

## Min-Sum 알고리즘을 이용한 DVB-S2의 LDPC 복호기 성능평가

정해성, 김종태  
성균관대학교 정보통신공학부

### Performance Analysis of LDPC Decoder in DVB-S2 using Min-Sum Algorithm

Hae Seong Jeong and Jong Tae Kim  
School of Informantion and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

**Abstract** - 최근 유럽에서는 사용자와 운영자들의 요구에 부응하여 기존 DVB 위성 광대역 서비스에 대한 표준을 DVB-S에서 DVB-S2로 업그레이드 시켰다. DVB-S2는 ACM을 적용하여 여러 채널환경에서 기존의 표준보다 안정적인 전송과 높은 효율을 보여준다. DVB-S2 시스템은 FEC 알고리즘으로써 LDPC와 BCH를 사용하고 있다. LDPC는 R. G. Gallager에 의해 고안된 블록부호화 방식으로 검사행렬 H에서 1의 sparse 한 성질을 이용하여 큰 블록에서 더 좋은 성능을 발휘하도록 되어 있다. 본 논문에서는 DVB-S2의 중요 서비스시스템인 FEC블록 중 LDPC 복호기에 관하여 ACM을 적용하여 상위수준 시뮬레이션을 실시하였다. 실험결과 각 변조 방식 및 부호율에 따라서 BER이 SNR 0에서 14dB까지 넓게 분포함을 확인하였다. 그러므로 채널 환경에 따라 변조방식과 부호율을 달리하여 속도를 향상시키거나 데이터의 안정성을 높일 수 있다. 그리고 이 때 LDPC 복호기가 충분히 성능을 발휘함을 알 수 있다.

#### 1. 서 론

DVB(digital video broadcasting) 프로젝트는 35개국의 260개 이상의 방송사, 기업, 네트워크 운영자, 소프트웨어 개발자 및 규제위에 의해서 디지털 텔레비전과 데이터 서비스의 글로벌 전송을 위한 기술 사양을 제정했다[1] 초기 시스템은 QPSK 변조를 사용하며 순방향 오류 정정 보호(FEC:forward error correction)로 CC(convolutional code)와 RSC(reed-solomon code)를 연결하여 사용하였다. 이후 발전을 거듭하였지만 운영자와 소비자 모두 위성 서비스에 대한 큰 수용량과 혁신적인 서비스를 요구하게 되었다. 이로 인해 DVB의 2세대에 대한 요구가 증가하게 된 것이다.

2003년 DVB의 위성 광대역 서비스에 대한 새로운 표준 DVB-S2가 제정되었다. 새로운 표준인 DVB-S2에서는 기존에 사용하던 FEC 알고리즘인 CC와 RSC가 아닌 LDPC(low density parity check)와 BCH(bose-chaudhuri-hocquenghem)를 사용하도록 변경되었다. 이로써 전송모드에 따라 Shannon 한계에 0.7dB에서 1dB정도로 근접하는 우수한 성능을 보여줄 수 있게 되었다.[2][3] 또한 ACM(adaptive coding and modulation)을 적용하여 기존 기술 대비 30%의 성능 향상을 보인다.

본 논문에서는 DVB-S2의 중요 서비스시스템인 LDPC 복호기에 Min-Sum 알고리즘을 적용하여 성능을 평가했다. 이 때 LDPC 복호기는 DVB-S2의 ACM에 맞추어 설계하고 64,800bits의 normal FECFRAME으로 설계했다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 DVB-S2

DVB-S2는 2003년 위성 서비스 시스템으로 표준이 제정되었다. 이 시스템에서는 변조방식으로 QPSK, 8PSK, 16APSK 및 32APSK를 사용하고 있으며 각 변조 방식에 따라서 다른 LDPC 부호율을 사용할 수 있다. <표 1>에는 변조방식에 따른 부호율이 나타나 있다. 이처럼 다양한 변조 방식과 부호율을 통해서 채널 환경에 따라 ACM을 적용하여 안정적인 통신이 가능하도록 하였으며 통신 성능을 향상 시켰다. 예로써 DVB-S2는 9MHz 위성 대역 슬롯이 있을 경우 1.2m 안테나를 통해서 맑은 날은 19.8Mbps(16APSK 2/3)를 전송할 수 있다. 그러다 날씨가 흐려져서 페이딩이 발생할 가능성이 높아지면 14.85Mbps(8PSK 2/3)으로 변경하여 전송할 수 있다. 하지만 기존의 DVB-DSNG의 경우는 10.7Mbps(QPSK 7/8)로 할시 고정이 되어있다.[2] 또한 기존 DVB-DSNG에서는 16QAM 3/4 mode로 18.5Mbps씩 4개의 TV 채널에 할당을 했었는데 DVB-S2에서는 직경 7m 안테나에서는 24.75Mbps로 30%이상의 성능 향상을 보여준다.[2]

DVB-S2 시스템은 크게 Mode adaptation, Stream adaptation, FEC Encoding, Mapping, Physical layer framing Base-Band filtering and

quadrature modulation으로 나뉘는데 본 논문에서는 FEC encoding부의 LDPC에 대해서만 논의한다.

<표 1> 변조방식에 따른 부호율[2]

변조방식	부호율
QPSK	1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
8PSK	3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10
16APSK	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
32APSK	3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10

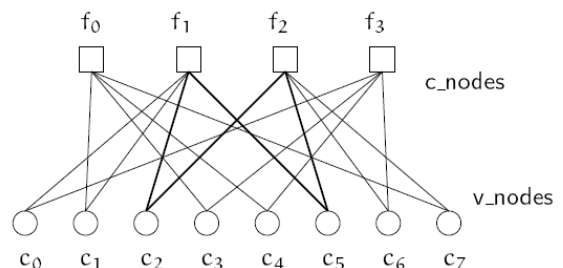
##### 2.2 LDPC

LDPC는 1960년대 R. G. Gallager[4]가 최초 고안한 선형 부호 블록 부호의 일종이다. LDPC는 검사행렬에 1의 개수가 매우 적기 때문에 큰 블록크기를 가지고 있어도 반복 복호를 통해서 복호가 가능하다. 그 당시에는 LDPC를 이용해야 할 만큼의 데이터 처리가 없었고 구현도 힘들었기 때문에 금방 잊혀져 버렸다. 하지만 1990년대 중반에 Mackay와 Neal에 의해 재조명 되었다.[5] 현재 LDPC는 터보부호와 마찬가지로 Shannon의 채널용량 한계에 성능을 가진다.[6]

##### 2.2.1 LDPC 검사행렬

LDPC의 검사행렬(H-matrix)의 구성은 정보비트의 수 K와 부호코드 크기 N으로 이루어진  $H(N-K) \times N$ 이다. 이 검사 행렬은 N-K개의 검사노드(check nodes)와 N개의 변수노드(variable nodes)를 이용하여 Tanner 그래프로 표현이 가능하다. <그림 1>은  $H(n, j, k) = H(8, 2, 4)$ 와 이 행렬의 Tanner 그래프를 보여준다. 여기서 n은 블록의 길이, j는 각 열의 1의 개수를 나타내고 k는 각 행의 1의 개수를 나타낸다. 이때 부호율(code rate)은  $(n - k) / n = 1/2$ 의 부호율을 갖는다.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



<그림 1> H(8, 2, 4), Tanner graph[7]

##### 2.2.2 Min-Sum 알고리즘

로그도메인에서의 합곱알고리즘의 복잡도를 줄이기 위한 알고리즘이 최소합알고리즘이다. 최소합알고리즘은 합곱알고리즘의  $Q(x) = -\log[\tanh(x/2)]$ 의 특성을 이용하여 복잡도를 줄이는 방법이다. <그림 2>에  $Q(x)$ 의 특성이 있다.  $Q(x)$ 는 가장 작은 x가 결과값에 가장 큰 영

항을 미친다.[7] 이 사실을 이용하면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$L(r_{ij}) = \prod_{i' \in v_{jN}} \alpha_{i'} \min_{i' \in j \setminus i} \beta_{i'j} \quad (1)$$

위 (1)식을 구한 후 최소합 알고리즘에 따른 복호를 시작한다. 복호 방식의 소개에 앞서 용어 및 기본 수식을 정의한다.

$r_{ji}$  : 검사노드  $j$ 에서 변수노드  $i$ 로 전달될 메시지로  $r_{ji}(0)$  및  $r_{ji}(1)$ 은 패리티 검사식에 의해 구해진 수신정보가 0, 1일 확률을 나타낸다.

$q_{ij}$  : 변수노드  $i$ 에서 검사노드  $j$ 로 전달될 메시지로  $q_{ij}(0)$ 과  $q_{ij}(1)$ 은 정보가 0, 1일 확률을 나타낸다.

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

$$L(r_{ji}) = \log\left(\frac{r_{ji}(0)}{r_{ji}(1)}\right)$$

$$L(q_{ij}) = \log\left(\frac{q_{ij}(0)}{q_{ij}(1)}\right)$$

$$L(Q_i) = \log\left(\frac{Q_i(0)}{Q_i(1)}\right)$$

복호의 단계는 다음과 같다.

1. 초기화

이때는 채널을 통과하여 수신된 벡터값으로 확률값을 초기화 시켜준다.

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

2. 검사노드 갱신

식 (1)을 이용하여  $L(r_{ij})$ 를 갱신한다.

3. 변수노드 갱신

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

4. 연판정

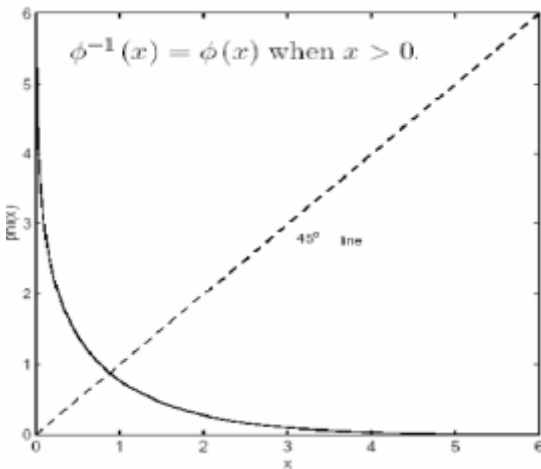
$$L(Q_i) = L(c_i) + \sum_{j \in c_i} L(r_{ji}) \quad (4)$$

5. 경판정

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{if } L(Q_i) > 0 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (5)$$

6. 패리티 검사

생성행렬(H)과 오류가 정정된 코드벡터( $c_i$ )에 대해서  $H \cdot c_i^T = 0$ 을 판정하여 만족하면 패리티 비트를 제거하고 완료한다. 만일 만족하지 않을 경우에는 최대 반복 복호 횟수 내에서 2. 검사노드 갱신으로 돌아가서 반복복호를 한다.

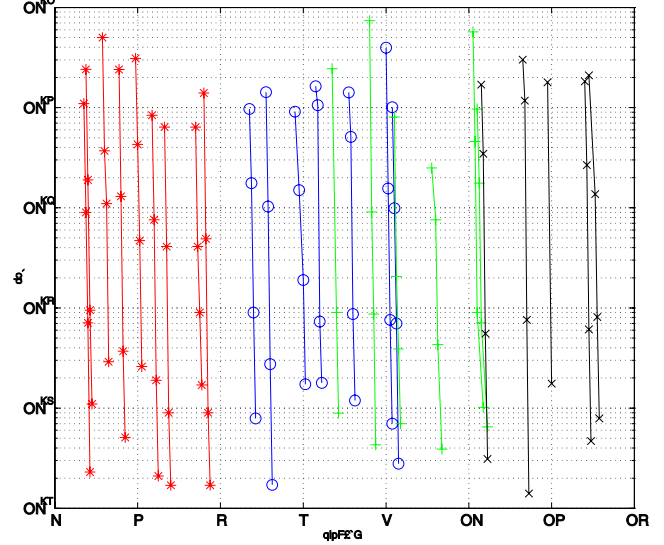


<그림 2> Q(x)=-log[tanh(x/2)] 함수의 그래프[8]

3. 실험

실험은 Min-Sum 알고리즘을 상위수준 언어인 C언어로 구현하였다.

이때 블록의 길이는 normal FECFRAME인 64,800비트를 사용하였다. 또한 AWGN 채널을 통과시켜 SNR 대비 BER의 결과를 얻었다. 실험결과를 <그림 3>의 그래프를 통해서 확인 할 수 있다. LDPC 복호기를 거친 코드가 Shannon 한계에 매우 근접함을 알 수 있다. 이것은 LDPC 복호기의 우수한 성능을 입증해 주는 것이다. 부호율 1/4의 QPSK 변조 방식의 경우 Shannon 한계에 약 1dB정도로 접근하였다. 실험결과 그래프를 통해서 DVB-S2의 ACM이 다양한 채널환경에서 적용 될 수 있음을 알 수 있다. 이것은 변조 방식 및 부호화율에 따른 그래프가 SNR 0에서 14dB사이에서 흩어져 있기 때문이다.



<그림 3> 실험결과

4. 결론

본 논문에서는 차세대 위성 광대역 서비스 표준인 DVB-S2의 ACM을 지원하는 LDPC 복호기에 Min-Sum 알고리즘을 적용하여 상위레벨 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 하였다. 이번 시뮬레이션을 통하여 다양한 채널 환경에 따른 변조방식과 코드율의 변화 속에서 LDPC 복호기의 성능을 평가 할 수 있었다. LDPC의 경우는 블록크기가 커질수록 복호화 과정에서 Shannon 한계에 근접하는 성능을 발휘하기 때문에 블록크기가 큰 DVB-S2 시스템이 LDPC 복호기의 사용에 있어서 좋은 환경을 제공해 줄 수 있음을 알았다.

Acknowledgement

1. 본 연구보고서는 정보통신부 출연금으로 ETRI, SoC산업진흥센터에서 수행한 IT SoC 핵심설계인력양성사업의 연구결과입니다.

[참고 문헌]

[1] 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도  
 [1] A. Morello, V. Mignone, "DVB-S2: The Second Generation Standard for Satellite Broad-band Services", proceeding of the IEEE, VOL.94, NO.1, PP.210-227, 2006  
 [2] Digital Video Broadcasting(DVB): Second generation, EN 302 307 v1.1.2, 2006  
 [3] 김재범, 박현철, "DVB-S2 규격의 변조방식에 따른 LDPC 복호기의 성능평가", 2004년도 대한전자공학회 하계종합학술대회, VOL.27, NO.1, pp.51-54, 2004  
 [4] R. G. Gallager, "Low density parity check codes", IRE Trans. Inform. Theory, vol.IT-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. Lett., vol.32, no.18, pp.1645-1646, 1996  
 [6] S. Y. Chung, G. D. Forney, Jr., T. J. Richardson and R. Urbanke, "On the design of low-density parity-check codes within 0.0045dB of the Shannon limit," IEEE Commun. Lett., vol. 5, pp. 58-60, Feb. 2001.  
 [7] 변용기, "Dual-diagonal 패리티 구조의 LDPC 복호기 설계에 관한 연구", 석사학위 청구논문, 성균관대학교 일반대학원. 2006  
 [8] 김민정, "차세대 유럽형 디지털 위성 방송을 위한 LDPC decoder의 설계", 석사학위 청구논문, 이화여자대학교 과학기술대학원, 2005