

수중 레이저 통신에서 LDPC 부호화된 M-레벨 펄스 위치 변조 신호의 연판정 복호 기법

백창욱*, 이아현*,
 이동훈**, 정지원^o

A Soft Decision Decoding Method of LDPC-Coded M-ary Pulse Position Modulated Signals in Underwater Laser Communication

Chang-Uk Baek*, A-Hyun Lee*,
 Dong-Hun Lee**, Ji-Won Jung^o

요약

본 논문에서는 수중 레이저 통신에서 적용되는 M진 PPM 변조 방식의 복조 과정에서 연판정 기법을 제안하며, LDPC 부호화 방식과 M진 PPM 변조 방식을 적용하여 연판정 기법과 기존의 경판정 기법의 성능을 비교 분석하는 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 연판정 기법이 기존의 경판정 기법보다 0.2dB ~ 2.2dB의 성능이 향상됨을 확인하였다.

Key Words : Underwater laser communication, LDPC, Soft decision technique, M-ary PPM

ABSTRACT

In this letter, we propose the soft-decision algorithm for received M-ary PPM signal. Also, we analyze the performance between conventional

hard-decision method and proposed soft-decision method by applying the LDPC coding for underwater laser communication. Simulation results show that the proposed soft-decision method has better performance than the hard-decision one in the range of 0.2 dB to 2.2 dB for different size of M.

I. 서론

수중 레이저 통신에서는 흡수 및 산란 등으로 인해 전송 거리에 따른 손실이 매우 크므로 음파에 비해 전송 거리가 제한적이며, 전송률은 송·수신 거리와 해수의 탁도 등에 의해 결정되는 신호 대 잡음 비(SNR, Signal-to-Noise Ratio)에 의하여 제한된다^[1]. 기존의 수중 레이저 통신 채널 환경에서 주로 적용되는 변조 방식은 펄스 위치 변조(PPM, Pulse Position Modulation) 방식으로 이는 펄스의 위치에 따라 수신 신호의 복조부는 '0'과 '1'의 값인 경판정 값을 복호하므로 RS(Reed Solomon) 부호 등과 같은 블록 부호가 주로 적용되어 왔다^[2]. 그러나 거리의 확장, 요구되는 성능 향상, 해양 채널 환경의 열악성 때문에 turbo 부호, LDPC(Low Density Parity Check) 부호와 같은 반복 부호의 적용을 고려하고 이러한 방식의 연구가 발표되고 있다^[3]. 반복 부호는 입력 심볼이 연판정 값을 가져야 내부적으로 반복을 통하여 성능이 개선되거나 현재까지는 M진 PPM 변조 방식에 있어서 연판정 기법을 적용한 알고리즘이 발표되지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 수중 레이저 채널 환경에 요구되는 성능, 데이터 속도 등을 고려하여 최적의 채널 부호화 방식을 LDPC 부호로 적용하여 반복에 따라 성능을 향상시키는 연판정 값 생성기(SVG, Soft Value Generator) 알고리즘을 제안하고 성능 향상을 확인하였다.

II. 수중 레이저 송수신 모델

본 논문에서 제안하는 수중레이저 송·수신 모델은

※ 본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원(과제번호 : UD170020DD)으로 수행되었습니다.

* First Author : (ORCID:0000-0002-7656-0800)Dept. of Radio Communication and Engineering, Korea Maritime and Ocean University, cubaek@kmou.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-9467-2478)Dept. of Radio Communication and Engineering, Korea Maritime and Ocean University, jwjung@kmou.ac.kr, 정회원

* (ORCID:0000-0002-0683-1783)Dept. of Radio Communication and Engineering, Korea Maritime and Ocean University, ahean@kmou.ac.kr, 정회원

** Agency for Defense Development, leedhun@add.re.kr

논문번호 : 201809-281-A-LU, Received September 12, 2018; Revised October 23, 2018; Accepted October 29, 2018

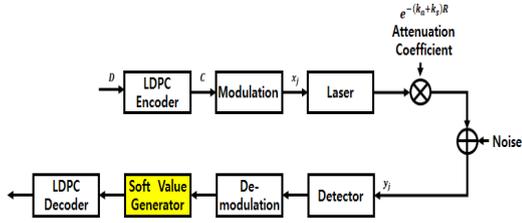


그림 1. 수중 레이저 통신에서 제안된 연관정 모델
Fig. 1. Block diagram for proposed soft decision model in the underwater laser communication

그림 1과 같다. 그림 1에서 입력 신호 K 개의 비트열은 LDPC 부호화 되어 N 개의 C 비트열은 정보 열과 parity 열을 연결한 비트열이며, N 개의 부호어는 M 진 PPM 변조 방식을 적용하고 M 의 크기는 2, 4, 8 등으로 변경 가능하다.

j 시점에서 수중 레이저 채널 통과 후 수신된 신호 y_j 는 다음 식 (1)과 같다.

$$y_j = x_j e^{-kR} + n_j \quad (1)$$

여기서 x_j 는 부호화된 비트열 C 를 M 진 PPM 변조 신호를 나타내며, R 은 송·수신 거리, k 는 흡수 및 산란계수, n_j 은 잡음을 나타낸다. 본 논문에서는 450nm~550nm 대역의 청록 레이저를 사용한다고 가정하고 참고 문헌 [4]에 의해 각 계수를 설정하였다. 수신된 신호 y_j 는 LDPC 복호부로 전송되며, 체크 노드 확률과 비트 노드 확률을 구한다. LDPC 복호부는 체크 노드와 비트 노드 간의 반복을 통하여 성능이 향상 되는데 LDPC 복호기의 입력값 y_j 가 경관정 값이면 반복을 하여도 성능 개선이 되지 않으며, 연관정 값일 때만 성능이 개선된다. 따라서 이러한 M 진 PPM 신호의 복조 후 성능을 향상시킬 수 있는 SVG(Soft Value Generator) 알고리즘이 필요하다. 이진 PPM을 적용할 때 한 주기 당 샘플 수가 N_s 일 때, 그림 2(a)와 같이 펄스의 위치에 따라 ‘1’ 인지 ‘0’ 인지 복조를 하는데, 펄스가 앞에 위치할 경우 ‘1’, 뒤에 위치할 경우 ‘0’이라고 가정한다. 이진 PPM에서 펄스의 위치가 ‘0’ 인 경우 reference 신호를 S^0 , 1인 경우 S^1 이라 할 때, 식 (2)과 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S^0 = \left\{ 0, 0, 0, \dots, 0, s_{\frac{N_s}{2}+1}, s_{\frac{N_s}{2}+2}, \dots, s_{N_s} \right\} \quad (2)$$

$$S^1 = \left\{ s_1, s_2, s_3, \dots, s_{N_s/2}, 0, 0, 0, \dots, 0 \right\} \quad (3)$$

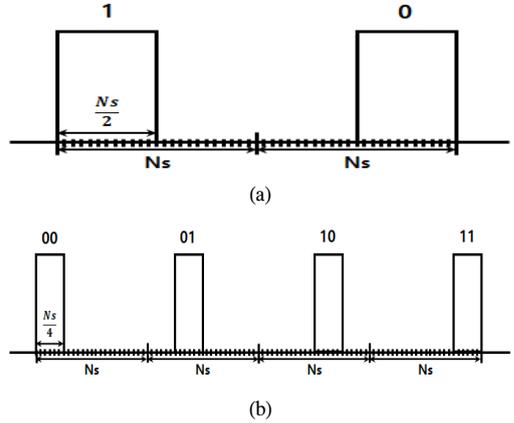


그림 2. M진 PPM 신호, (a) M=2 (b) M=4.
Fig. 2. M-ary PPM signal, (a) M=2 (b) M=4.

여기서 s_j 는 1을 나타낸다. 임의의 T초 동안의 수신 신호 $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_{N_s}\}$ 가 입력될 때, 연관정 값 L 은 다음 식 (4)와 같이 구할 수 있으며, 식 (4)의 확률 값은 식 (5)와 같다.

$$L = P(S^0, Y) - P(S^1, Y) \quad (4)$$

$$P(S^i, Y) = \sum_{j=0}^{N_s} (s_j - y_j)^2 \quad (5)$$

식 (4)에서 수신 신호 Y 가 1일 확률이 높은 신호가 수신되면 $P(S^1, Y)$ 의 값은 작은 값을 가지고 $P(S^0, Y)$ 값은 큰 값을 가지므로 연관정 값 L 은 양수 값을 가지게 되며, 반대의 경우에는 음수 값을 가지게 되어 연관정 입력 값이 가능하다.

M 진 PPM에서 M 이 2일 때는 연관정 값을 간단히 구할 수 있지만 그림 2(b)와 같이 $M=4$ 일 때는 연관정 값의 변환이 어렵다. 따라서 그림 2(b)와 같은 4진 PPM을 적용할 때는 첫 번째 비트와 두 번째 비트의 연관정 값을 구해야 한다.

$$L_1 = \sum_{j=0}^1 P(S^{0j}, Y) - \sum_{j=0}^1 P(S^{1j}, Y) \quad (6)$$

$$L_2 = \sum_{j=0}^1 P(S^{j0}, Y) - \sum_{j=0}^1 P(S^{j1}, Y) \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)은 첫 번째 비트와 두 번째 비트에 대한 연관정 값을 나타낸다. 먼저 첫 번째 비트의 연

판정 값 L_1 을 구하기 위해서는 수신 신호와 그림 2(b)의 reference 신호의 첫 번째 비트가 '0'인 신호의 합에서 '1'인 신호의 합을 빼며, 두 번째 비트 또한 동일하게 적용한다. 이런 과정을 M 이 증가하여도 동일하게 적용하면 각 비트의 연관정 값을 쉽게 구할 수 있다.

III. 시뮬레이션 결과

II절에서 살펴본 내용을 기반으로 본 논문에서는 아래 표 1과 같은 파라미터를 이용하여 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 하였다. 감쇠 계수 $k(k = k_a + k_s)$ 는 0.02로 고정시키고, 거리 R 에 따라 M 을 2, 4, 8로 변화하면서 경판정 값과 연관정 값에 따른 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션에서 사용된 채널 부호화 기법은 IEEE 802.11n 표준에 제시된 블록길이 $N = 1944$ 를 갖는 LDPC 부호를 사용하였다^[5].

아래의 그림 3은 거리에 따른 M 진 PPM의 기존 경판정 기법과 논문에서 제안하는 연관정 기법의 성능을 분석한 그래프이다. 그림 3에서 10^{-3} 에서 연관정

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Number of total data	10^5
Channel coding	LDPC ($N = 1944$)
Coding rate	1/2
Number of samples(N_s)	24
Modulation	M-ary PPM ($M = 2, 4, 8$)
Channel coefficient(k)	0.02
Distance (R)	5 m, 15m

값이 경판정 값에 비해 $M = 4, 8$ 일 때 2dB ~ 2.2dB 성능 향상이 있으며, $M = 2$ 일 때는 거리에 상관없이 연관정과 경판정 결과 값이 동일하거나 0.2dB 정도 차이가 나는 것을 확인하였다. 그림 3(a)와 그림 3(b)를 비교하면 거리가 10 m 정도 증가하였을 경우, 식 (1)에 의해 성능이 감소됨을 확인하였으며, 시뮬레이션 결과 약 1.5dB에서 2dB 정도 감소함을 확인할 수 있다. 거리 R 이 증가하여도 연관정 입력 값에 대한 LDPC 복호기의 성능이 경판정 입력 값일 경우보다 향상되는 것을 알 수 있으며, M 이 클수록 경판정 대비 연관정이 제공하는 성능의 이득이 증가함을 보인다.

IV. 결론

수중 레이저 통신에서는 수중에서의 레이저 흡수, 산란 등으로 인한 왜곡이 성능 열화의 주요 원인으로 파악되고 있다. 본 논문에서는 청록 레이저를 이용한 수중 레이저 통신에 적용 가능한 채널 부호화 기술로써 LDPC를 적용하였다. LDPC 복호기는 반복을 통해 성능이 향상되는데 복호기의 입력 값이 경판정 값이면 반복을 하여도 성능 개선이 되지 않으며, 연관정 값일 때만 성능이 개선된다. 따라서 LDPC 복호기의 성능 향상을 위해 M 진 PPM에서 논문에서 제안한 연관정 기법과 기존 경판정 기법의 성능을 비교 분석하였다. 채널 환경의 감쇠 계수 k 는 청록 레이저로 가정하여 0.02로 고정하였으며, 거리 R 과 M 진 PPM의 M 의 크기에 따른 성능을 분석하였다. 시뮬레이션을 통해 M 이 클수록, R 이 작을수록 연관정의 결과 값이 경판정일 때보다 성능이 향상됨을 확인하였다.

References

[1] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Underwater optical wireless communication," *IEEE*

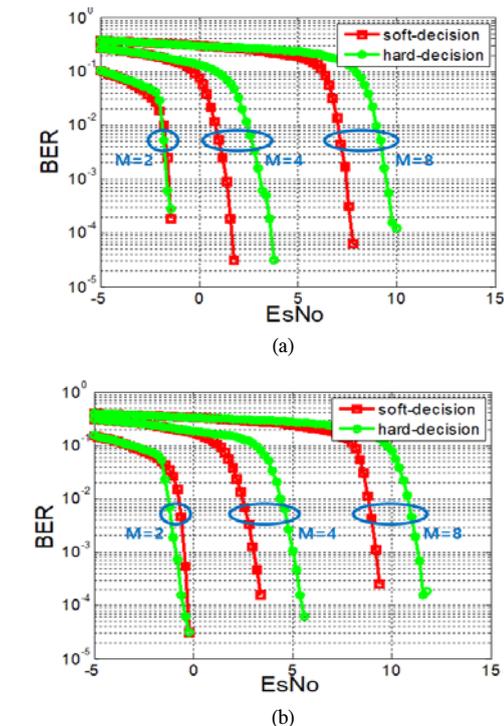


그림 3. 거리 및 M 에 따른 연관정과 경판정의 성능, (a) $R = 5m$ (b) $R = 15m$.
Fig. 3. BER performance of soft decision and hard decision based on distance and M , (a) $R = 5m$ (b) $R = 15m$.

Access, vol. 4, pp. 1518-1547, Apr. 2016.

- [2] W. C. Cox, J. A. Simpson, C. P. Domizioli, J. F. Muth and B. L. Hughes, "An underwater optical communication system implementing Reed-Solomon channel coding," in *Proc. OCEANS*, pp. 1-6, Quebec, Canada, Sept. 2008.
- [3] A. H. Lee, C. U. Baek, D. H. Lee, and J. W. Jung, "Underwater laser communication using LDPC coded method," *J. KIIECT*, vol. 11, no. 3, pp. 246-252, Jun. 2018.
- [4] N. G. Jerlov, *Optical oceanography*, American Elsevier Publishing company, New York, 1968.
- [5] IEEE P802.11n=D10: "Draft IEEE Standard for Local Metropolitan networks—Specific requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC), and Physical Layer (PHY) specifications: Enhancements for Higher Throughput," Mar. 2006.