

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.4.51>  
JIIBC 2021-4-8

# 딥러닝 기반 가시광 통신 시스템의 성능 향상 기법

## Performance Enhancement Technique of Visible Communication Systems based on Deep-Learning

서성일\*

Sung-Il Seo\*

**요약** 본 논문은 스마트 빌딩을 위한 가시광 통신 시스템에서 데이터 신뢰성을 향상시키는 딥러닝 기반의 간섭 제거 알고리즘에 대해 연구하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 딥러닝 기술을 적용하여 채널에서 발생하는 잡음을 예측하여 제거하는 기술로서 수신단에서 딥러닝에 의해 학습된 잡음들을 활용하여 효과적으로 잡음을 제거함으로써 신호의 품질을 향상시킬 수 있다. 딥러닝 기술의 잡음 예측 정확도를 향상시키기 위해 기존의 잡음 형태를 데이터베이스화하여 활용하였다. 모의실험을 통해 간섭 제거 기법이 적용된 시스템 모델의 성능을 검증하였으며, 제안하는 시스템이 잡음을 효과적으로 제거하여 신호의 품질 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 제안한 시스템 모델은 가시광 통신뿐만 아니라 일반적인 통신 시스템에서도 신호의 품질을 향상시킬 수 있도록 다양하게 적용이 가능하다.

**Abstract** In this paper, we propose the deep learning based interference cancellation scheme algorithm for visible light communication (VLC) systems in smart building. The proposed scheme estimates the channel noise information by applying a deep learning model. Then, the estimated channel noise is updated in database. In the modulator, the channel noise which reduces the VLC performance is effectively removed through interference cancellation technique. The performance is evaluated in terms of bit error rate (BER). From the simulation results, it is confirmed that the proposed scheme has better BER performance. Consequently, the proposed interference cancellation with deep learning improves the signal quality of VLC systems by effectively removing the channel noise. The results of the paper can be applied to VLC for smart building and general communication systems.

**Key Words** : Visible Light Communication, Smart Building, Interference Cancellation, Deep Learning, Channel Estimation

### 1. 서론

가시광 통신 (VLC, Visible Light Communication)이란 빛을 사용하여 통신을 하는 기술로 실내 통신 시스

템 필요성의 증가와 LED (Light Emitting Diode) 조명의 보편화와 성능 개선을 통해 가시광 통신 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다<sup>[1]</sup>. 가시광 통신 시스템은 빛을 매개체로 사용하여 통신하기 때문에 인체에 무해하고 주

\*정회원, 호남대학교 전기공학과  
접수일자 2021년 5월 12일, 수정완료 2021년 7월 2일  
게재확정일자 2021년 8월 6일

Received: 12 May, 2021 / Revised: 2 July, 2021 /

Accepted: 6 August, 2021

\*Corresponding Author: siseo@honam.ac.kr

Dept. of Electrical Engineering, Honam University, Korea

파수 허가를 받을 필요도 없으며 물리적으로도 보안 기능을 제공하는 장점을 가지고 있다. 최근 친환경적이며 에너지 절감 효과가 있는 LED 조명에 관한 관심이 매우 커지고 있으며, 유비쿼터스 네트워크에 의한 정보통신 서비스의 다양화로 최근 조명용 LED를 이용한 실내 근거리 통신 기술에 대한 응용이 확대 되어가고 있다. 실내에서의 무선 연결을 위해 백색 LED를 이용한 무선 광학 통신망에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 실내 측위 기술은 GPS 신호 수신이 어려운 지역을 LED 조명을 통해 커버함으로써 건물 내부나 빌딩숲과 같은 전파 음영 지역에서도 원활하게 위치를 인식할 수 있으며, Li-Fi 서비스를 통해 데이터 통신이 가능하다<sup>[2,3]</sup>. 본 논문에서는 실내 건물에서 다수의 사용자가 원활하게 가시광 통신 서비스를 제공받을 수 있도록 딥러닝 기반의 간섭 제거 기법을 적용하여 신호의 품질을 향상시킬 수 있는 방식을 제안한다. 제안된 기법은 잡음의 형태 및 크기를 분석하여 데이터 전송 시에 잡음의 영향성을 고려하여 신호처리를 하는 기법이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 II장에서는 제안된 가시광 통신 시스템 개요를 소개하고, 제 III장에서는 딥러닝 기반 잡음 제거 기법에 대해 설명한다. 제 IV장에서는 실험을 통해 성능을 분석하고, 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

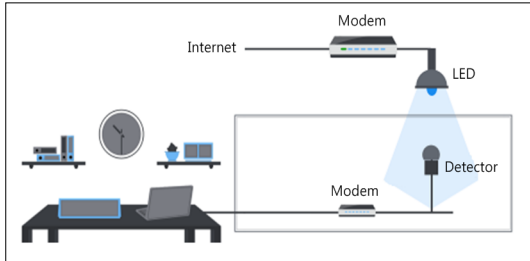


그림 1. 가시광 통신 시스템 개요  
Fig. 1. Principle of VLC operation

## II. 가시광 통신 시스템

그림 1에서 보듯이 가시광 통신은 기본적으로 LED의 전기를 빛으로 성질을 이용한다. PD (Photo Diode) 소자의 감박임을 송수신하는 원리를 기본으로 하여 조명 기능을 유지하면서 통신도 동시에 수행할 수 있다<sup>[4]</sup>. 빛을 기반으로 데이터를 송수신하기 때문에 기존의 전자파보다 빠른 속도로 초고속 무선 통신 구현이 가능하다.

그림 2는 일반적인 Lambertian 방사 패턴을 나타낸다. 넓게 퍼지는 광원은 위치벡터  $r_s$ , 단위 길이의 방향벡터  $\hat{n}_s$ , 전력  $P_s$ , 그리고 복사각도 패턴  $R(\vartheta)$ 로 표현된다. 여기서 복사각도 패턴  $R(\vartheta)$ 은  $\hat{n}_s$ 를 기준으로  $\vartheta$  방향으로 단위 입체각 당 소스로부터 방출되는 광전력으로 정의된다. 소스는  $\theta$ 에 무관하고  $\vartheta$  방향으로 대칭인 일반적인 Lambertian 복사패턴으로 모델링될 수 있으며, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$R(\vartheta) = \frac{n+1}{2\pi} P_s \cos^n(\vartheta) \text{ for } \vartheta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 소스의 방향성을 결정하는 복사 로브의 모드 수이다. 모드 번호가 증가할수록 방향성이 커지는 것을 의미하며, 모드 번호가 1인 경우가 전통적인 Lambertian 소스이다. 기준 시간에 단위 입평스로 표시되는 빛의 강도를 방출하는 소스원  $S$  및 수신기  $R$ 은 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$S = \{r_s, \hat{n}_s, n\}, \quad (2)$$

$$R = \{r_R, \hat{n}_R, A_R, FOV\},$$

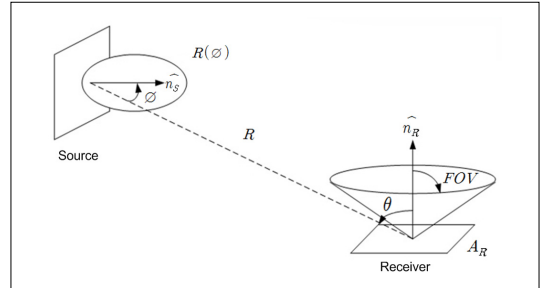


그림 2. 송수신단 구조  
Fig. 2. Structure of source and receiver

여기서  $A_R$ 은 수신 면적, 스칼라 양인 FOV는 수신기가 신호를 검출할 수 있는 각도를 나타낸다. 반사하는 물체의 미분면소의 면적을  $dA$ 라 하고 반사 계수를  $p$ 라 하면, 벽에서 반사 현상을 다음과 같이 두 단계로 구분하여 나타낼 수 있다. 첫째로 면적이  $dA$ 인 미소면소를 수신기로 생각하여 이 수신기가 수신하는 전력  $dP$ 를 계산한다. 두 번째로 미소면소가 전력  $P = pdP$ 를 이상적인 Lambertian 복사각도 패턴으로 모델링한다. 그림 3에서 보듯이, 송신기와 수신기 사이의 거리  $R$ 이 검출기의

크기보다 훨씬 커서  $R^2 \gg A_r$  이 성립되면, 수신된 신호는 검출기의 표면에서 일정하다고 간주할 수 있으며 도착시간도 거의 같다고 볼 수 있다. 따라서 임펄스 응답은 도착시간과 크기의 변화를 고려하여 다음과 같은 Dirac 델타 함수로 표시할 수 있다<sup>[6]</sup>.

$$h(t;S,R) = \frac{n+1}{2\pi} \cos^n(\varnothing) d\Omega \text{rect}(\theta/FOV) \delta(t-R/c). \quad (3)$$

LOS (Line of Sight) 조건의 임펄스 응답을 구하고자 하면 방출된 빛은 여러 번 반사한 후에 도달할 수 있으므로 임펄스 응답은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$h(t;S,R) = \sum_{i=0}^{\infty} h^{(i)}(t;S,R), \quad (4)$$

여기서  $h^{(i)}(t)$ 는 정확히  $i$ 번 반사한 후 도달하는 신호의 임펄스 응답이다.

### III. 딥러닝 기반 채널 잡음 학습 기법

그림 3은 딥러닝 알고리즘에 의해 모델링된 잡음 모델을 이용한 실내 무선 채널 간섭 제거 기법의 블록도를 나타낸다. 실내 환경에서 발생할 수 있는 잡음의 유형을 데이터를 기반으로 딥러닝 프로세스를 통해 최적화하여 유추하고 데이터 베이스에 저장하게 된다. 수신단에서는 유추된 잡음을 제거하여 신호의 품질을 향상시키게 된다. 본 논문에서는 그림 4와 같이 다층 퍼셉트론 기반 (Multi-layer Perceptron)의 딥러닝 뉴럴 네트워크 (Deep-learning Neural Network)를 적용하여 학습을 수행하였으며, 아담 최적화 알고리즘을 활용하여 손실 함수를 최소화하였다<sup>[7]</sup>. 제안된 시스템은 실내 무선 채널에서 발생할 수 있는 잡음 요소들을 학습한 후, 데이터 베이스에 저장을 하게 된다. 신호가 수신되면, 채널 환경 및 전달 경로에 의해 예측된 잡음을 결정하고 제거하는 프로세스를 통해 원 신호를 복조하는 시스템이다. 먼저 잡음을 학습하는 단계에서는 파일럿 신호를 통해 채널의 특성을 파악하게 된다. 수신단에서는 딥러닝에 의해 학습된 잡음 제거 프로세스를 통해 채널의 영향성이 적은 신호를 수신할 수 있게 된다. 최종적으로 수신되는 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} r(t) &= s(t) + n(t) - n'(t), \\ &= s'(t) \pm e(t). \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $e(t)$ 는 잡음 오류를 나타낸다. 제안된 방식은 잡음이 발생할 경우, 예측된 잡음으로 중간 과정 없이 바로 대응이 가능하기 때문에 가시광 통신 채널 환경에서 끊임 없는 데이터 서비스를 보장해 줄 수 있다.

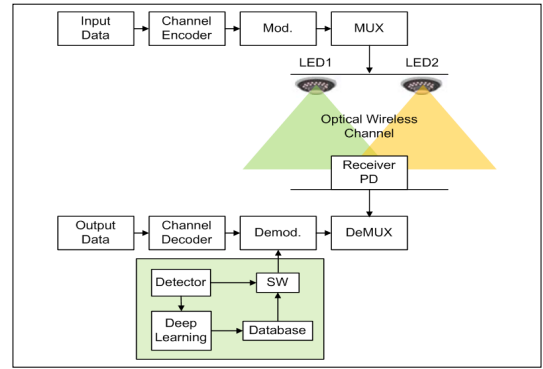


그림 3. 딥러닝 기반 잡음 제거 기법  
 Fig. 3. Deep learning based interference cancellation scheme

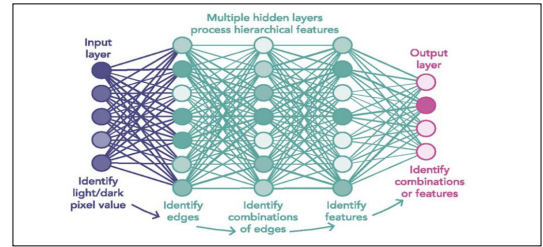


그림 4. 딥러닝 뉴럴 네트워크 구조  
 Fig. 4. Structure of DNN

### IV. 실험 및 결과

이번 장에서는 가시광 통신 시스템에서 딥러닝 기반의 다중 채널 간섭 제거 기법의 성능을 모의실험을 통해 분석한다. 변복조 방식으로는 위상 편이 변조 (PSK, Phase Shift Keying)를 적용하였고 채널은 다중 반사 환경을 고려하였다. 모의실험 조건은 표 1에 정리하였다.

그림 5는 제안된 다중 채널 간섭 제거 기법이 적용된 가시광 통신 시스템의 거리에 따른 BER (Bit Error Rate) 성능을 나타낸다. 모의실험에서 Tx와 Rx 사이의 거리는 실제 실내 건물에서 쓰이는 조명의 높이를 고려하여 3m로 가정하였다. 또한 정보를 송신하는 Tx의 LED 수를 2개, 주변에 간섭으로 작용하는 Rx를 2개로

가정하였다. 본 논문에서 적용한 딥러닝 모델의 학습 정확도는 약 98%에 수렴하는 모델을 적용하였으며, 데이터 셋을 반복적으로 학습시킬수록 정확도가 향상되게 된다. 실내 가시광 통신 채널 모델의 다중 반사 환경 데이터를 통해 학습을 진행하였다.

모의 실험 결과, 딥러닝을 통해 학습된 예측 잡음을 적용했을 경우, BER 성능이 향상되었다는 것을 확인할 수 있다. SNR이 작은 경우에는 기존 대비 BER 성능이 향상되는 것을 확인했다. SNR 큰 경우에는 앞에서 언급했듯이 성능이 향상되지 않고 오히려 열화가 발생하는 현상이 발생하게 된다. 이는 딥러닝 모델로 획득한 데이터베이스의 정확도가 완벽하지 않기 때문에 잡음 예측에서 오차가 발생했으며, SNR이 큰 경우에는 잡음의 세기가 상대적으로 작기 때문에 값을 예측하기 어려운 잡음이 오히려 에러를 발생하는 원인으로 작용하였다. 채널의 환경에 따라 적응형으로 간섭 제거 기법을 적용한 경우에 이를 보완할 수 있으며, 가장 최적화된 BER 성능을 나타냈으며 신호의 세기가 낮은 환경에서도 품질 좋은 통신 서비스를 제공할 수 있다.

표 1. 실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters

|                                  |                        |
|----------------------------------|------------------------|
| O/E conversion efficiency        | 0.53 [A/W]             |
| Detection area of photo detector | 1.0 [cm <sup>2</sup> ] |
| Transmitted optical power        | 200 [mW]               |
| Distance of between Tx & Rx      | 3 [m]                  |
| FOV at the receiver              | 60 [deg]               |
| Channel                          | Indoor VLC channel     |

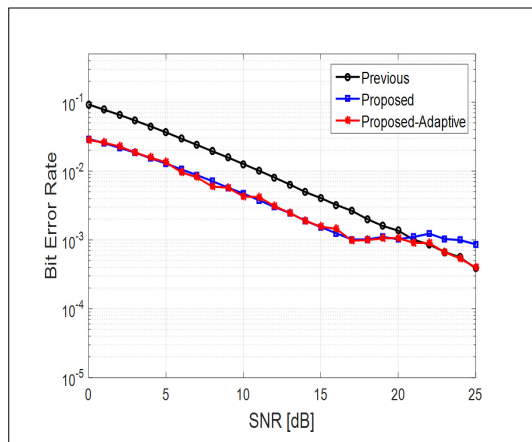


그림 5. 시뮬레이션 결과  
Fig. 5. Simulation result

## V. 결론

본 논문은 가시광 통신에서 딥러닝 기술을 이용하여 채널 잡음을 예측하고, 수신단에서 채널에 의해 발생하는 잡음을 제거하여 통신 성능을 향상시키는 시스템 모델을 제안하였다. 딥러닝 프로세스의 예측 오류를 보완하기 위해 신호의 세기에 따라 적응형으로 동작되는 시스템을 통하여 최적화된 성능을 나타냈다. 시뮬레이션을 통해 제안된 시스템의 성능을 검증하였고 기존의 잡음이 있을 때의 이론적인 결과보다 향상된 결과가 나왔으며, 특히 신호의 세기가 작은 경우에 신호 품질이 좋은 성능을 나타내어 끊임 없는 통신 서비스 제공을 가능하게 했다. 또한, 딥러닝 프로세스의 정확도를 향상시키기 위해서 보다 많은 데이터를 수집하고 학습시킨다면 간섭 제거 성능은 더욱 더 향상될 것이다.

## References

- [1] C. P. Kuo, R. M. Fletcher, T. D. Osentowski, M. C. Lardizabal, and M. G. Craford, "High performance AlGaInP visible light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 57, No. 27, pp. 2937-2939, Dec. 1990. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.103736>
- [2] Y. Tanaka, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Wireless optical transmissions with the white colored LED for the wireless home links," in *Proc. of the 11th Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2000)*, pp. 1325-1329, Sep. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2000.881634>
- [3] J. H. Choi, and J. Y. Kim, "Performance of LED-ID System for Home Networking Application," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC)*, Vol. 10, No. 4, pp. 169-176, Aug. 2010.
- [4] *Visible Light Communications: Tutorials*, IEEE 802.15 VLC SG, 2008.
- [5] F. R. Gfeller and U. H. Bapst, "Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation," in *Proc. of IEEE*, Vol. 67, No. 11, pp. 1474-1486, Nov. 1979. DOI: <https://doi.org/10.1109/PROC.1979.11508>
- [6] J. R. Barry, J. M. Kahn, W. J. Krause, E. A. Lee, and D. G. Messerschmitt, "Simulation of multipath impulse response for indoor wireless optical channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 11, No. 3, pp. 367-380, Apr. 1993. DOI: <https://doi.org/10.1109/49.219552>
- [7] H. Ye, G. Y. Li, and B. H. Juang, "Power of deep learning for channel estimation and signal detection

in OFDM systems,” IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 7, No. 1, pp. 114-117, Feb. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2757490>

### 저 자 소 개

#### 서 성 일(정회원)



- 1990년 : 연세대학교 전자공학과 학사
- 1992년 : 서울대학교 전자공학과 석사
- 2014년 : 광운대학교 전파공학과 공학 박사
- 1992년~2007년 : 삼성전자 책임연구원
- 2007년~2009년 : 한국정보통신산업진흥원 수석
- 2010년~2013년 : 인트로메딕 이사
- 2014년~현재 : 호남대학교 전기공학과 부교수
- 주관심분야 : 디지털시스템, 통신시스템, 스마트그리드 등