

# DVB-S2 규격의 변조방식에 따른 LDPC 복호기의 성능평가

김재범, 박현철

한국정보통신대학교 정보전송연구실  
전화 : 042-866-6809

## Performance Analysis of LDPC Decoder for DVB-S2 system

Jaebum Kim, Hyuncheol Park

Lab. for Information and Transmission  
Information and Communication Univ.  
E-mail : kjbum@icu.ac.kr

### Abstract

In this paper, we analyze the performance of LDPC decoder for DVB-S2 system. The performance analysis is performed by computer simulations based on AWGN channel and high order modulation technique including 16APSK and 32APSK. For normal frame codeword length  $N = 64800$ , the performance of LDPC decoder is only away 0.7dB to 1dB from Shannon limit with respect to each modulation. The constructions and encoding process of LDPC codes which are used for DVB-S2 system are also presented and described.

### I. 서론

현재, Low-density Parity-check (LDPC) 부호[1]는 터보부호에 비해 낮은 복잡도로 Shannon의 한계에 근접하는 우수한 성능을 가지는 부호로서, 터보부호를 대체할 수 있는 부호로 각광을 받고 있으며, 차세대 통신규격의 표준으로 채택될 것으로 여겨지고 있다. 1997년부터 개발되어온 유럽방식 위성방송용 규격인 DVB 규격은 MPEG stream format(Digital multi-program TV

와 HDTV)에 기반하는 방송서비스(BS)외에 인터넷 액세스를 가능하게하는 데이터 서비스 (IS:interactive service)를 제공하기 위하여 차세대 채널코딩기술과 변조기술을 채택한 DVB-S2 규격으로 발전하였다. 이러한 새로운 위성방송의 표준인 DVB-S2 규격은 고차변조기법에 LDPC 부호와 BCH 부호를 결합한 강력한 연접부호를 적용하여 각 전송모드마다 AWGN 채널의 샤논 한계에 0.7에서 1dB 근접하는 우수한 성능을 가진다.

본 논문은 DVB-S2 규격의 고차변조기법을 포함하는 다양한 변조방식에 따른 LDPC 복호기의 성능을 AWGN 채널에서 평가한다. 또한, DVB-S2 규격에 사용되는 irregular-LDPC 부호의 구성 및 부호화 알고리즘을 설명하고 LDPC 복호기의 복호알고리즘인 BP(belief propagation) 알고리즘의 초기복호에 필요한 사전확률값을 DVB-S2 규격의 고차변조기법을 포함하는 다양한 변조방식에 대해서 각각 유도한다.

본 논문의 구성은 2장에서 성능평가에 사용되는 DVB-S2 시스템 모델을 설명하고 3장에서 DVB-S2 시스템에 사용되어지는 irregular-LDPC 부호의 구성 및 부호화 과정에 대해서 설명하고 LDPC 복호기에 입력되어질 DVB-S2의 각 변조방식에

대한 사전확률값을 유도한다. 4장에서 구성된 시스템 모델의 AWGN 채널에 대한 성능을 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

성능평가에 사용되는 DVB-S2 시스템 모델은 그림 1. 과 같다.

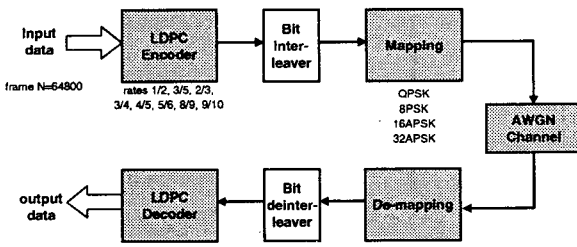


그림 1. 시스템 모델

DVB-S2규격에 사용되는 변조기법은 BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 그리고 32APSK 변조 방식에 따른 비트 매핑을 수행하며, 응용되는 영역 및 전송채널의 상태에 따라 비트 매핑을 결정한다. 여기서, BPSK, QPSK, 8PSK는 Gray 매핑 된다. 또한, FEC는 irregular-LDPC부호와 BCH 부호가 연결된 연결부호를 사용하며 부호화율은 1/4에서 9/10에 이르는 다양한 부호화율을 가진다. 부호화블록의 크기는 normal frame 일때 64800 이고 short frame일때 16200 이다[2]. 본 논문에서는 QPSK, 8PSK, 16APSK, 그리고 32APSK 일때 normal frame  $N = 64800$  이고 부호화율 1/2 에서 9/10에 대한 irregular-LDPC부호의 성능을 분석한다.

## III. Irregular-LDPC 부호의 부호화와 사전확률값

2.1 DVB-S2 시스템의 irregular-LDPC 부호의 구성과 부호화 과정

LDPC 부호는 정보블록의 크기  $k$  이고 부호화블록의 크기  $n$  이라고 할 때, 패리티블록의 크기 는

$m = n - k$  으로 되어, 크기  $(m \times n)$  인 패리티 검사행렬  $\mathbf{H}$  에 의해 정의된다. DVB-S2 에 사용되는 irregular-LDPC 부호는 다음 (1)식과 같이 정의 되는  $\mathbf{H}$  에 의해 정의된다[3].

$$\mathbf{H} = [\mathbf{A}\mathbf{B}] \tag{1}$$

여기서,  $\mathbf{A}$  행렬은 크기  $(m \times k)$  인 sparse 행렬로서 DVB-S2의 규격에 주어진 테이블에 의해 매 360 개마다 weight 의 분포를 cyclic 하게 생성한다[2].  $\mathbf{B}$  행렬은 다음 (2)와 같이 정의되는 cyclic shift 된 일종의 lower-triangular 행렬이다[3].

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ 1 & 1 & & & & \\ & 1 & 1 & & & \\ & & & \dots & & \\ & & & & 1 & 1 \\ & & & & & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

normal 프레임  $N=64800$  에 대하여 구성된 패리티 검사행렬의 column weight  $j$  의 개수를 1/2 에서 5/6 에 부호화율 부호에 대해서 다음 표 1. 에 나타내었다.

표 1. R=1/2 에서 5/6 에 대한 패리티검사행렬의  $j$

code rate \ j	13	12	8	3	2	1
1/2	NA	NA	12960	19440	32399	1
2/3	4320	NA	NA	38880	21599	1
3/4	NA	5400	NA	43200	16199	1
5/6	5400	NA	NA	48600	10799	1

(1)과 같이 구성되는 패리티검사행렬의 경우 부호화블록은 생성행렬을 이용하지 않고 패리티검사행렬을 이용하여 바로 구할 수 있다. 크기  $k$  인 정보블록  $\mathbf{i} = (i_0, i_1, \dots, i_{k-1})$  이고 크기  $n$  인 부호화 블록  $\mathbf{c} = (i_0, i_1, \dots, i_{k-1}, p_0, p_1, \dots, p_{n-k-1})$  라 할 때, 패리티 블록  $\mathbf{p} = (p_0, p_1, \dots, p_{n-k-1})$  은  $\mathbf{H}\mathbf{c}^T = 0$  의 조건을 이용하여 back substitution 방법으로 다음과 같이 결정된다.

$$a_{00}i_0 + a_{01}i_1 + \dots + a_{0,k-1}i_{k-1} + p_0 = 0 \Rightarrow \text{Solve } p_0$$

$$a_{10}i_0 + a_{11}i_1 + \dots + a_{1,k-1}i_{k-1} + b_{10}p_0 + p_1 = 0 \Rightarrow \text{Solve } p_1$$

:

$$\text{Solve } p_{n-k-1}$$

여기서,  $a_{ij}$ 는 **A** 행렬의  $i$  번째 row,  $j$  번째 column 에 위치한 원소이고  $b_{ij}$ 는 **B** 행렬의  $i$  번째 row,  $j$  번째 column 에 위치한 원소를 의미한다.

행렬 **A** 와 **B** 는 sparse 행렬이기 때문에 back substitution 에 의한 부호화 과정은 생성행렬을 이용한 방법에 비해 효율성이 높다고 할 수 있다.

### 2.2 DVB-S2 시스템의 변조방식에 대한 사전 확률값

ISI(Inter Symbol Interference)가 없는 채널환경에서 시간  $t$ 에서의 수신신호  $r_t$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$r_t = s_t + w_t \quad (3)$$

여기서,  $\{s_t\}$ 는 심볼당 평균에너지가 1로 정규화되어 있는  $t$ 에서의  $M$ -ray 변조심볼이며  $w_t$ 는 분산이  $\sigma^2$ 인 복소가우시안 잡음 신호이다. 크기  $(m \times n)$ 인 패리티검사행렬 **H**에 의해 정의되는 LDPC 부호의 반복부호알고리즘인 BP 알고리즘은 **H**의 행에 의해 정의되는 check-node 와 **H**의 열에 의해 정의되는 variable-node 로 구성되는 이분그래프상의 확률값의 전달로 수행된다. 이때, 사전확률값(priori probability)이라고 불리는 초기부호에 사용되는 variable-node 의 입력값을 결정해야 하는데, 이는 채널 및 변조방식에 의존한다. 하나의  $M$ -ray 변조심볼에서  $l$  번째 부호화비트의 사전확률값  $f_l^1$ 은 다음과 같이 결정된다 [4].

$$f_l^1 = \Pr(r_t | x_l = 1) = \frac{\sum_{i'=\{x_l=1\}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} |r_t - s_{i'}|^2\right)}{\sum_{i=0}^{M-1} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} |r_t - s_i|^2\right)} \quad (4)$$

여기서,  $l, i=0,1,\dots,M-1$  이고  $s_i$ 는  $i$  번째  $M$ -ray 변조심볼 그리고  $i'=\{x_l=1\}$ 은  $l$  번째 부호화비트가 1인 변조심볼에 해당하는 인덱스 집합이다. 또한,  $f_l^0 = 1 - f_l^1$  로서 주어진다.

## IV. Recovery mode 시험

식(4)을 DVB-S2 규격의 각 변조기법에 적용하고 로그영역 BP 알고리즘을 사용한 LDPC 복호기의 성능을 분석한다. 부호화블록의 크기는 normal frame  $N = 64800$ 을 사용하였고 부호화율은 1/2에서 9/10이다. 그림 2에 이러한 LDPC 복호기의 AWGN 채널에서의 BER 그래프를 나타내었다.

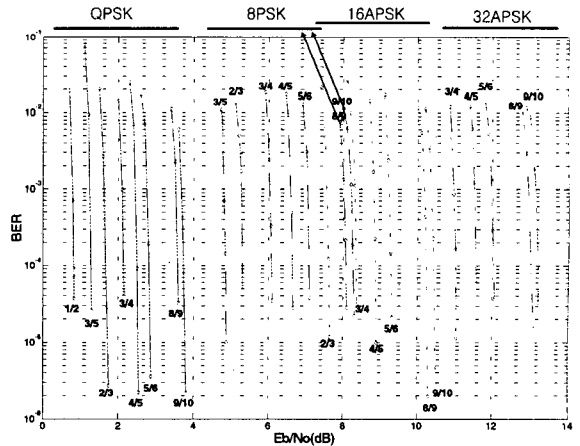


그림 2. LDPC 복호기의 BER 성능

QPSK, R=1/2인 경우 Shannon limit에 약 1dB 근접한 성능을 보임을 알 수 있으며, R=3/4의 경우 QPSK 기준으로 8PSK는 약 4dB, 16APSK는 6.5dB 그리고 32APSK는 9dB 떨어져 있음을 알 수 있다. 또한,  $E_b/N_0$  0dB에서 14dB까지 고루 성능이 분포하여서 다양한 채널환경에 적절히 변조기법을 선택함으로써 안정적인 전송을 할 수 있음을 알 수 있다.

## V. 결론

본 논문은 DVB-S2 규격의 고차변조기법을 포함하는 다양한 변조방식에 따른 LDPC 복호기의 성능을 AWGN 채널에서 평가하였다. 또한, DVB-S2 규격에 사용되는 irregular-LDPC 부호의 구성 및 부호화 알고리즘을 설명하고 LDPC 복호기의 복호알고리즘인 BP(belief propagation) 알고리즘의 초기복호에 필요한 사전확률값을 DVB-S2 규격의 고차변조기법을 포함하는 다양한 변조방식에 대해서 각각 유도하였다. 성능분석결과 frame 길이  $N=64800$ 의 부호에 대해서 각 변조기법마다 Shannon limit에 약 0.7dB에서 1dB 근접한 성능을 가짐을 알 수 있었으며,  $E_b/N_0$  0dB에서 14dB 까지 고루 성능이 분포하여서 다양한 채널환경에 적절히 변조기법을 선택함으로써 안정적인 전송을 할 수 있음을 알 수 있었다.

## References

- [1] R. G. Gallager, Low-Density Parity-Check Codes, MIT Press Cambridge, MA, 1963.
- [2] DRAFT of DVBS2-74r13, ESTI, 2003.
- [3] M. Yang, W. Ryan, Y. Li, " Design of Efficiently Encodable Moderate-Length High-Rate Irregular LDPC Codes," *IEEE Trans. Comm.* Vol. 52, pp. 564-571, Apr 2004.
- [4] H. Steendam, N. Noels and M. Moneneclae, "Iterative carrier phase synchronization for low-density parity-check coded systems," ICC '03, Vol. 5, pp. 3120 - 3124, May 2003.