

LLR 방식의 MPE-FEC 복호 알고리즘

김철승*, 김민혁*, 박태두*, 김남수*, 정지원*

*한국해양대학교 전파공학과

e-mail:kcs3120@hhu.ac.kr

Algorithm of MPE-FEC decoding base on LLR method

Chul-seung Kim*, Min-hyuk Kim*, Tae-doo Park*, Nam-soo Kim*, Ji-won Jung*

*Dept of Radio Communication Engineering, Korea Maritime University, Korea

요 약

본 논문은 이동체에 대한 위성방송 및 인터넷 서비스를 지속적으로 제공하기 위해 기존의 DVB-S2 표준화에 DVB-H 와 DVB-T 를 결합한 새로운 DVB-SSP 표준화에 대한 연구를 하고 있다. 이동형 DVB-S2의 표준화는 DVB-SSP 라 불리며 최근에는 DVB-SH로 불리고 있다. 이는 이동체에 대해서 위성을 이용한 통신 방식을 규정하고 있으며, physical layer 와 upper layer 의 두 단계로 부호화 및 복호화하는 방식인 cross layer 부호화 방식을 적용하고 있다. 기존의 방식 경우, LDPC 복호후 CRC 검사를 수행하여 수신된 데이터에서 1 bit 의 오류에도 IP 패킷 모두를 삭제함으로써 복호시 비효율성을 나타낼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 LDPC 복호기에 출력되는 LLR 값을 이용하여 IP 패킷 전체를 삭제하는 것이 아니라 LLR 값이 낮은 비트만 선택적으로 삭제하는 방식을 제안하며, 이를 시뮬레이션 하여 기존의 CRC 방식과 비교하였다.

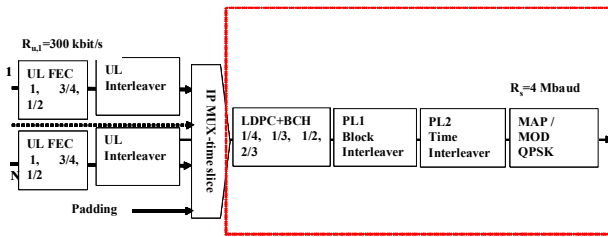
1. 서론

이동체에 대한 위성방송 및 인터넷 서비스를 지속적으로 제공하기 위해 기존의 DVB-S2 표준화에 DVB-H[1] 와 DVB-T[2] 를 결합한 새로운 DVB-SSP 표준화에 대한 연구를 하고 있다. 이동형 DVB-S2(Digital video Broadcasting) 의 표준화는 DVB-SSP 라 불리며[3][4], 이는 이동체에 대해서 위성을 이용한 통신 방식을 규정하고 있으며, PL(physical layer) 와 UL(upper layer) 의 두 단계로 부호화 및 복호화하는 방식인 cross layer 부호화 방식을 적용하고 있다. PL 에서 정정하지 못한 오류를 UL 에서 정정함으로써 오류 정정 능력이 뛰어난 것을 알 수 있다. 최근에 DVB-SSP는 DVB-SH(Satellite service to Handheld devices)로 불리며 더 많은 관심을 모으고 있다. DVB-SH 표준안의 목적은 이동중인 물체에 대해 위성 서비스를 위해서 3GHz 이하의 주파수를 사용하여 데이터의 효율적인 전송을 제공하는 것이다. DVB-SH에는 PL-FEC에 터보부호를 사용하며 e-RS 부호와 Raptor 부호를 사용하기 위해 많은 연구가 진행중에 있다. 수신측에서 터보 복호 후, e-RS 복호기나 Raptor 복호기에 입력되기 위한 연관된 심볼로부터 삭제 정보를 얻을 수 있다. 이동중인 물체에 대해 IP(Internet Protocol) 데이터를 전송하기 위한 DVB-SSP 시스템에서 적용되고 있는 부호화 방식은 UL-FEC 로는 [2]에서의 erasure RS(e-RS) 부호와 virtual interleaver 를 결합한 DVB-H 의 MPE-FEC 구조를 사용한다. e-RS 부호의 장점은 기존의 RS 부호보

다 더 많은 오류 정정이 가능하다는 점이다. PL-FEC 로는 N=16200 인 LDPC 부호를 적용하고 있다. 기존의 방식 경우, e-RS 부호 후 CRC(cyclic redundancy check) 를 포함하여 virtual interleaver 를 한 후에 LDPC 부호화 되어 전송된다. 수신측에서는 LDPC 복호후 CRC 검사를 수행하여 수신된 데이터에서 1 bit 의 오류에도 IP 패킷 모두를 삭제하게 된다. 이것은, 만약 IP 패킷의 크기가 512 바이트라면, 512 바이트의 IP 패킷 중에서 만약 1바이트의 오류가 존재한다고 판단되어지면, 1바이트를 제외하 나머지 511 바이트의 정상적인 데이터도 삭제됨을 뜻한다. 이는 복호시 비효율성을 나타낼 수 있으며 또한 성능 열화의 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 LDPC 복호기에 출력되는 LLR 값을 이용하여 IP 패킷 전체를 삭제하는 것이 아니라 LLR 값이 낮은 비트만 선택적으로 삭제하는 방식을 제안하며, 이를 시뮬레이션 하여 기존의 CRC 방식과 비교하였다.

2. DVB-SSP 시스템 모델

DVB-SSP에서 제안한 시스템 블록 다이어그램은 다음 그림 1과 같다.



(그림 1) 시스템 블록 다이어그램

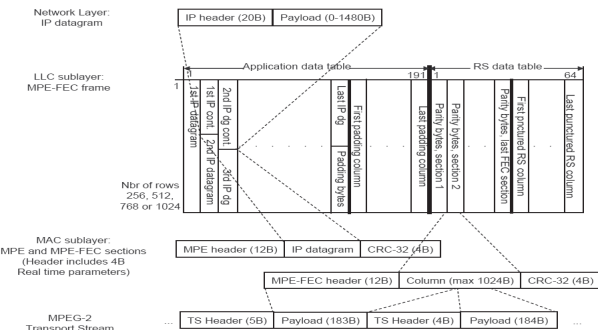
UL interleaver는 virtual interleaver이다.

2.1. e-RS 부호

RS code 에서 에러 정정 능력을 t , 에러 symbol 수를 x 라 두면 $t=(n-k)/2, t > x$ 일 경우 에러 정정이 가능하다. 본 논문에서 사용하고자 하는 e-RS 부호의 삭제에러 복구 능력을 t , 삭제 symbol 수를 x 라 두면 $t=n-k, t > x$ 일 경우 삭제에러 정정이 가능하게 된다. e-RS 부호는 삭제에러 복구 능력이 강한 대신 삭제 위치를 정확하게 알지 못할 경우 그 성능이 RS 부호보다 성능이 저하될 수 있다.

2.2. Virtual Interleaver

그림 2는 MPE-FEC 프레임을 나타낸다. MPE-FEC 메모리는 DVB-H의 입력인 IP 데이터가 입력되는데 IP 데이터의 최대 길이는 헤더를 포함한 4080 바이트이며, UL-FEC 후에 12 바이트의 헤더와 4 바이트의 CRC 를 포함한 최대 4096 바이트이다. 프레임을 구성하는 하나의 심볼은 8 비트로 구성되며, 열의 개수는 255 개의 심볼로 고정되어 있고, 행의 길이는 최고 1024 개의 심볼까지 유동적으로 설정 가능하다. 따라서 총 프레임의 크기는 최대 약 2M 비트를 가질 수 있다. 191개의 심볼로 이루어진 프레임 왼쪽의 부분은 정보 비트 부분이고, 64개의 심볼로 이루어진 프레임의 오른쪽 부분은 RS 부호화 과정으로 생겨난 RS 패리티 부분이다. 전송되는 IP 데이터는 RS 부호 후 CRC 헤더를 붙여 PL-FEC 로 전송된다.



(그림 2) MPE-FEC 메모리

RS 부호화 과정의 전후로 하여 interleaver와 de-interleaver 과정을 수행하지만, 프레임으로 입력되는 순서와 출력되는 순서가 같아 가시적으로 interleaver 과

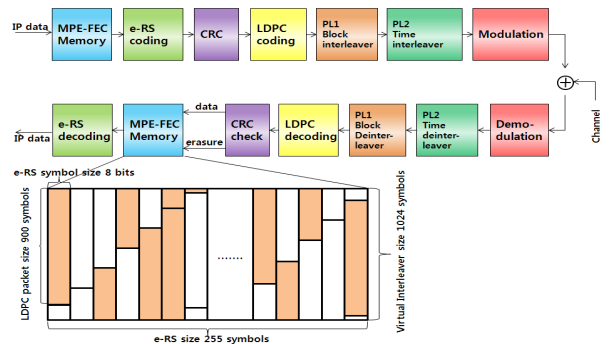
정이 들어나지는 않기 때문에 이를 'virtual interleaver'라고 한다.

2.3. LDPC 부호

최근 모든 무선 통신 분야에서 관심이 되고 있는 채널 부호화 방식인 LDPC 부호화 방식은 터보 부호에 비해 복호화의 복잡도가 낮을 뿐 아니라 좋은 거리 특성으로 오류 마루 현상이 나타나지 않고, 완전 병렬 처리로 고속 처리가 가능한 장점이 있다. 실제로 위성 고선명 TV(HDTV) 표준안인 DVB-S2 시스템은 LDPC를 오류정정부호화 방식으로 권고하고 있다[6]. 반면에 부호화의 높은 복잡도가 LDPC 코드의 중요한 문제점이었으나 최근에 삼각행렬 분해법, Linear-congruence 방법을 사용하여 부호화기를 간단하게 하였다. DVB-S2에서는 parity 부분을 address를 지정하여 쉽게 부호화하고 있다[5][6].

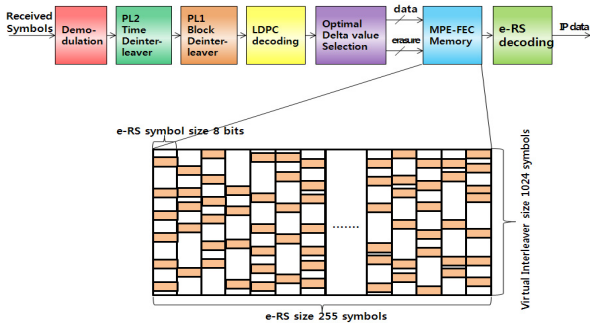
3. 제안한 LLR 기법의 MPE-FEC 복호 방식

수신측에서는 LDPC 복호 후 CRC 검사를 통해 오류가 있는 경우 IP 패킷을 모두 삭제시켜 e-RS 복호를 수행한다. 이는 비록 수신된 데이터에서 1 비트의 오류가 있을 지라도 IP 패킷 모두를 삭제함으로써 복호시 비효율성을 나타낼 수 있다. 그림 3에서는 CRC 기법의 시스템 구조와 IP 패킷 전체가 삭제된 MPE-FEC 메모리 형태를 나타낸다.



(그림 3) CRC 기법의 시스템 구조 및 삭제된 MPE-FEC 메모리 형태

따라서 본 논문에서는 기존의 방식에서 CRC 를 제외한, LDPC 복호기에서 출력되는 LLR 값을 이용하여 IP 패킷 전체를 삭제하는 것이 아니라, LLR 값이 낮은 비트만 삭제하여 패킷에서 삭제된 비트가 포함된 심볼단위의 삭제 방식을 제안한다. 그림 4는 제안한 LLR 기법의 수신단 구조와 IP 패킷에서 심볼 기반의 삭제된 MPE-FEC 메모리를 나타낸다.



(그림 4) LLR 기법의 수신단 구조 및 삭제된 MPE-FEC 메모리 형태

PL-FEC의 LDPC 복호기에서의 출력인 LLR값은 식(1)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
 LLR &= \ln\left(\frac{q_n}{p_n}\right) = \ln\left(\frac{f_n^0}{f_n^1}\right) + \ln\left(\prod_{m \in M(n)} \dots\right) \\
 &= L_{f_n} + \sum_{m \in M(n)} \ln\left(\frac{r_{m,n}^0}{r_{m,n}^1}\right) \\
 &= L_{f_n} + \sum_{m \in M(n)} L_{r_{m,n}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

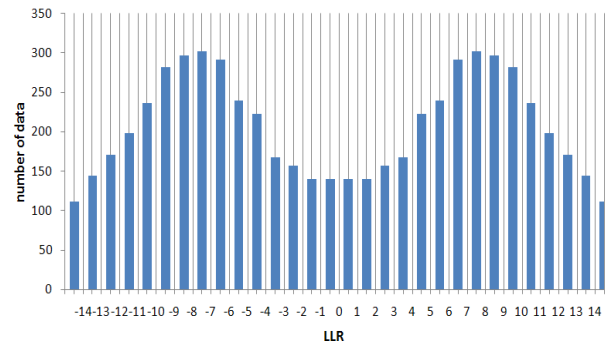
q_n, p_n 은 0과 1의 사후확률, f_n^0, f_n^1 은 0과 1의 채널 전송확률, $r_{m,n}^0, r_{m,n}^1$ 은 0과 1의 패리티 노드의 확률, L_{f_n} 은 채널 전송 확률의 LLR, $L_{r_{m,n}}$ 은 패리티 노드 확률의 LLR을 나타낸다. 결국 최종적으로 출력되는 LLR 값은 각각의 0과 1의 확률 값에 로그를 취한 비율에 의해 나타내어진다. 여기서 LLR 값의 절대치가 작다는 의미는 0의 확률과 1의 확률의 차이가 적다는 의미이며 또한 오류 확률이 높다는 의미이다. 반대로 LLR 값의 절대치가 크다는 의미는 0의 확률과 1의 확률이 차이가 크다는 의미이며 오류 확률이 낮다는 의미가 된다. 이러한 점에서 PL-FEC의 LDPC 복호기에서 출력되는 LLR 값의 삭제 여부를 판단하는 기준인 LLR threshold δ 는 식(2)와 같이 적용된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{If, } r_s \geq \delta, \text{ erased} \\
 & \text{If, } r_s < \delta, \text{ erased}
 \end{aligned} \tag{2}$$

r_s 는 LLR 값의 절대값이며 δ 값은 매우 중요한 역할을 한다. 만약 δ 값이 너무 크게 되면 각 IP 패킷에서 삭제되는 심볼의 개수가 e-RS의 정정능력을 초과하게 되고 오류가 아닌 심볼을 삭제할 수 있게 된다. 반대로 δ 값이 너무 작으면 e-RS에서 오류정정에 실패하게 된다. 따라서 δ 값의 결정이 시스템의 성능에 매우 영향을 주는 것을 알 수 있다.

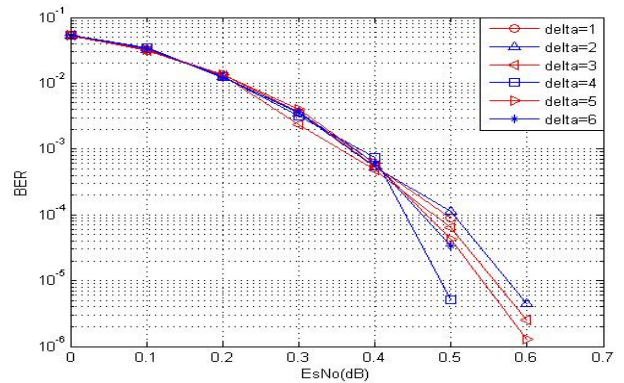
그림 5는 LDPC 복호 후 LLR 값의 분포도이다. UL-FEC

의 e-RS 복호를 위해 오류라 판단되는 심볼의 삭제를 위해서는 그림 5의 LLR 값 분포도에서 적절한 레벨에서의 삭제를 위한 LLR값의 범위를 정하는 것이 중요하다.



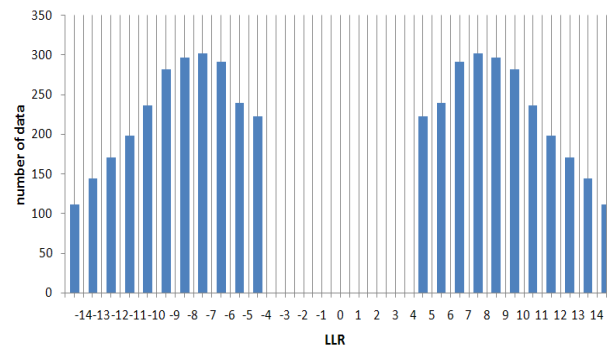
(그림 5) LDPC 복호 후 LLR값 분포도

그림 6은 δ 값에 따른 성능을 시뮬레이션 한 결과이다. 시뮬레이션 결과 $\delta=4$ 일 때 최적임을 알 수 있으며, 이는 LDPC 복호기의 LLR 값의 절대값이 4 이하인 심볼만 삭제시키는 것이 최적임을 알 수 있다.



(그림 6) Delta 값에 따른 LLR 방식의 성능 곡선

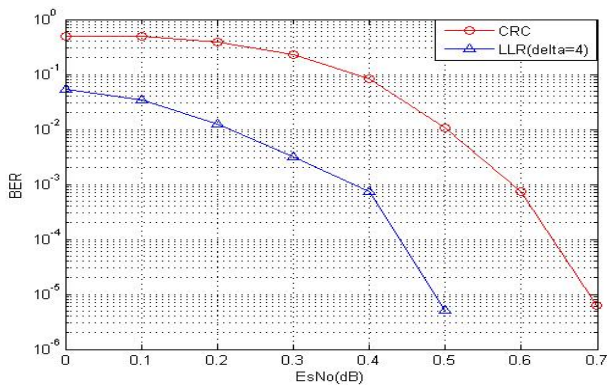
그림 7은 δ 값이 4인 경우의 삭제된 LLR 값의 분포도이다.



(그림 7) LDPC 복호 후 $\delta=4$ 일 때 삭제된 LLR값 분포도

4. 시뮬레이션 결과

그림 8은 기존의 CRC 방식을 사용하여 시뮬레이션 한 결과와 본 논문에서 제안한 LLR 값에 따른 방식을 사용한 성능을 비교 분석한 결과이다. MPE-FEC 메모리의 열의 길이를 256 심볼, 행의 길이를 1024 심볼로 고정하여 UL-FEC 로는 e-RS(255,191,64) 부호와 PL-FEC 로는 DVB-S2 규격의 LDPC(N=16200) 부호를 사용하였다. 시뮬레이션 결과로부터 LLR 값에 따른 방식을 사용할 경우 성능이 약 0.2 dB 개선됨을 알 수 있다. 이는 기존의 CRC 방식에서 오류가 존재한다고 판단되는 해당 IP 패킷 전체를 삭제하는 것이 오류가 아닌 데이터를 포함한 모든 데이터를 삭제하기 때문에 비효율성을 나타내기 때문이다.



(그림 8) CRC 방식과 LLR 방식의 성능 비교

5. 결론

우수한 성능을 만족하면서 가입자가 이동을 하더라도 지속적으로 방송을 제공하기 위해서는 DVB-S2 표준화 등에서 논의되고 있는 LDPC 부호화 방식과 interleaver, 외부 부호와 결합한 새로운 부호화 방식의 연구가 필수적이며, 본 논문에서는 기존의 CRC 검사를 통한 IP 패킷 전체를 삭제하는 것이 아니라, LDPC 복호기에 출력되는 LLR 값을 이용하여 LLR 값이 낮은 비트만 선택적으로 삭제하는 LLR 방식을 제안하였으며, UL-FEC 로는 e-RS(255,191,64), PL-FEC는 DVB-S2 규격의 LDPC(N=16200) 부호로 두고 이를 시뮬레이션 하여 기존의 CRC 방식과 성능 평가를 비교하였다. 시뮬레이션 결과, LLR 방식에서 각 delta 값에 따른 성능을 비교한 결과 delta=4일 때 최적임을 알 수 있으며, CRC 방식과 LLR 방식을 비교한 결과 LLR 방식을 사용할 경우 성능이 0.2dB 개선됨을 알 수 있다.

6. 감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다.(계약번호 UD070054AD)

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음"

(IITA-2008-C1090-0902-0010)

"이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구 조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-313-D00698)."

참고문헌

- [1] G. Faria et al. "DVB-H: Digital Broadcast Services to Handheld Devices", Proc. Of the IEEE, Vol. 94, No 1, January 2006.
- [2] DVB-TM Study Mission on Satellite Services to Portable devices (SSP) Draft Technical Report, March 2006.
- [3] ETSI EN 301 210: "Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and Other Contribution Applications by Satellite". (DVB-S2)
- [4] R. G. Gallager, "Low-Density Parity-Check Codes," IRE trans.information theory, vol.8, pp.21-28, 1962.
- [5] D. J. C. Mackay and R. M. Neal, "Near Shannon Limit Performance of Low-Density Parity-Check Codes," Electron. Letter, Vol.32, PP. 1645-1646, Aug.1996.
- [6] "Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and Other Contribution Applications by Satellite", ETSI EN 301 210: European Standard C. C. Clark and J. B. Cain, Error Correcting Coding for Digital Communications, Plenum Press, 1981.