

## 채널 환경에 강인한 가시광 통신을 위한 오토인코더 모델 설계

류재영, 조영진, 임민형, 정연호<sup>‡</sup>

부경대학교 정보통신공학과

{jeyeongryu, heo8510}@naver.com, limminhyeong@gmail.com, <sup>‡</sup> yhchung@pknu.ac.kr

## Design of an Autoencoder Model for Channel-Robust Visible Light Communication

Jae Yeong Ryu, Young Jin Cho, Min Hyeong Lim, Yeon Ho Chung<sup>‡</sup>

Dept of Information and Communications Engineering., Pukyong National University

## 요약

본 논문에서는 딥러닝의 일종인 오토인코더를 활용하여 Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) 기반 통신에서의 성능 개선을 확인하였고, 이를 가시광 통신에 적용하여 성능 개선을 분석하였다. 기존 가시광 통신의 효율을 높이기 위한 기법인 Color shift keying (CSK)은 색 좌표계 상에서 유클리드 거리를 기준으로 고정된 심볼을 매핑하는 반면, 오토인코더는 송·수신기를 하나의 신경망으로 결합하여 종단 간 학습을 수행함으로써 이 선형 매핑 방식의 한계를 극복할 수 있어 성능이 개선됨을 확인하였다.

## I. 서론

가시광 통신 (VLC, Visible-Light-Communication)은 기존 무선 주파수 (RF, Radio Frequency) 통신에 비해 넓은 대역폭, 높은 보안성 그리고 전자기 간섭에 대한 면역성 등 장점이 있어 주목받고 있다 [1]. 이에 따라 VLC의 성능을 향상하기 위한 여러 변·복조 기술들이 논의 되고 있으며, 그중 Color shift keying (CSK)과 Direct-Current-Optical Orthogonal frequency-division multiplexing (DCO-OFDM)을 결합한 시스템이 널리 연구되고 있다. CSK는 Red, Green, Blue Light Emitting Diode(RGB LED)의 각 색 강도를 조절하여 CIE 1931 색도 좌표계 [2] 상의 특정 색점을 생성하여 송신하고, 수신기에서는 이 색 좌표를 검출하여 대응되는 심볼을 복원하는 방식이다. 이를 통해 색상 정보를 기반으로 신호를 구분할 수 있으며 조명 기능과 통신 기능을 동시에 만족시킬 수 있다. DCO-OFDM은 실수 기반의 OFDM 신호에 직류 바이어스를 추가하여 전체 신호를 단극성으로 변환함으로써, LED가 음수 전류를 처리하지 못하는 한계를 해결하고 다중 반송과 전송을 가능하게 한다 [3]. 하지만 VLC는 RF에 비해 샷 노이즈, 열잡음, 주변광 잡음 등, 다양한 변수에 더욱 취약한 특성이 있다 [4]. 본 논문에서는 이러한 점을 보완하고자 딥러닝 기반의 송수신 시스템을 가시광 통신에 접목할 것을 제안한다.

## II. 본론

## 가. 구현한 VLC 시스템

우선 가시광 통신에서 CSK를 구현하기 위해서는, 송신 측에서 RGB 각 채널의 광 세기를 정밀하게 조절할 수 있어야 하며, 수신 측에서는 R, G, B 성분을 서로 독립적으로 검출할 수 있어야 한다. 이를 위해 RGB LED를 이용하여 원하는 색점을 생성하고, 수신기에서는 각 색의 광학 필터를 장착한 Photo Diode (PD)를 통해 각 색상의 성분을 분리하여 독립적으로 수신한다. 이 과정을 통해 수신된 R, G, B 세기를 기반으로 색도를 복원할

수 있으며, 이를 사전에 정의된 CSK 심볼 좌표와 비교하여 유클리드 거리 기준으로 가장 가까운 심볼로 매핑하게 된다.

광도는 음수 값을 가질 수 없기 때문에, VLC에서 사용되는 신호는 단극성으로 구성되어야 한다. 이에 따라 복소수 출력이 일반적인 OFDM 시스템을 광통신에 적용하기 위해서는 DCO-OFDM 구조가 필요하다. DCO-OFDM에서는 Hermitian 대칭구조를 적용하여 Inverse fast Fourier transform (IFFT)의 출력을 실수 신호로 제한하며, 이후 직류 바이어스를 추가함으로써 음수 성분을 제거하고 단극성 신호로 변환한다 [5]. 이렇게 변환된 신호는 PD를 통해 수신되고 Fast Fourier transform (FFT)과 최소 유클리드 거리 계산을 통해 복조된다.

본 논문에서는 4개의 색도 좌표를 가지는 4-CSK 시스템을 구성하였다. 그림 1은 본 시스템의 블록 다이어그램 (a)과 색 좌표 (b)이다.

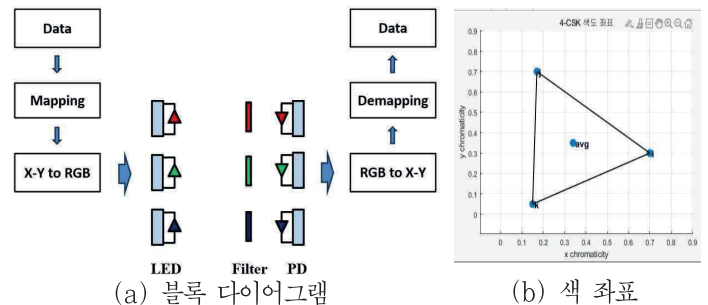


그림 1. 4-CSK-VLC 시스템

## 나. 오토인코더 모델 설계

오토인코더는 입력을 잠재 표현으로 변환하고, 이를 원래 입력으로 재구성하며 이 과정에서 재구성 오차를 최소화하도록 학습되는 신경망이다 [6]. 잠재 공간의 차원은 학습에 직접적인 영향을 주며 이를 조절함으로써 학습의 깊이와 복잡도를 설계할 수 있다. 따라서 시스템의 목적에 맞게 적

절한 차원을 설계하는 것이 중요하다. 본 논문에서 설계한 모델의 구조는 그림 2와 같다. 인코더는 모든 노드가 연결된 완전 연결층 (Dense layer) 과 활성화 함수 Rectified linear unit (ReLU)으로 구성되어 있고, 디코더는 완전 연결층과 Cross Entropy 손실 함수로 구성되어 있다. 우선 M개의 정수형 심볼을 M 차원의 One-Hot 벡터로 변환하여 인코더에 넣는다. 벡터는 인코더에서 2개의 블록을 거친 후 출력되는데, 이때 출력되는 차원은 IFFT 연산의 서브 캐리어 수에 맞추어 설계해야 한다. 디코더에서도 2개의 블록을 거친 후 Adaptive moment estimation (Adam) 최적화 알고리즘 [7]을 통하여 학습한다.

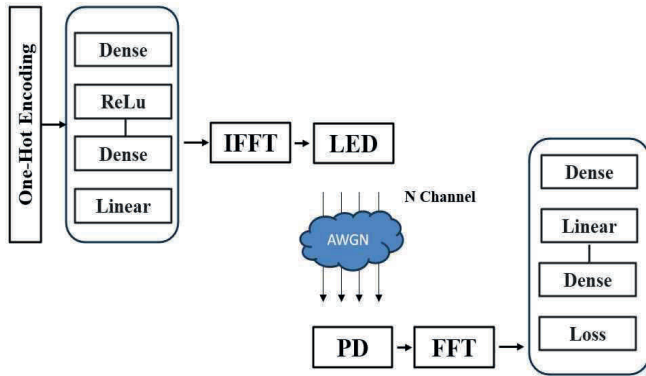


그림 2. 오토인코더 구조

#### 다. 성능 비교

본 논문에서는 VLC에서 기존에 주로 연구되던 변조 방식인 CSK와 제안한 방식의 Signal-to-noise ratio (SNR) 대비 Bit-error ratio (BER)를 비교 분석하였다. CSK는 4가지 색을 사용한 4-CSK를 택했고, 두 방식 모두 서브 캐리어 수가 64인 OFDM을 적용하였다. 심볼의 수는 1,000개, Adam의 학습률은 0.001로 설정하였다. 또한 오토인코더 모델에서 다양한 상황에서 강건하게 학습할 수 있도록 배치마다 SNR을 랜덤하게 학습하였다. 입력 데이터는 인코더를 거쳐 IFFT 연산을 통해 OFDM 신호로 변환되며, Adaptive white gaussian noise (AWGN) 채널 환경을 거쳐 수신기로 이동한다. 그 후 FFT를 통해 복조된 신호가 디코더로 들어간다. 이렇게 전체 송·수신기가 하나의 네트워크를 구성하며 학습을 반복한다. 비교 결과는 그림 3과 같다.

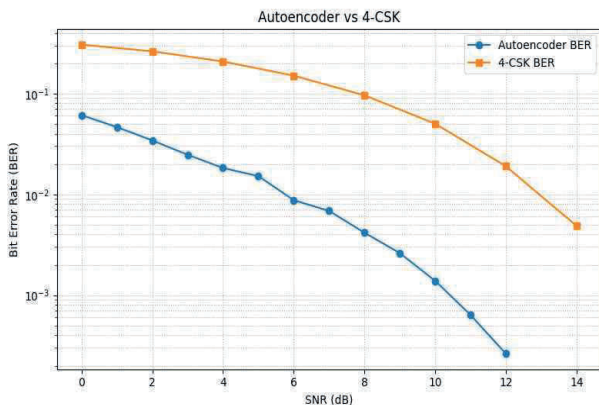


그림 3. SNR 대비 BER 결과

결과를 보면 오토인코더 모델의 방식이 0-12 dB의 잡음 환경에서 4-CSK 변조에 비해 더 높은 정확도를 보이고 있음을 알 수 있다. 기존 CSK 변조 방식은 다양한 외부 변수에 많은 영향을 받는 반면, 제안한 방식은 이에 비해 채널에 대한 면역성이 뛰어나다는 뜻이다.

#### III. 결론

본 논문에서는 기존 VLC 시스템에서 연구되고 있는 변조 기법을 구현하였고, 시스템에서 새롭게 적용될 수 있는 오토인코더 모델을 설계하여 이를 기존의 방식과 비교 분석하였다. 기존의 CSK 변조 방식은 빛의 세기를 활용한 방법이었기에 다양한 외부 변수에 취약한 약점이 있지만, 제안된 방식은 시스템이 스스로 변수들에 맞추어 학습하며 보다 강한 채널 면역성을 지닐 수 있음을 알 수 있었다. 이는 채널 취약성이라는 VLC의 약점을 극복할 방안이 될 것으로 기대된다. 앞으로 Lambertian 공식을 적용하여 더욱 현실적인 VLC 시스템에서 오토인코더의 활용 방안을 고안하는 방향으로 연구를 진행할 예정이다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2023R1A2C2006860).

#### 참 고 문 헌

- [1] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira and O. Gnawali, "Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 4, pp. 3204-3237, Fourthquarter, 2019.
- [2] G. Wyszecki and W. S. Stiles, Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd ed., Wiley, 2000.
- [3] W. H. Gunawan, Y. Liu, C. -H. Yeh and C. -W. Chow, "Color-Shift-Keying Embedded Direct-Current Optical-Orthogonal-Frequency-Division-Multiplexing (CSK-DCO-OFDM) for Visible Light Communications (VLC)," IEEE Photonics Journal, vol. 12, no. 5, pp. 1-5, Oct, 2020.
- [4] M. R. Biswal, S. Arya, and Y.-H. Chung, "Effect of turbulence and noise on ultraviolet and mid-infrared spectrum in optical wireless communications," Photonic Network Communications, vol. 39, no. 2, pp. 181 - 186, Mar. 2020.
- [5] 강동수, 이승, 김지수, 최계원. "DCO-OFDM 기반의 가시광 통신 테스트베드 구현," 한국통신학회논문지, 45(1), 117-128, 2020.
- [6] Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. Reducing the dimensionality of data with neural networks. Science, 313(5786), 504 - 507, 2006.
- [7] D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A Method for Stochastic Optimization," in Proc. of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR), 2015.