

# 철도 통신신호에서의 LDPC에 적용에 관한 연구

## The Study of LDPC for Railroad Signal control system

박주열\*                  김효상\*\*                  박태기\*\*\*                  김봉택\*\*\*\*                  정기석\*\*\*\*\*  
Park, Joo-Yul          Kim, Hyo-Sang          Park, Tae-ki          Kim, Bong-Taek          Chung, Ki-Seok

---

### ABSTRACT

As the railway transportation is getting faster and its operation speed has increased rapidly, its signal control has been complicated. For real time signal processing it is very important to prohibit any critical error from causing the system to malfunction. Today, most of the railroad's controlling communications between wayside and train are made in one way. Therefore, by using a forward error correction technique, which receiver can actively correct the signal error, we can increase the performance and the stability of the railroad signaling system. In this paper, we introduce low density parity check(LDPC) that is used by next generation wireless communications and DMB technique. We verified that we can achieve low bit error rate(BER) in high signal to noise ratio(SNR) by using LDPC.

---

### 1. 서 론

오늘날 무선 이동 통신이나 컴퓨터 등의 정보기술은 현저한 발전을 이루고 있다. 이러한 기술은 열차라는 교통수단의 제어에 적합한 기술이라고도 볼 수 있다. 이러한 차세대 무선통신과 같은 시스템을 철도에 도입하기 위해서는 송수신간의 데이터 오류는 치명적인 사고로 이어질 수 있으므로 무선 신호의 신뢰성은 매우 중요하다. 특히 철도 무선 이동 통신의 경우 path loss, shadowing, fading 등의 다양한 원인 때문에 생기는 잡음에 대한 문제점을 해결하지 못한다면 도입 자체가 불가능할 것이다.

일본 철도에서는 열차제어 분야에 있어서 디지털무선을 기반으로 신간선에서 CARAT(Computer And Radio Aided Train Control System)를 개발하였으며, JR 동-일본에서도 최근까지 사용되고 있는 지상설비가 주체를 이루던 제어방식을 대체하기 위하여 정보기술을 토대로 지상 및 차상의 제어분담을 기능면에서 배치한 안전하고도 간단한 철도제어시스템 ATACS(Advanced Train Administration and Communications System)의 개발을 진행하고 있다. ATACS는 지상제어장치가 자율분산시스템으로서 기능하고 지상 네트워크로 결합되어 있으며, 차상장치는 지상과 별개의 네트워크로 구성되어 있다. 또한 지상·차상 간에도 무선전송로에 의해 유기적으로 결합되어 있다.

---

\* 한양대학교 일반대학원 전자컴퓨터통신공학과, 박사과정  
살롬엔지니어링(주), 주임연구원, 기업회원  
E-mail : radarpark@naver.com  
TEL : (070) 7404-7000 FAX : (031)737-2800

\*\* 살롬엔지니어링(주), 연구원, 기업회원

\*\*\* 살롬엔지니어링(주), 선임연구원, 기업회원

\*\*\*\* 살롬엔지니어링(주), 회장, 기업회원

\*\*\*\*\* 한양대학교 정보통신 대학, 조교수

본 연구는 2009년도 서울시 산학연 협력사업의 지원과 한국과학재단 특정기초연구(NO. R01-2007-000-20891-0)지원으로 수행 되었습니다.

이와 같은 철도 시스템은 커다란 장점을 지니고 있으므로, 일본뿐만 아니라 전 세계적으로도 이러한 연구에 몰두하고 있다. 유럽 각국 공동의 ERTMS·ETCS(European Rail Traffic Management System·European Train Control System)과 미국뉴욕지하철의 CBS(Communications Based Signaling), 샌프란시스코 연안고속통근철도의 AATC(Advanced Automatic Train Control) 연구가 이루어지고 있다. [1]

본 논문은 이러한 다양한 철도 신호를 효율적으로 안전하게 처리하기 위하여 전방향 오류 정정 부호의 하나인 LDPC(저밀도 패리티 체크)에 대하여 소개하고, 일본의 ATACS의 프로토콜에 맞추어 LDPC 부호를 생성 하여 오류 정정 부호로 활용하였을 경우의 성능을 측정 하였다. 이를 통하여 LDPC 부호를 활용하였을 경우 낮은 SNR에서도 열차에 활용 가능한 BER(Bit Error Ratio) 성능을 얻을 수 있음을 확인 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 LDPC (Low Density Parity Check)

#### (1) 개요

LDPC(Low Density Parity Check) code는 1962년 Gallager에 의해 처음 제안된 block code의 일종이다. 하지만 그 당시의 기술력으로는 구현이 불가능한 복호의 복잡도로 인해서 실용화 되지 못하고 잊혀져 오고 있었다.[2] 그러나 1995년에 Mackay와 Neal은 이를 재발견하였고, Gallager의 방식이 간단한 확률적 복호 법에 의해서 성능이 매우 우수함을 보였다.[3] 최근에는 백색 잡음 (additive white Gaussian noise:AWGN) 채널에서 Shannon의 채널 용량에 불과 0.0045dB 떨어진 임계 치를 갖는 LDPC코드가 Chung, et al에 의해 발견 되었다. 이러한 LDPC Code는 LDPC Code가 재발견되기 이전에 가장 우수한 채널 코딩 기법이었던 Turbo Code와 비교했을 때 작은 최소 거리 (minimum distance)를 가지기 때문에 오류 마루(error floor) 현상이 거의 나타나지 않아 훨씬 좋은 bit error rate(BER)를 가진다는 장점이 있다. 또한 합곱(sum-product) 알고리즘을 기반으로 한 반복 복호 과정을 완전히 병렬로 처리할 수 있기 때문에 복호 속도가 빠르다는 장점도 있다. 이러한 이유로 고속과 고성능을 요구하는 4세대 이동통신용 채널 코딩으로 LDPC code가 주목받고 있다. 현재 유럽 방식 고품질 위성방송용 규격인 DVB-S2규격은 LDPC code와 BCH code를 결합한 연결 부호를 적용하고 있다.[4]

#### (2) 복호 알고리즘

##### 채널모델(Channel Model)

본 논문에서는 BPSK 변조 방식을 가정한다. LDPC 부호로 부호화된 부호어  $c = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_N)$  이라 할 때 송신되는 부호열  $s = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_N)$ 이다.  $s$ 가 AWGN 채널 환경에서 송신된다고 하면 수신된 신호는  $y_n = s_n + v_n$ 이 되며 여기서  $v_n$ 은 mean이 0이고 variance가  $N_0$ 인 가우시안 랜덤 변수이다.

##### LLR-BP 알고리즘

Log-Likelihood Ratio-Belief Propagation(LLR-BP) 알고리즘에서는 Gallager가 제안한 “probabilistic decoding”에서처럼 실제의 확률을 사용하는 대신에 log-likelihood ratio를 사용한다는 점을 제외 한다면 사실상 동일한 알고리즘이라고 볼 수 있다. LLR-BP 알고리즘에 쓰이는 파라미터를 다음과 같이 정의 하였다.[5]

$F_n$  : 수신된  $y_n$ 으로부터 얻어지는 비트  $n$ 의 log-likelihood ratio

$$F_n : F_n = \ln \frac{p(c_n = 1|y_n)}{p(c_n = 0|y_n)} = \frac{4}{N_0} y_n$$

$L_{mn}$  : 패리티 검사 방정식  $m$ 에서 비트  $n$ 으로 가는 비트  $n$ 의 log-likelihood ratio

$Z_{mn}$  : 비트  $n$ 에서 패리티 검사 방정식  $m$ 으로 가는 비트  $n$ 의 log-likelihood ratio

$Z_n$  : 매번 반복 복호시에 계산되는 비트  $n$ 의 a posteriori log-likelihood ratio

$N(m) = \{n: H_{mn} = 1\}$  : 패리티 검사 방정식  $m$ 에 관여하는 비트의 집합  
 $M(m) = \{m: H_{mn} = 1\}$  : 비트  $n$ 에 관여하는 패리티 검사 방정식의 집합  
 $N(m) \setminus n$  : 비트  $n$ 을 제외한  $N(m)$   
 $M(m) \setminus m$  : 패리티 검사 방정식  $m$ 을 제외한  $M(m)$

Modifeid Min-Sum 알고리즘의 순서는 다음과 같다.

---

Algorithm 1. Modified Min-Sum

---

1: {Initialization : }

Set iteration number  $i=0$ , and  $F_n$  (LLR) for bit nodes ( $n=1,2,\dots,N$ )  
and for each  $(m,n)$  if  $H_{mn}=1$  set  $Z_{mn}=F_n$  (1)

2: while  $i \leq i_{\max}$

3: for all (the check node) do

where each set  $(m,n)$  if  $H_{mn}=1$

$$L_{mn} = \left( \prod_{n' \in N(m) \setminus n} \text{sign}(Z_{mn'}) \right) \cdot \min_{n' \in N(m) \setminus n} |Z_{mn'}| \cdot \alpha \quad (2)$$

4: end for

5: for all (the bit node) do

where each set  $(m,n)$  if  $H_{mn}=1$

$$z_{mn} = F_n + \sum_{m' \in M(n) \setminus m} L_{m'n} \quad \text{Update} \quad (3)$$

$$z_n = F_n + \sum_{m \in M(n)} L_{mn} \quad (4)$$

6: end for

7: for all  $\hat{c}_n$  for ( $n=1,2,\dots,N$ ) Compute all the tentative do

$$\hat{c} = [\hat{c}_n], \begin{cases} \hat{c}_n = 1 & \text{if } z_n > 0 \\ \hat{c}_n = 0 & \text{if } z_n < 0 \end{cases} \quad (5)$$

8: end for

9: for all  $\hat{c}_n$  for ( $n=1,2,\dots,N$ ) Parity Check do

$$H \cdot [\hat{c}_1, \hat{c}_2, \dots, \hat{c}_N]^T = \begin{cases} 0 & \text{return success} \\ 1 & \text{continue } i+ \end{cases} \quad (6)$$

10: end for

11: end while

---

## 2.2 LDPC 부호 설계 설계

(1) ATACS의 디지털 무선 기술

ATACS 무선은 대역폭 6.25kHz의 공간과를 이용하고 있다. 데이터 전송속도는 9.6kbps, 열차 1 대 당 데이터 576bit, 열차제어용으로 360bit를 할당하고 있으며, 무선국 하나 당 최대 12열차와의 교신이 가능하다. 오류정정부호와 정보의 반복체크를 통하여 잔존오류 확률을 최종적으로는 10-13이하로 할 수 있다고 전망하고 있다.

(2) ATACS Code 구성

ATACS는 Data bit 576bit과 Control bit 360bit을 할당 하여 총 936 bit을 송수신 하는 용도로 사용하고 있다. 이와 같은 메시지 bit을 부호화 하기위하여 LDPC 부호를 생성해야 한다. 일반적으로 사용되는 조직적 형태의 생성 행렬을 Mackay 부호 구성 방법을 이용하여 생성하였다.

Mackay가 제안한 세미 랜덤(semi random) 방법의 검사행렬 생성 방법을 순서대로 나열하면 다음과 같다. [5]

- 1) 모두 0으로 채워진 검사행렬 H를 만든다. 그리고 랜덤하게 각 열의 임의의 위치 값을 dv개 반전시킨다. 이 경우 생성된 검사행렬은 비정규 LDPC 부호가 될 수 있다.
- 2) 각 열이 1을 랜덤하게 dv개 갖도록 H를 생성 한다.
- 3) 각 열이 dv개의 1을 갖고, 각 행은 최대한 균일 하게 1의 개수를 갖도록 H를 생성한다.
- 4) 두 개의 열에서 1의 중복이 최대 1개만 허용되며, 각 열이 dv개의 1을 갖고, 각 행이 dc개의 1을 갖는 H를 생성한다.
- 5) 4번에서 생성된 H에 추가하여 짧은 순환이 없도록 H를 만든다.
- 6) 5번에서 생성된 H에 추가하여  $H=[H_1 H_2]$ 의 형태를 갖게 한다. 여기서 H1의 역  $H_1^{-1}$ 이 존재하거나 H는 최대 랭크(full rank)이어야 한다.

예를 들면.

$$H = [H_1 | H_2] \quad \text{여기서} \quad H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

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

이다. 그리고

$$H_1^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{이므로,} \quad \tilde{H} = [H_1^{-1}H_1 | H_1^{-1}H_2]$$

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

그러므로 생성행렬은 G와 같다.

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

본 논문에서는 936bit의 정보 bit을 Code rate  $R = 1/2$ 인 코드워드를 생성하기 위하여 생성행렬 [936,1872]를 설계 하였다.

### (3) LDPC 복호기의 전체 구조

그림 1은 제안한 복호기의 블록 다이어그램을 나타낸다. 처음 채널을 통해 들어오는 값은 Initialization unit을 통해 Z ram에 저장되며, Bit Node와 Check Node 사이의 반복 복호를 통하여 패리티 체크가 0이 될 때까지 연산이 반복 된다. 최대 반복 횟수는 50회로 정하였다.

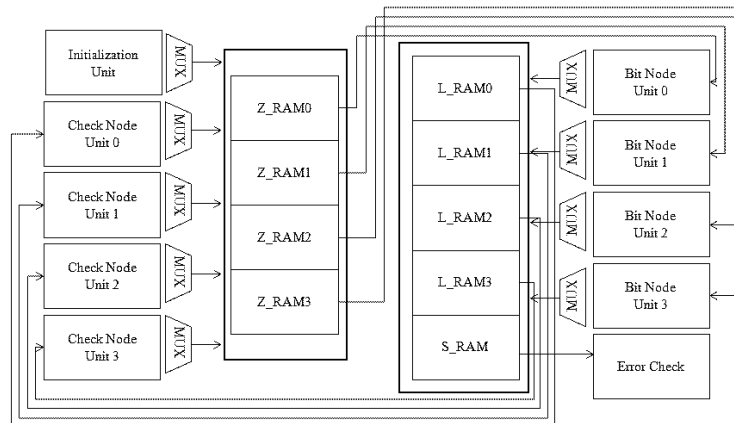


그림 1. LDPC Decoder 전체 구조

### 3. 실험

#### 3.1 실험환경

우리의 작업은 Pentium IV 3.0 GHz with 2048MB Main Memory 진행 하였으며. Visual C를 이용하여 시뮬레이터를 작성 하였다.

#### 3.2 성능 검증

그림 2는 제안된 LDPC 부호를 이용하여 SNR 대비하여 BER 성능을 측정 한 것 이다. 그림에서 보듯이 매우 낮은 SNR(1.8dB)에서 BER이  $10^{-14}$  이하임을 확인 할 수 있다. 실험 시에는 최대 반복 복호 횟수를 50회로 제한하였다.

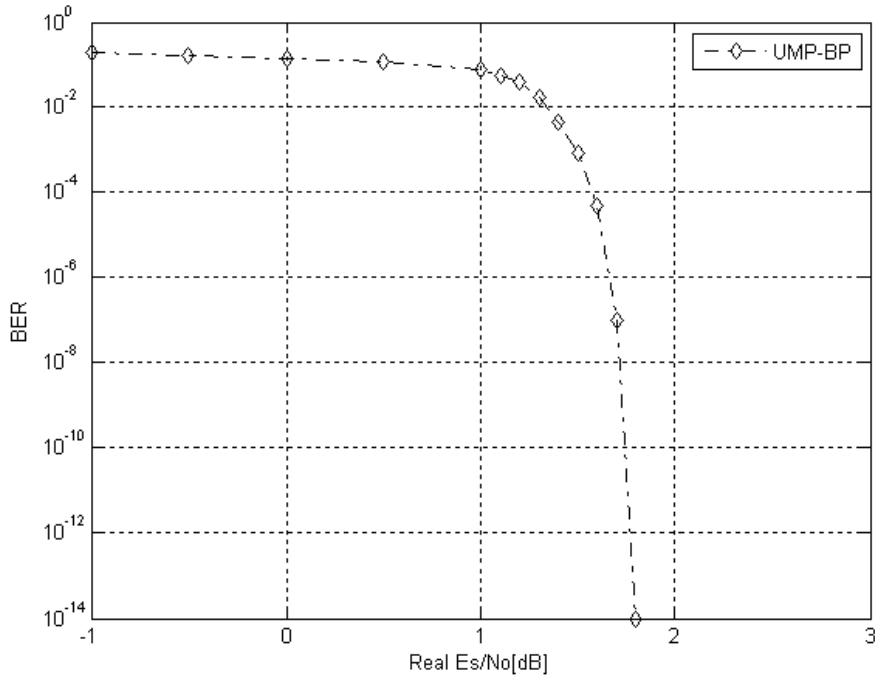


그림 2. LDPC [936,1872] Code, 최대 반복 50 일 경우. SNR 대 BER 그래프

#### 참고문헌

1. 유근수(2006), "무선통신을 이용한 차세대 열차제어시스템", 한국철도기술. 2006년 9.10월 호
2. R. G. Gallager(1963), "Low-Density Parity-Check Code", MIT Press, Cambridge, MA
3. D. J. C. Mackay and R. M. Neal(1996), "Near Shannon limit performance of low density parity check codes", IEEE Electron. Lett., vol 32, no. 18, pp. 1645-1646, Aug.
4. 김성환(2006), "체트 노드 분활에 의한 LDPC 부호의 새로운 메시지 전달 복호 알고리즘", 한국통신학회 논문지 Vol. 31, pp. 310
5. Shu Lin, Daniel J. Costello, Jr.(2004) "Error Control Coding(2nd Edition)", Prentice Hall