

차동 펄스 위치 변조를 이용한 이중이진 터보 부호화된 지능형 교통 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of Double Binary Turbo Coded Intelligent Transport Systems Using Differential Pulse Position Modulation

박재성, 김진영

광운대학교 전자공학과

Key Words : Double-binary turbo code, Differential modulation, Pulse position modulation

목 차

- I. 서론
- II. 시스템 모델
 - 1. 송신기 모델
 - 2. 수신기 모델
- III. 모의 실험 결과
- IV. 결론

I. 서론

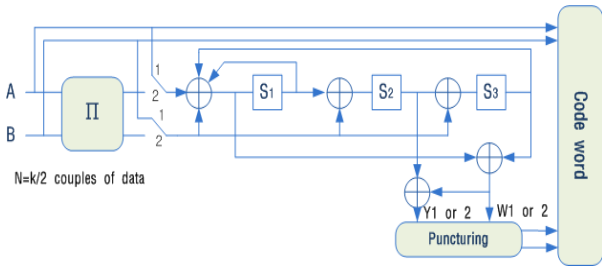
지능형 교통 시스템(Intelligent Transport Systems)은 기존의 교통체계를 정보통신, 전자, 제어, 컴퓨터 등의 첨단기술과 접목시켜 교통의 이동성, 안정성, 효율성 및 교통 환경을 혁신적으로 개선하는 신 교통체계로서 첨단기술을 활용하여 기존의 교통체계를 좀 더 효율적으로 사용하거나 새로운 교통 서비스를 제공함으로써 교통문제를 해결하는 데 목적을 두고 있다 [1]. 하지만 고속도로 이용 시 다양한 정보, 즉 운전자의 안전, 현재 고속도로의 상황, 여행 정보 등 다양한 정보 제공을 위해서는 광대역 고속 이동 접속이 가능한 경제성 있는 무선 인프라가 요구되며, 저전력으로도 고속 데이터 통신과 낮은 에러율의 성능을 갖는 지능형 교통시스템을 필요로 한다. 이를 위해 연속되는 두 신호를 exclusive-OR 연산을 이용하여 재배열 하여 전송하고, 수신기에서 전송된 신호를 이용하여 채널을 추정하여 채널에 의한 정보 손실을 줄이는 낮은 복잡도를 갖는 차동 변조기법과 낮은 전력으로도 잡음의 영향을 적게 받는 펄스 위치 변조를 지능형 교통시스템에 적용시킬 수 있다 [2-3]. 하지만 차동 변조 기법은 선행 신호에 오류가 발생하면 바로 뒤에 들어오는 신호 또한 오류가 발생하게 되어 성능 측면에서 손실이 생기는 단점을 가지고 있다. 이에 무선 채널 상에서 오류가 발생하더라도 수신기가 발생한 오류를 정정 할 수 있는 기술이 필요한데, 이 기술 중 하나가 채널 부호화이며, 여러 기술 중 1993년 Berrou 등에 의

해 제안된 터보 부호는 Shannon의 한계에 가까운 우수한 오류 정정 능력을 가지고 있으며 차세대 이동통신 시스템에서 오류정정 부호 표준으로 채택되었다 [4-6]. 특히 기존의 터보 부호 구조를 변형하여 부호어 사이의 최소 거리(minimum distance)가 증가시켜 복호 성능이 향상되고 처리량(throughput)이 높아져 복호 처리 시간이 감소하는 장점을 지닌 이중이진 터보 부호(double binary turbo code)를 지능형 교통 시스템의 채널 부호로 적용하면 부호화 이득으로 차동 변조에 의해 손실된 성능을 보완할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이중이진 터보 부호기를 차동 펄스 위치 변조된 지능형 교통시스템에 적용하고, AWGN 채널 상에서의 BER 성능을 측정하여 비교 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 이중이진 터보 부호화와 차동 펄스 위치 변조에 대하여 설명하고, III 장에서는 차동 펄스 위치 복조와 터보 복호 알고리즘인 Max-log MAP에 대하여 설명한다. IV 장에서는 모의실험 결과와 결과에 따른 분석을 하고, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.



<그림 1> 시스템 모델



<그림 2> 이중이진 터보 부호화기

II. 부호화와 전송 기술

1. 송신기 모델

a. 이중이진 터보 부호화

그림 1은 본 논문에서 사용된 시스템 모델을 보여주며 그림 2는 이중이진 터보 부호기 구조를 나타낸 것이다. 이중이진 터보부호는 이진 터보부호에 비해 개선된 오류정정능력과 빠른 복호 속도를 보여 고속 통신 시스템에서 적합한 알고리즘이라 할 수 있다.

이중이진 터보부호기는 k개의 정보 비트로 만들어지고 부호화된 데이터 시퀀스는 2개의 CRSC (Circular Recursive Systematic Convolutional) 부호화기에 들어가는데 정보블록 내의 두 개의 이진 비트를 묶어 하나의 2-bit 심벌을 (A, B) 형성한 후 부호화를 수행한다.

이중이진 터보 부호화로 나온 정보 비트 A, B와 패리티 비트 Y1, W1, Y2, W2 (Y1, W1 : 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트, Y2, W2 : 인터리버된 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트)들은 부호율 (code rate)에 따라 천공 과정 (Puncturing)을 거친 후 차동 펄스 위치 변조기에 들어가게 된다.

b. 차동 펄스 위치 변조

이중이진 터보 부호화를 거친 데이터 시퀀스는 차동 부호기와 펄스 위치 변조를 통하여 전송된다. 차동 부호화 과정은 기준으로 사용되는 임의의 첫 번째 비트로 시작한다. $\{d_k\}$ 를 기준 비트를 포함한 차동 부호화된 시퀀스라고 하면, 입력 비트 $\{b_k\}$ 가 1일 경우, 심벌 d_k 를 이전 비트에 대해 바뀌지 않은 상태로 두며, 0일 경우, 심벌 d_k 를 이전 비트에 대해 바꿔준다. 차동 부호화된 시퀀스는 가우시안 펄스를 이용해 펄스 위치 변조를 하게 되며 그림 (3)은 차동 부호화와 펄스 위치 변조를 통한 전송 신호를 보여주며, 다음과 같이 표현 될 수 있다.

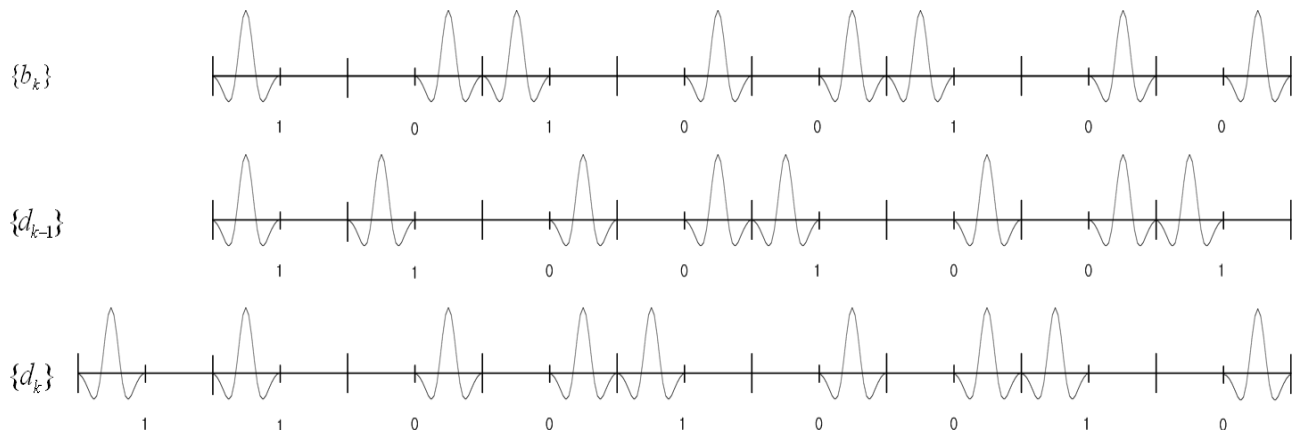
$$s(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} p(t - jT_s - c_jT_c - a_j\varepsilon), \quad (1)$$

여기서, $p(t)$ 는 펄스 성형 필터의 충격 응답이고, t 는 송신기 클락 시간이며, T_s, T_c 는 각각 펄스 반복시간과 칩 지속 시간을 나타낸다. $\{c_j\}$ 는 시간 도약 시퀀스를 나타내고, $\{a_j\}$ 는 동일 비율의 이진 심벌로 구성된 광의의 정적 랜덤 프로세스로 모델링된 데이터 시퀀스이다. ε 은 변조 인자로서, 시스템 성능을 최적화 하기위해 $c_jT_c + \varepsilon < T_s$ 를 만족하여야 한다.

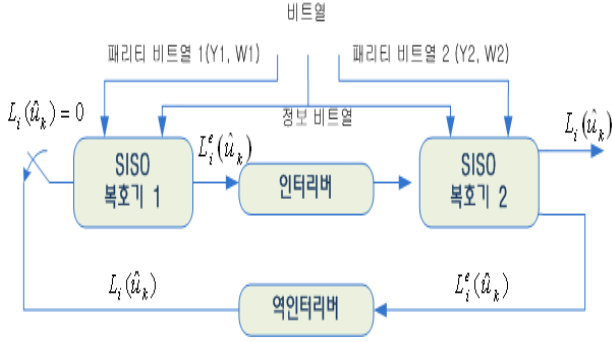
2. 수신기 모델

채널을 통한 수신 신호는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sqrt{E_{RX}} \sum_j \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} a_j p(t - jT_s - \varphi_j - \tau_{nk}) + n(t), \quad (2)$$



<그림 3> 차동 부호화와 펄스 위치 변조를 통한 전송 신호



<그림 4> 이중이진 터보 부호의 복호화기 구조

여기서 $E_{RX} = X^2 E_{TX}$ 는 하나의 송신된 펄스에 대한 전체 수신된 에너지이고, E_{TX} 는 펄스당 송신 에너지이며, a_j 는 j 번째 송신된 펄스의 진폭으로, 본 논문에서는 PPM 변조 신호이므로 $a_j = 1$ 이다. 그리고 φ_j 는 j 번째 펄스의 시간상에서 흔들림을 나타낸다. $n(t)$ 는 수신기 입력단에서의 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN : additive white Gaussian noise)으로 평균은 0이고 표준편차는 σ 이다.

수신 신호는 식 (3)과 같은 상관 마스크 $m(t)$ 와 곱해진 후 적분기를 통과하여 결정 변수 U 를 생성한다.

$$m(t) = p(t - \tau - c_j T_c) - p(t - \tau - c_j T_c - \varepsilon), \quad (3)$$

적분기 출력 U 로 결정된 비트 시퀀스는 다음과 같은 연산으로 복호된다.

$$y_k = (\hat{r}_k \cdot \hat{r}_{k+1}) \bmod 2 \quad (4)$$

여기서 \hat{r}_k 는 시간 k 에서 적분기 출력 U 로 결정된 비트이다. 복호된 비트는 터보 복호기로 입력되게 된다. 터보 복호기에 사용되는 알고리즘으로는 1974년 Bahl 등에 의해 제안된 MAP (Maximum a posteriori) 알고리즘이 대표적이지만 다수의 곱셈과 exponential 연산으로 계산이 복잡하고 많은 메모리가 필요한 단점이 있다. 그 후, 이 문제점을 극복하기 위하여 Log-MAP, Max Log-MAP 알고리즘이 제안되었다. 본 논문에서는 MAP 기반 알고리즘 중 계산량이 가장 적은 Max-log MAP 알고리즘을 이용하여 복호기를 구성하였다.

그림 4는 터보 복호기의 기본 구조를 나타낸 것으로, 결정 변수 U 로 인해 결정된 연속적인 정보비트들과 패리티 비트들이 터보 복호기에 입력 값으로 들어온다. 터보 복호기에서는 Trellis mux를 통해 정보 비트와 패리티 비트로 구분되어 SISO 복호기에 입력으로 들어가게 되며 정보비트, 패리티 비트와 함께 이전 SISO 복호기에서 발생한 사전 정보 값을 함께 사용하여 복호가 수행되는 과정이 반복되고, 이전 복호기 결과 값과 비교하여 추가된 부가 정보들에 대한 복호를 반복하여 결과 값에 대한 신뢰도를 증가시킨다. 이 과정에서 인터리버는 연접된 오류를 분산시키는 역할을 수행한다. 두 개의

SISO 복호기에서 지정된 횟수만큼 반복 복호로 얻는 결과 값은 경관정 과정을 거쳐 최종 값으로 출력된다. 복호기는 먼저 식 (5)와 같이 가지 천이 확률을 계산한다.

$$\overline{r}_k^i(S_{k-1}, S_k) = \ln r_k^i(S_{k-1}, S_k) = \ln p(y_k | d_k) P(d_k), \quad (5)$$

S_k 는 시간 k 에서 레지스터 상태를 나타내고, y_k 복호기로 입력된 비트를 나타낸다. d_k 는 정보 비트를 나타낸다. 다음으로 순방향, 역방향 반복에 의해 생성된 값 $\alpha_k(S_k)$, $\beta_k(S_k)$ 를 구하고 이의 최대값을 구하면 다음과 같다.

$$\overline{\alpha}_k(S_k) = \ln \alpha_k(S_k) \approx \max \ln [\overline{r}_k^i(S_{k-1}, S_k) + \overline{\alpha}_{k-1}(S_{k-1})] \quad (6-a)$$

$$\overline{\beta}_{k-1}(S_{k-1}) = \ln \beta_{k-1}(S_{k-1}) \approx \max \ln [\overline{r}_k^i(S_{k-1}, S_k) + \overline{\beta}_k(S_k)] \quad (6-b)$$

그리고 LLR (Log Likelihood Ratio)를 계산한다.

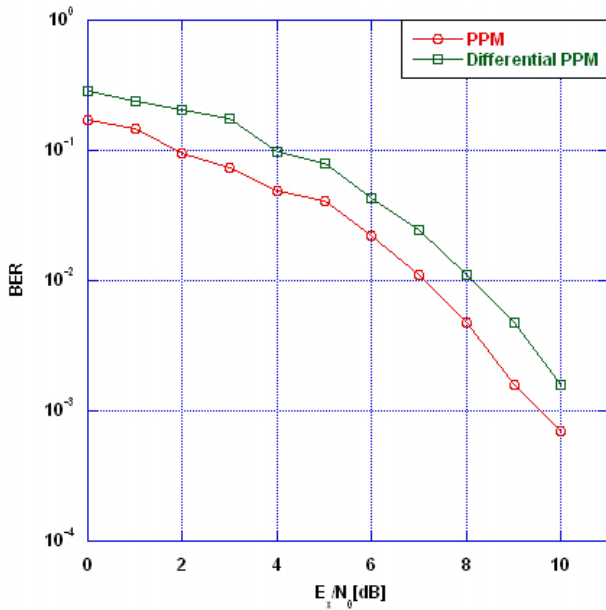
$$L_i(\hat{d}_k) \approx \max [\overline{r}_k^i(S_{k-1}, S_k) + \overline{\alpha}_{k-1}(S_{k-1}) + \overline{\beta}_k(S_k)] - \max [\overline{r}_k^0(S_{k-1}, S_k) + \overline{\alpha}_{k-1}(S_{k-1}) + \overline{\beta}_k(S_k)] \quad (7)$$

여기서 $i = 1, 2, 3$ 이다. 계산된 LLR 값들은 경관정을 통해 최종 결과값이 출력된다.

IV. 모의 실험 결과

본 논문에서는 성능 검증을 하기위해 PPM에 사용되어지는 펄스를 비트당 1개로 하였으며 평균 송신 전력은 -30dBm으로 고려하였다.

그림 5는 차동 변조를 적용한 경우와 안한 경우에 대하여 펄스 에너지 대 잡음 에너지 (E_x/N_0)에 따른 비트 오류율을 보여준다. 앞에서 설명한 바와 같이 차동 변조 기법은 연속되는 두 신호를 exclusive-OR 연산을 이용하여 재배열하여 전송하고, 수신기에서 전송된 신호를 이용하여 채널을 추정하므로 낮은 복잡도의 수신기를 가진다는 장점이 있지만 선행 신호에 오류가 발생하면 바로 뒤에 들어오는 신호 또한 오류가 발생하게 되어 성능 측면에서 손실이 생기는 단점으로 펄스 위치 변조만을 적용한 경우보다 약 2dB의 성능 손실을 보임을 알 수 있다. 따라서 이 손실을 보완하기 위하여 본 논문에서는 이중이진 터보 부호기를 사용하였으며, 실험에서 사용한 이진 이중 터보 부호의 부호기는 8개의 상태를 가지고, 부호율은 $1/3$ 이다. 그리고 부호기에 입력되는 데이

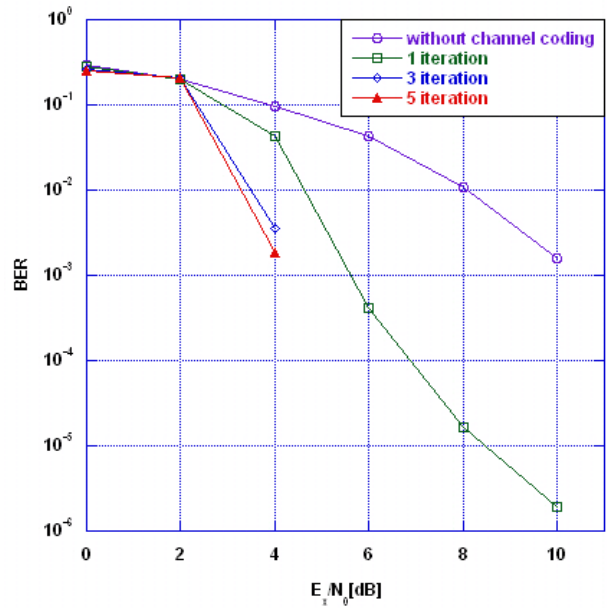


<그림 5> 차동 변조를 적용 한 경우 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류 확률.

터의 한 블록은, A 서브 블록이 212비트, B 서브 블록이 212비트로, 총 424비트이다. 그림 6은 차동 펄스 위치 변조된 시스템에 이중이진 터보 부호화를 적용하여 수신기에서 다양한 반복복호 횟수에 따른 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류 확률을 보여준다. 부호화 되지 않은 경우와 비교할 때, 이중이진 터보 부호화는 펄스 에너지 대 잡음 에너지가 증가할수록 상당한 부호화 이득을 제공하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 반복 복호 횟수가 3회 이상이 되면 더 이상의 부호화 이득이 증가하지 않음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서 수신기의 낮은 복잡도를 갖는 차동 변조와 낮은 전력으로도 잡음의 영향을 적게 받는 펄스 위치 변조를 조합한 차동 펄스 위치 변조를 지능형 교통시스템에 적용하였다. 하지만 차동 변조 기법의 선행 신호에 오류에 의한 성능 손실이 발생하였으며 이를 보완하기 위해 이중이진 터보 부호화를 시스템에 적용하여 성능 분석을 하였다. 성능 분석 결과 이중이진 터보 부호화는 상당한 부호화 이득을 제공하는 것을 알 수 있었으며 반복 복호 횟수가 일정 수준 이상 되면 부호화 이득이 수렴함을 알 수 있었다. 본 논문의 결과는 저전력으로 고속 데이터 통신과 낮은 에러율의 성능을 갖는 지능형 교통시스템을 구현하는데 적용될 수 있다.



<그림 6> 이중이진 터보부호를 적용한 경우 다양한 반복 복호 횟수에 대하여 펄스 에너지 대 잡음 에너지에 따른 비트 오류 확률.

참고문헌

1. 오종택, "ITS 무선 통신 기술," 한국ITS학회지, 제1권 1호, pp. 40-50, 2003.
2. Haykin, Communication System, 4th edition: John Wiley and Sons Ltd, 2001
3. Oppermann, M. Hamalainen, and J. Inatti, UWBT theory and applications, John Wiley and Sons Ltd., 2004.
4. C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes. 1," in Proc. of IEEE ICC93, Geneva, Switzerland, vol.2, pp.1064-1070, May 1993.
5. C. Berrou, C. Douillard, and M. Jezequel, "Multiple parallel concatenation of circular recursive systematic convolutional (CRSC) codes," Annals of Telecommun., vol.54, no.3-4, pp.166-172, Mar. 1999.
6. M. R. Soleymani, Y. Gao, and U. Vilaipornsawai, Turbo Coding for Satellite and Wireless Communications, Kluwer Academic Publishers, 2002.