

논문 2009-04-28

# SNR 예측 정보 기반 적응형 Modified UMP-BP LDPC 복호기 설계

(A Novel LDPC Decoder with Adaptive Modified Min-Sum  
Algorithm Based on SNR Estimation)

박주열, 조결, 정기석\*

(Joo-Yul Park, Keol Cho, Ki-Seok Chung)

**Abstract** : As 4G mobile communication systems require high transmission rates with reliability, the need for efficient error correcting code is increasing. In this paper, a novel LDPC (Low Density Parity Check) decoder is introduced. The LDPC code is one of the most popular error correcting codes. In order to improve performance of the LDPC decoder, we use SNR (Signal-to-Noise Ratio) estimation results to adjust coefficients of modified UMP-BP (Uniformly Most Probable Belief Propagation) algorithm which is one of widely-used LDPC decoding algorithms. An advantage of Modified UMP-BP is that it is amenable to implement in hardware. We generate the optimal values by simulation for various SNRs and coefficients, and the values are stored in a look-up table. The proposed decoder decides coefficients of the modified UMP-BP based on SNR information. The simulation results show that the BER (Bit Error Rate) performance of the proposed LDPC decoder is better than an LDPC decoder using a conventional modified UMP-BP.

**Keywords** : LDPC decoder, ACM, SNR estimation, Modified UMP-BP, Adaptive modified UMP-BP

## 1. 서론

오늘날, 4세대 무선 이동통신 시스템은 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 신뢰성 높은 고속 데이터 전송이 요구되고 있다. 이러한 요구 사항을 만족하기 위하여 강력한 오류 정정 부호화 기법은 차세대 이동통신 시스템에 있어서 핵심적인 요소가 되었다. 부호화 기법은 채널의 성격에 따라 여러 가지 형태로 변형되어 사용될 수 있는데, 기본적으로 오류 정정 코드를 이용하여 신호를 부호화/복호화하는 방법이 공통적으로 사용된다. 오류 정정

코드는 신뢰할 수 없는 채널 상에서 신뢰할 수 있는 통신을 달성하기 위해 사용되는 것으로서, 대표적인 예로 저밀도 패리티 검사(LDPC: Low Density Parity Check) 코드를 이용한 기법이 있다.

본 논문에서 다루게 될 LDPC(Low Density Parity Check) 부호는 차세대 방송 표준 및 이동통신 표준에서 사용되는 강력한 오류 정정 부호 중 하나이다. LDPC 코드는 1962년 Gallager에 의해 처음 제안된 block code의 일종이다[1]. 하지만, 논문 발표 당시의 기술력으로는 복호의 복잡도로 인해 구현이 불가능 하여 실용화 되지 못하였다. 그러나 1995년에 Mackay와 Neal에 의해 Gallager의 방식이 간단한 확률적 복호방법으로서 성능이 매우 우수하다는 것을 발견하여 주목받게 되었다 [2][3]. 또한, 연산 알고리즘의 반복 복호 과정을 완전히 병렬로 처리 할 수 있기 때문에 복호 속도가 빠르다는 장점도 있다[4]. 이러한 이유로 차세대 이동통신용 채널 코딩으로서 LDPC code가 주목받고 있으며, 현재 유럽 방식 고품질 위성방송용 규격

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2009. 11. 25.,

수정·채택확정 : 2009. 12. 20.

정기석 : 한양대학교(kchung@hanyang.ac.kr)

박주열, 조결 : 한양대학교

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.(NPA-2009-(C1090-0902-0045))

인 DVB-T2규격[5]과 중국방식의 CMMB[6]등 다양한 이동용 방송 표준에서도 LDPC Code를 적용하고 있다.

본 논문에서는 ACM(Adaptive coding and Modulation) 기법에서 사용되는 SNR 정보와 적응형 표준화 인수를 연동하여 LDPC 복호기의 성능을 높이는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II에서는 몇 가지 LDPC 알고리즘과 적응형 코딩·모듈레이션(ACM)기법을 소개한다. III에서는 제안된 LDPC 복호기의 구조에 대하여 설명하고, IV에서는 실험결과에 대하여 다룬다.

## II. 배경

### 1. LDPC 코드와 LDPC 코드 복호알고리즘

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

그림 1. LDPC H 행렬의 예제

Fig. 1. An example of LDPC H matrix

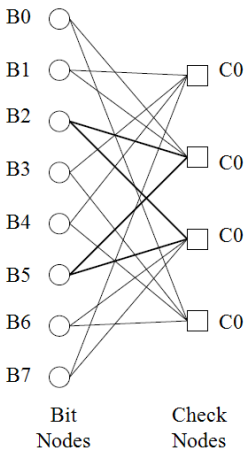


그림 2. 테너 그래프의 예제

Fig. 2. An example of tanner graph

LDPC 부호는 Gallager가 제안한 선형 블록 부호로서, Tanner 그래프로 표현할 수 있는 bipartite

검사 행렬 H로 정의된다. Tanner 그래프는 LDPC 부호를 일반화하여 표현한 이분(bipartite) 그래프이며 비트노드(Bit-Node)와 체크노드(Check-Node), 에지(edge)로 이루어진다. 에지는 H 행렬의 원소가 1인 행을 인덱스로 가지는 비트노드와 열을 인덱스로 가지는 체크노드 사이에 존재한다. 간단한 선형 블록 부호인(8,4) 해밍부호에 대한 H행렬과 Tanner 그래프의 예를 그림 1과 그림 2에 보인다[7].

LDPC 부호는 Tanner 그래프 상의 비트노드와 에지로 연결된 체크노드 사이에 확률 값을 가진 메시지를 반복적으로 전달하면서 신뢰성 있는 확률 값을 가지도록 하는 메시지 전달 알고리즘을 사용하여 복호한다. 대표적인 LDPC 복호 알고리즘으로는 LLR-BP(Log Likelihood Ratio - Belief Propagation), UMP-BP (Uniformly Most Probable), Modified UMP-BP가 있다.

#### 1.1 LLR-BP

LLR-BP에서는 체크노드 연산에서 식(1)과 같은 하이퍼볼릭 탄젠트 연산을 하기 때문에 구현에 많은 어려움이 있다.

$$L'_{mn} = 2 \tanh^{-1} \left( \prod_{n' \in N(m) \setminus n} \tanh \left( \frac{z'_{mn'}}{2} \right) \right) \quad (1)$$

비트노드 연산에는 식(2)와 같이 덧셈 연산으로만 구현이 가능하다.

$$\begin{aligned} z'_{mn} &= F_n + \sum_{m' \in M(n) \setminus m} L'_{m'n}, \\ z'_n &= F_n + \sum_{m \in M(n)} L'_{mn}, \end{aligned} \quad (2)$$

#### 1.2 UMP-BP

UMP-BP 알고리즘은 LLR-BP알고리즘의 복잡도를 줄이기 위한 방법으로 제안되었다. LLR-BP 알고리즘에 비해 약 1dB 정도의 성능 저하를 보이지만 최소값을 찾아 연산을 하므로 복잡도가 상당히 줄어들게 된다.

$$L'_{mn} = \prod_{n' \in N(m) \setminus n} \text{sgn}(z'_{mn'}) \cdot \min_{n' \in N(m) \setminus n} |z'_{mn'}| \quad (3)$$

#### 1.3 Modified UMP-BP

Modified UMP-BP 알고리즘은 LLR-BP 알고리

즘과 UMP-BP 알고리즘의 차이점을 분석함으로써 UMP-BP 알고리즘의 성능을 향상시키기 위하여 제안되었다. LLR-BP 알고리즘과 UMP-BP 알고리즘의 차이는 체크노드 연산을 구하는 방법에 있다.  $L_{mn\_LLR}$ 과  $L_{mn\_UMP}$ 을 비교해 보면 둘의 부호는 같고 크기는 항상 이 보다 더 크다. 그러므로 표준화 인수  $\alpha$ 를 이용하여 값을 보정 하여 준다.

$$L_{mn} = \left( \prod_{n' \in N(m), n} \text{sign}(Z_{mn'}) \right) \cdot \min_{n' \in N(m), n} |Z_{mn'}| \cdot \alpha \quad (4)$$

이러한  $\alpha$ 값은 매 반복 복호 때마다 또한 SNR 값이 변함에 따라 달라져야 하지만 값에 의해 가장 많은 영향을 받는  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ BER 사이에서의 SNR 값에 대응하는 값을 고정시키는 것만으로 충분한 효과를 얻을 수 있다.

### 2. Adaptive Coding and Modulation (ACM)

ACM 기법은 DVB-S2 및 DVB-T2와 같은 이동형 멀티미디어 서비스에 사용되고 있으며 이를 위하여 이러한 표준을 지원하는 복호기에는 채널 상태를 알기 위한 SNR 예측기가 구현되어져 있다.

ACM 기법의 구조는 그림 3과 같다. 기지국에서 송신되는 데이터는 채널 코딩과 인터리빙 및 변조 과정을 거쳐 전송된다. 단말기에서는 채널을 거쳐 수신된 신호로부터 채널 상태에 대한 추정을 수행하고 이에 대한 정보를 송신 단에 전송한다. 채널 상태의 추정은 수신 SNR 기준으로 이루어진다. 송신 단은 이 정보를 기반으로 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨을 결정하여 채널 코딩, 인터리빙 및 변조 방식을 채널 상태에 적합하도록 변화시켜 전송한다.

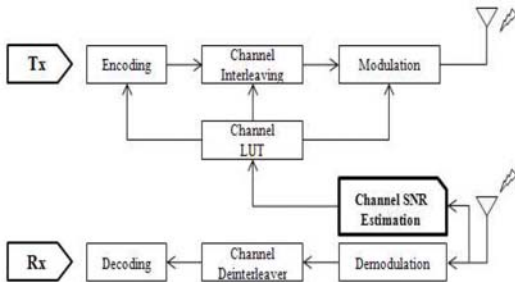


그림 3. ACM을 위한 구조

Fig. 3. The total architecture for ACM

ACM 기법은 채널 상태에 따라 전송률과 에러율

성능의 절충 관계를 감안하여 적절한 MCS 레벨을 선택함으로써 전체적인 시스템 전송률과 전송 품질의 향상을 도모한다.

### III. 제안된 LDPC 복호기

앞서 II에서 살펴보았듯이 Modified UMP-BP 알고리즘은 LLR-BP 알고리즘과 UMP-BP 알고리즘의 차이점을 분석하여 표준화 인수를 사용함으로써 UMP-BP 알고리즘의 성능을 향상시키기 위하여 제안되었다. 이러한 표준화 인수( $\alpha$ ) 값은 SNR값이 변함에 따라 달라져야 하지만 기존 방식에는 표준화 인수를 고정하여 사용하였다.

본 논문에서는 ACM을 위해 반드시 필요한 SNR 예측기의 SNR 예측정보를 LDPC 복호기에 전달하여 표준화 인수 값을 SNR에 따라 변경시키는 구조를 제안한다.

제안된 LDPC 복호기의 전체 구조는 그림 4와 같다. 송신부의 Encoder 신호에 SOF(start of frame)를 삽입하여 수신측에서 SNR을 예측한다. 예측된 SNR 정보는 LDPC Decoder에 전달되어 체크 노드 연산시 표준화 인수 값을 시뮬레이션을 통해 얻은 적절한 값으로 변경하게 된다.

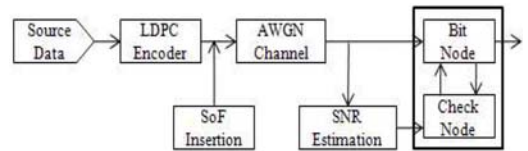


그림 4. 제안된 LDPC 복호기의 구조

Fig. 4. Overall architecture of the proposed LDPC decoder

제안된 적응형 Modified UMP-BP를 사용하기 위해서 SNR 예측기의 정확도는 매우 중요하다. 이를 위해 우리는 DVB-S2 표준과 같이 짧은 SOF에 적합한 SNR 추정 알고리즘인 ML알고리즘과 ML기반의 SNV 알고리즘[18]에 대한 예측 정확도를 실험 하였다. 본 실험에서는 DVB-S2에서 사용하는 SOF (26 symbol)를 이용하였다.

그림 5는 ML알고리즘과 SNV 알고리즘의 성능을 비교한 것이다. 실험결과 SNV 알고리즘이 ML 알고리즘 보다 오차가 작기 때문에 SNV 알고리즘을 선택하여 구현하기로 하였다.

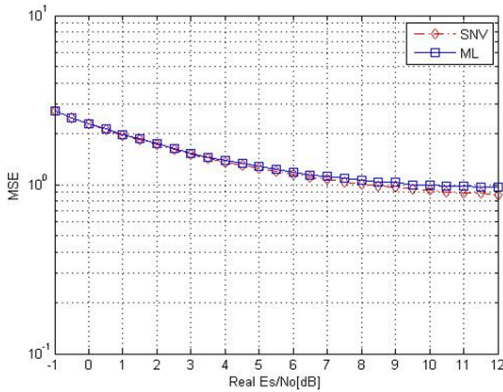


그림 5. 실제SNR 대비 예측SNR의 MSE  
Fig. 5. SNR vs. SNR estimation(MSE)

앞서 설명 했듯이 SNR 예측기는 ACM을 위해 반드시 필요한 모듈이다. 이는 제안된 적응형 Modified UMP-BP 알고리즘을 위해 추가 되어지는 하드웨어가 아닌 ACM을 위해 표준 상 반드시 존재해야 하는 모듈이다. 그러므로 제안된 설계를 위해 별도의 추가된 하드웨어는 없다.

표 1. 실험 결과

Table 1. Experiment result

SNR	적응형 Modified UMP-BP		a=0.8일 경우 평균 반복복호 수
	최적화 인수 값	반복복호 수	
1.00	0.825	49.44	49.71
1.25	0.825	40.92	41.27
1.50	0.825	21.56	21.51
1.75	0.825	14.09	14.15
2.00	0.825	10.93	11.02
2.25	0.850	9.04	9.13
2.50	0.850	7.74	7.82
2.75	0.850	6.78	6.84
3.00	0.850	6.03	6.05
3.25	0.850	5.40	5.47
3.50	0.850	4.92	4.97
3.75	0.850	4.45	4.49
4.00	0.875	4.10	4.13
4.25	0.875	3.81	3.83
4.50	0.875	3.44	3.48
4.75	0.900	3.17	3.21
5.00	0.900	3.02	3.04

#### IV. 구현 및 실험결과

본 논문에서 제안된 적응형 Modified UMP-BP 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증하였다. 표1에 표준화 인수값을 0.8로 고정시켜 복호를 했을 경우와 시뮬레이션을 통해 각 SNR에 대하여 최적화된 인수화 값을 찾아 복호를 했을 경우 평균 반복복호 수가 줄어든다는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 6은 BER 그래프를 통해 적응형 Modified UMP-BP의 성능이 Modified UMP-BP 성능을 확인 할 수 있다. 성능 평가를 위하여 CMMB 표준 [6]을 사용하였으며, LLR, Modified UMP-BP, Adaptive Modified UMP-BP 알고리즘을 사용하였을 경우의 성능을 비교 하였을때, 제안된 알고리즘의 성능이 Modified UMP-BP보다 우수함을 확인할 수 있었다.

표 2는 제안된 알고리즘을 칩으로 구현하기 위해 MagnaChip 0.18um 공정을 이용하여 합성을 진행한 결과를 정리 하였다. 그림 7은 레이아웃 합성 결과를 보여준다.

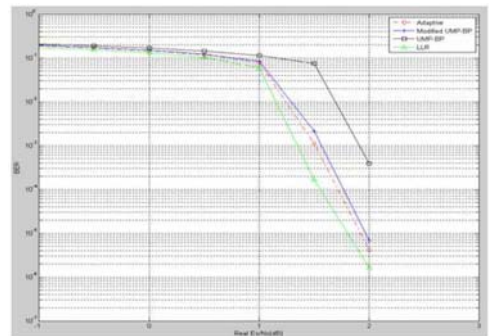


그림 6. BER 성능 측정

Fig. 6. BER performance

표 2. 합성 결과

Table 2. Synthesis result

공정	MagnaChip 0.18um, CMOS
LDPC (in NAND2)	79K
메모리(bits)	221K
SNR 예측기 (in NAND2)	31K
동작 속도 Freq.(MHz)	186Mhz

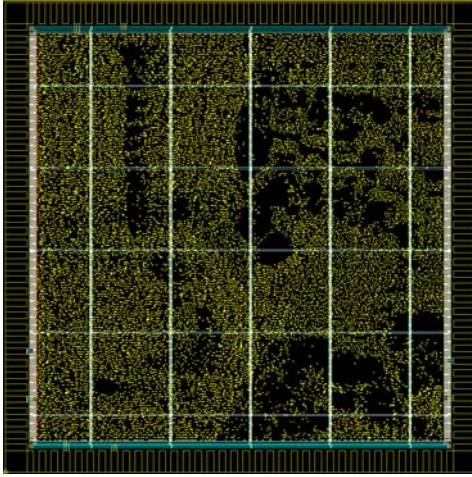


그림 7. 제안된 LDPC 복호기

Fig. 7. Layout of the proposed LDPC decoder

## V. 결 론

본 논문은 SNR 예측기의 정보를 이용하여 LDPC 복호기의 성능을 향상을 위한 적응형 Modified UMP-BP를 제안한다. 이는 별도의 하드웨어 장치의 추가가 필요 없이, 특정 SNR에 따른 표준 인수화 값을 시뮬레이션 통해 미리 look-up table로 저장하고 이를 체크 노드 연산시 SNR 정보에 따라 능동적으로 사용할 수 있도록 하였다. 이를 통하여 LDPC 복호기의 성능을 Modified UMP-BP 알고리즘을 사용하였을 때 보다 더 향상 할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] R. Gallager, Low-Density Parity Check Codes. Cambridge, MA: MIT Press, 1963.
- [2] D. MacKay and R. Neal, "Near shannon limit performance of low density parity check codes", IEE Electronics Letters, Vol.32, No.18, pp. 1645-1646, Aug. 1996.
- [3] D. MacKay, "Good error-correcting codes based on very sparse matrices", IEEE Trans. Inform. Theroy, Vol.45, No.2, pp. 399-431, Mar. 1999.
- [4] C.-K. Liao, et al., "A partially parallel low density parity check code decoder with reduced memory for long code-length", in Proc. 18th VLSIDES. / CAD Symp., Hua-Lien, Taiwan, Aug. 2007.
- [5] <http://www.dvb.org/technology/dvbt2>.
- [6] <http://www.cmmb.org.cn>.
- [7] S. Lin, D. J. Costello, Jr. Error Control Coding(2nd Edition), Prentice Hall, 2004.

**저 자 소 개**

**박주열**



2004년 아주대학교 전자공학부 학사.  
2005년 LG전자 이동통신 기술연구소 연구원.  
2009년 한양대학교 전자컴퓨터통신 석사.

현재, 한양대학교 전자컴퓨터통신 박사과정.  
관심분야: 임베디드 하드웨어, LDPC, DSP 및 SoC 설계.  
Email: jooyul.park@gmail.com

**조결**



2009년 한양대학교 미디어통신공학과 학사.  
현재, 한양대학교 전자컴퓨터공학과 석/박사 통합 석사과정.  
관심분야: 임베디드 하드웨어, 저전력 기법.

Email: keolman2@gmail.com

**정기석**



1989년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사.  
1998년 Univ of Illinois at Urbana-Champaign, Computer Science 박사.  
1998년 Univ of Illinois at Urbana-Champaign,

강의전담 교수.  
2000년 Synopsys, Inc. Sr. R&D Engineer.  
2001년 Intel Corp. Staff Engineer.  
2001년 홍익대학교 컴퓨터공학과 조교수.  
2004년 한양대학교 정보통신대학 조교수.  
현재, 한양대학교 전자통신공학부 조교수.  
관심분야: 임베디드시스템, VLSI및SoC설계.  
Email: kchung@hanyang.ac.kr