 낮은 (7,4) BCH 부호의 생성다항식을 이용하여 부호어를 생성한다. 이때 생성된 부호어는 BCH부호의 Berlekamp 알고리즘을 통해 경관정 복호를 수행한다. 즉 메시지 비트의 길이는 177이고 부호

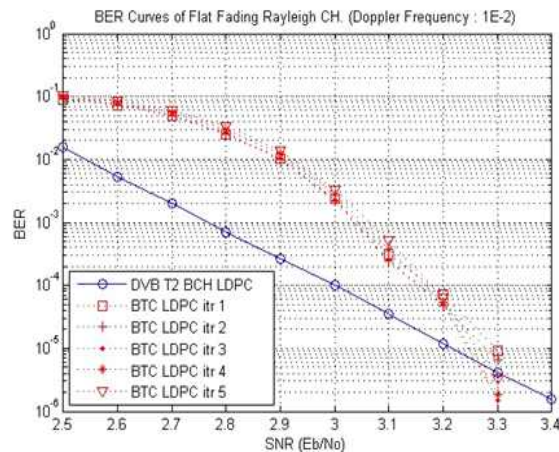


그림 2. DVB-T2 시스템과 180,172,3) BTC & LDPC 시스템의 Rayleigh Fast Fading 채널에서의 BER 성능

어의 길이는 180인 (180,177) BCH 부호가 생성된다. 그림 3.은 낮은 차수의 생성다항식을 적용한 BCH 부호를 Berlekamp 알고리즘으로 복호하였을시 복호 가능 영역을 나타낸다. 기존 (7,4) BCH 부호에서 메시지의 길이가 길어질수록 특정 영역에 대해서 오류 정정이 가능한 구간이 생긴다. 마지막 3비트는 전체 메시지를 통해 부호화된 부호의 패리티 구간이다. 메시지의 길이가 길어지게 되면 마지막 비트를 제외한 7비트에 대해서 1개의 오류를 Berlekamp 알고리즘을 통해서 정정이 가능하게 된다. 또한 앞부분에서 생기는 1개의 오류의 경우 특정한 패턴에 의해 Berlekamp 알고리즘으로 복호를 수행하였을 시 오류정정이 가능한 특정 7비트 구간에서 특정한 비트가 flip되는 형태로 복호가 진행된다. BCH 부호의 경우 오류를 수정할 수 없지만 이 부분은 기존의 BTC 알고리즘으로 정정이 가능하다. 이는 BTC의 복호 알고리즘이 신뢰도가 낮은 비트를 통해 여러 개의 실험 패턴을 만들어내고 그 패턴들 가운데 가장 신뢰도가 높은 패턴의 부호어를 찾아가는 방식이기 때문이다.

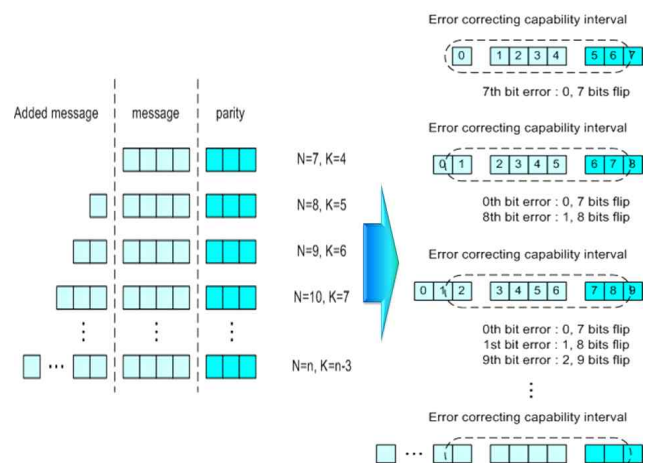


그림 3. 낮은 차수의 생성다항식을 적용한 BCH 부호의 복호 알고리즘

따라서 특정한 위치에서의 오류는 BCH의 Berlekamp 알고리즘으로 오류 정정이 가능하고 다른 위치에서의 오류는 BTC의 Chase 복호 알고리즘을 사용하는 반복 복호 알고리즘으로 오류 정정이 가능하다.

4. 모의실험

본 논문에서 제안된 낮은 차수의 생성다항식을 적용한 BTC는 부호어의 길이를 255로 고정하였다. 또한 부호어 길이에 맞춰 (255,247)의 1개의 오류정정이 가능한 BCH 부호를 통해 생성된 BTC를 비롯하여 낮은 차수의 생성다항식을 적용한 (7,4),(15,11),(63,57) BCH-BTC를 사용하였다. 성능 비교를 위해 기존의 DVB-T2 시스템에서 사용하는 BCH 부호를 shortened 하지 않은 (65535,65343) 길이의 12개의 오류를 정정가능한 BCH 부호를 그대로 사용하였다. 채널환경은 AWGN 채널을 가정하였고 사용된 변조기법은 BPSK 변조 기법이다.

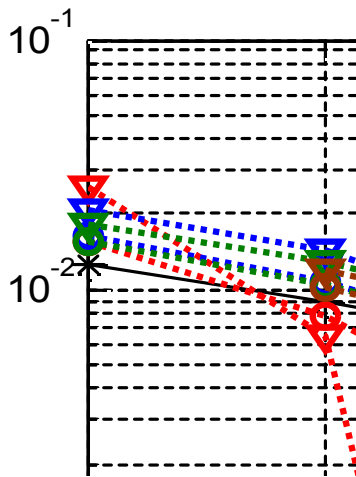


그림 4. DVB-T2 BCH 부호와 제안된 BTC의 성능 비교

DVB-T2 시스템의 BCH 부호는 R=0.994의 부호율을 가지고 있는 반면에 그림 4의 BTC는 각기 다른 부호율을 가지고 있다. 표 1.은 각각의 BTC에 따른 부호율의 변화를 다룬 표이다.

BTC	BCH 생성다항식	부호율 R
(255,247) BCH-BTC	(255,247) BCH	0.9382
(255,249) BCH-BTC	(63,57) BCH	0.9535
(255,251) BCH-BTC	(15,11) BCH	0.9689
(255,252) BCH-BTC	(7,4) BCH	0.9766

표 1. 제안된 BTC에 따른 부호율의 변화

그림 4.에서 알 수 있듯이 제안된 BTC의 경우 각각의 부호에 따라서 반복 복호 횟수에 따른 이득이 보인다. (255,247) BTC의 경우

0^{-6} 의 비트 오류확률 영역에서 약 1.5dB 이상의 반복복호에 따른 성능이득이 보이며 낮은 차수의 생성 다항식을 적용한 BTC의 경우에도 최소 약 0.7dB 정도의 성능이득이 보인다. 또한 제안한 BTC는 모두 기존의 DVB-T2에서 쓰이는 BCH 부호보다 성능이 우수한 것으로 보이고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 3D HDTV 방송을 위해 기존 유럽형 DTB 방식인 DVB-T2 시스템의 채널부호중 외부부호로 쓰이는 BCH 부호의 연관정 복호 시스템인 BTC를 제안하고 부호화율을 높이기 위해 낮은 차수의 생성다항식을 적용하는 알고리즘을 제안하였다. 새롭게 제안된 낮은 차수의 생성다항식을 적용하는 BTC를 기존의 시스템에 적용시키게 된다면 전송효율을 높이면서 방송채널과 같이 fading이 심한 채널에서 높은 SNR 영역에서의 오류마루 현상을 낮추는 것을 기대할 수 있을 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 방송통신위원회의 방송통신 미디어 원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음 (KCA-2011-10912-02002)

참 고 문 헌

- [1] 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
- [2] S.Lin and D.J.Costello, Jr., "Error Control Coding", 2nd Ed. Pearson Prentice Hall. 2004
- [3] R. M. Pyndiah, "Near-optimum decoding of product codes: Block Turbo Codes", IEEE Trans. commun., vol. 46, pp.1003-1010, 1998.
- [4] 권경훈, 임현호, 허준, "지상파 3D HDTV 전송을 위한 DVB-T2 시스템의 채널 부호의 연구 및 연관정 복호에 관한 연구", 한국방송공학회 하계학술대회 2011년 7월