

# 채널 부호화 기법을 적용한 수중광통신 실험 결과 분석

홍예권, 정현우, 정동민, 정지원, 강진일\*, 손현중\*

한국해양대학교, \*(주)볼시스

cl170625@g.kmou.ac.kr, gusdn0930@g.kmou.ac.kr, ehdals7741@naver.com,

jwjung@kmou.ac.kr, \*realone@kmou.ac.kr, \*rovson90@gmail.com

## Analysis on the results of underwater optical communication experiments using channel coding techniques

Hong Ye Kwon, Jeong Hyun Woo, Jeong Dong Min,

Jung Ji Won, Kang Jin Il, Son Hyun Joong

Korea Maritime and Ocean Univ., Borsys Co.

### 요약

본 논문은 OOK-RZ 변조와 (2, 1, 7) Convolution, LDPC 부호화 방식을 적용한 수중광통신 실험에 대한 결과를 분석한다. 실험은 한국해양대학교 앞 바다에서 통신 거리 3m, 5m 실험을 수행하였으며, 송신기 LED 모듈 개수, 수신기 집광렌즈 장착유무에 따라 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과, 대부분의 실험에서 데이터를 모두 성공적으로 복호하였으며, 수신 신호의 각 심볼의 전력을 합하여 비트를 판별하는 복조 방식이 성능이 우수하였다.

### I. 서론

LED와 같은 광신호를 이용한 수중통신에서는 수중 매질에 의한 흡수 및 산란 등으로 인하여 오류가 발생한다. 이러한 수중광통신의 특성으로 인해 통신의 신뢰성이 떨어지고, 이에 따라 전송 거리를 감소해야 하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 저전력으로 통신 성능을 보장하는 채널 부호화 기법의 적용이 필요하다. 채널 부호화 기법으로는 convolutional 부호화 방식과 LDPC(Low-Density Parity-Check) 부호화 방식이 수중 광통신에서는 성능 및 속도 면에서 효율적인 부호화 방식이다[1-2]. Convolutional 부호는 입출력 비트는 자유롭게 설정할 수 있으며, Viterbi 복호 방식에 있어서 연관정(Soft decision)일 때 성능이 향상된다[3]. LDPC 부호는 대표적인 반복 블록 부호로서 입출력 비트의 사이즈가 정해져 있으며, 성능이 우수하나 구현 관점에서 복잡하다. 일반적으로 LED와 같은 광신호의 경우에는 OOK(On Off Keying) 변조 방식처럼 신호의 세기를 이용하여 정보를 표현하는 IM-DD(Intensity Modulation-Direct Detection) 방식이 적용된다[4]. 본 논문에서는 한국해양대학교 앞 바다에서 두 가지의 부호화 기법으로 부호화된 데이터를 OOK-RZ(OOK-Return to Zero) 변조 방식을 사용하여 실험하였으며, 송수신 장비 및 거리 등에 따라 실험 데이터를 분석하였다.

### II. 본론

OOK 방식은 타임 슬롯 안의 펄스 유·무를 사용하여 정보 비트의 값을 표현한다. 예를 들어 펄스가 존재하면 '1', 펄스가 없으면 '0'으로 표시한다. OOK 신호를 복조할 때, 수신단에서는 타임 슬롯에서 수신된 신호의 에너지와 미리 설정된 임계값(Threshold)을 비교하여 비트를 판정한다. 이러한 임계값은 채널 환경에 따라 변화되어야 하는데, 예를 들어 배경 광의 세기가 큰 경우 잡음 수준이 높아 임계값도 높아야 한다. 가변적인 임계값 설정은 복조 성능에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 수신 신호의 각

심볼마다 최대의 피크치로 비트를 판별하는 방식(복조 방식 1)과 수신 신호의 각 심볼의 전력을 합하여 비트를 판별하는 방식(복조 방식 2)을 적용하여 실험 성능을 분석하였다.

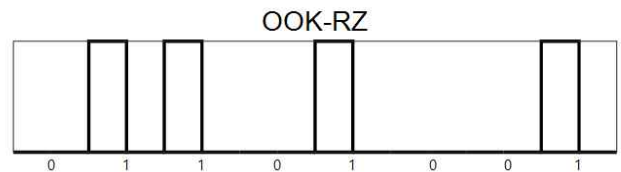


그림 1. OOK-RZ 변조방식이 적용된 신호 예시

Fig 1. Example of signal with OOK-RZ modulation applied

그림 1은 OOK-RZ 변조방식을 사용한 신호를 나타낸 것이다. OOK-RZ 방식은 비트 정보가 '1'일 때, Zero 구간으로 귀환하는 변조 방식이다. 즉, OOK-RZ 방식은 OOK 방식에 비해 귀환하는 Zero 구간이 클수록 전력소비가 효율적이다. 채널 부호화 방식으로는 (2,1,7) convolutional 방식과 LDPC 방식을 사용하였다. Convolutional 부호의 복호기는 연관정 입력이 가능한 Viterbi 복호기를 사용하였고, LDPC 부호의 복호기는 패리티 체크 매트릭스 H에 기반한 LLR 계산으로 이루어진다[5]. 이론상 광통신의 높은 전송속도에 맞는 복호속도를 가지는 LDPC 방식이 convolutional 방식에 비해 복호 속도 및 전력 효율성 측면에서 더욱 적합하다.

한국해양대학교 앞 바다에서 해상 실험을 통해 설계한 송수신 시스템의 성능을 확인하였다. 실험은 부호화 방식, 송신단의 LED 개수, 통신 거리, 송신기 종류, 수광 센서 종류에 따른 성능 분석에 초점을 두고 송수신 간 수직방향 통신으로 실험하였다. 오후 세 시경 실험 당시 수중 채널은 평균 탁도 3.2[NTU], 평균 배경 광은 355[lux]의 환경을 가진다. 송신기는 탑재된 LED 개수가 다른 대형 광송신기와 소형 광송신기를 사용하였다. 대형 광송신기는 8개의 모듈이 있으며, 모듈 당 LED 8개가 탑재되어 있

다. 소형 광송신기는 1개의 모듈이 있으며, 모듈 당 LED 3개가 탑재되어 있다. 수신기는 수광 면적  $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 의 SiPM(Silicon Photo Multiplier) 수광센서 모듈(KETEK-PE3315-WB - TIA-SP)을 사용하였다. 수신기에 40mm 집광렌즈를 장착하였다. 소형 광송신기를 사용한 실험에서는 수신기에 집광렌즈를 미장착한 경우에 대해서도 실험을 하였다. 표 1과 같은 4가지의 파라미터에 따라 8회의 실험이 진행되었다.

표 1. 실험 파라미터

Table 1. Experiment parameters

실험 회차	거리(m)	송신기	LED 개수	수신기 집광렌즈 장착 유무
1	3 m	대형	8	장착
2	3 m	대형	16	장착
3	3 m	대형	32	장착
4	3 m	대형	48	장착
5	3 m	대형	64	장착
6	3 m	소형	3	장착
7	3 m	소형	3	미장착
8	5 m	대형	64	장착

표 2와 표 3은 각각 convolutional 부호화 방식과 LDPC 부호화 방식을 사용한 실험 결과를 나타낸다.

표 2. Convolutional 부호화 방식을 사용한 실험 결과

Table 2. Experimental results using convolutional coding

실험 회차	복조 방식 1		복조 방식 2	
	Uncoded BER	Decoded BER	Uncoded BER	Decoded BER
1	0	0	0	0
2	$10^{-2.44}$	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	$10^{-1.67}$	0	$10^{-3.29}$	0
7	$10^{-0.32}$	$10^{-0.27}$	$10^{-0.41}$	$10^{-0.30}$
8	$10^{-1.31}$	0	$10^{-1.39}$	0

표 3. LDPC 부호화 방식을 사용한 실험 결과

Table 3. Experimental results using LDPC coding

실험 회차	복조 방식 1		복조 방식 2	
	Uncoded BER	Decoded BER	Uncoded BER	Decoded BER
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	$10^{-0.94}$	$10^{-1.00}$	$10^{-1.81}$	0
7	$10^{-0.31}$	$10^{-0.32}$	$10^{-0.76}$	$10^{-0.74}$
8	$10^{-1.02}$	0	$10^{-1.35}$	0

실험결과 (2, 1, 7) convolutional과 LDPC 두 가지의 부호화 방식에서 실험 회차 7을 제외한 모든 실험에서 오류가 모두 정정됨을 알 수 있다. 그리고 수신 신호의 각 심볼마다 최대의 피크치로 비트를 판별하는 방식(복조 방식 1)보다는 수신 신호의 각 심볼의 전력을 합하여 비트를 판별하는 방식(복조 방식 2)이 성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 주어진 심볼 당 샘플 수에서 복조 방식 1의 경우보다 복조 방식 2가 비부호화 오류율의 성능이 향상됨을 알 수 있으며, 이는 잡음의 효과를 줄일 수 있어 효과적으로 복조할 수 있기 때문이다.

### III. 결론

수중광통신은 전송 거리는 짧지만 수중음향통신에 비해 매우 높은 전송율을 가진다. 하지만 수중채널의 다양한 특성으로 인해 통신의 신뢰성이 하락하고, 전송 거리가 감소하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 저전력으로 통신 성능을 보장하는 채널 부호화 기법의 적용이 필요하다. 본 논문에서는 한국해양대학교 앞 바다에서 (2, 1, 7) convolutional과 LDPC 부호화 기법으로 부호화된 데이터를 OOK-RZ 변조 방식을 사용하여 송수신 장비 및 거리 등에 따라 실험 데이터를 분석하였다. 실험 분석 결과 대부분의 실험에서 데이터를 모두 성공적으로 복호하였으며, 수신 신호의 각 심볼마다 최대의 피크치로 비트를 판별하는 방식보다는 수신 신호의 각 심볼의 전력을 합하여 비트를 판별하는 방식이 성능이 향상된 것을 확인하였다. 향후에는 OOK-RZ 변조 방식이 아닌 PPM(Pulse Position Modulation) 변조 방식을 적용하여 복조 결과가 강판정(Hard decision) 값이 아닌 연관정 값일 때, 복호 성능을 더 향상시키기 위한 연구가 필요하다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 결과물은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] T. J. Richardson and R. L. Urbanke, "Efficient Encoding of Low-Density Parity Check Codes," IEEE Transactions on Information Theory, '47, pp. 638-656, 2001.
- [2] T. Li, H. Zhou and L. Sun, "The study of LDPC code applied to underwater laser communication," in Conference of Laser and Electro-Optics/Pacific Rim, Shanghai, China, pp. 11-27, 2009.
- [3] H. C. Kwon, G. Y. Park, K. M. Kim, T. D. Park, T. H. Kim and J. W. Jung, "Optimizing of iterative turbo equalizer for underwater acoustic channel," in Fifth International Conference on Ubiquitous and Future Networks, Da Nang, Vietnam, pp. 43-48, 2013.
- [4] S. Mhatli, A. Aldalbahi and M. Jasim, "IM/DD-OFDM modem based on adaptive equalization," in 2019 2nd International Conference on Computer Applications & information Security (ICCAIS), Riyadh, Saudi Arabia, 2019.
- [5] A. Ramamoorthy and R. Wesel, "Construction of short block length irregular low-density parity-check codes," in 2004 IEEE International Conference on Communications, Paris, France, pp. 410-414, 2004.