

## 비직교 다중변조 방식을 이용한 고속 가시광통신 시스템에 대한 연구

한두희<sup>1</sup>, 이규진<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 전자전파공학과 강사, <sup>2</sup>세명대학교 전자공학과 교수

### A Study on High Speed Visible Light Communication System Using Non-orthogonal Multiple Modulation Scheme

Doo-Hee Han<sup>1</sup>, Kyu-Jin Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Department of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Professor, Department of Electronic Engineering, Semyung University

**요약** 본 논문에서는 가시광 통신시스템에서 고속 전송을 위한 변조 기법에 대해서 분석하고, 최적의 비직교 다중 전송을 위한 Dimming level 및 송신 전력 비율에 대해서 연구하였다. 기존의 가시광 통신은 전송 속도를 높이기 위한 멀티전송이 어렵다는 단점이 있다. 송신단에서 고속 전송을 위해서는 반드시 다중 전송기법이 필요한데, 일반적인 가시광 통신은 다중 전송에 한계가 있기 때문에 고속 전송을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 이미지 센서인 Optical Camera Communication(OCC)을 가시광 통신에 적용한 VLC-OCC가 연구되어 기존 가시광 통신이 가지는 다중 전송의 한계를 극복하였다. 그러나 VLC-OCC 방식은 외부 조도의 영향을 더 많이 받고, 수신단에서 검출이 어렵다는 단점이 있다. 또한, 다중 전송을 위한 LED 매트릭스의 위치 인식과 딥러닝을 위한 데이터 셋 신호처리를 위한 Processing-time이 필요하기 때문에 시스템의 복잡도가 증가하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 비직교 다중 전송 방식을 적용한 고속 가시광 통신을 위한 다중 변조 방식과 그에 따른 향후 연구 방향을 제안하였다.

**주제어** : 가시광통신, 융합기술, 고속전송, 무선광통신, 비직교전송

**Abstract** In this paper, we analyze the modulation scheme for high speed transmission in visible light communication system, and study non-orthogonal multiplexing, dimming level and transmission power ratio. Conventional visible light communication has a disadvantage in that it is difficult to multi-transmit to increase the transmission speed. Multi-transmission technique is necessary for high-speed transmission at the transmitter. Since general visible light communication has a limitation in multiple transmission, various researches for high-speed transmission have been conducted. In order to solve this problem, this paper proposes a multiple modulation scheme for high-speed visible light communication using non-orthogonal multiplex transmission scheme and a future research direction.

**Key Words** : Visible light communication, Convergence technology, High speed transmission, Wireless optical communication, Non-orthogonal transmission

\*This paper was supported by the Semyung University Research Grant of 2019.

\*Corresponding Author : Kyu-Jin Lee(kyujin@semyung.ac.kr)

Received January 2, 2020  
Accepted February 20, 2020

Revised January 28, 2020  
Published February 28, 2020

## 1. 서론

가시광통신 시스템은 LED 조명과 동시에 통신을 동시에 사용할 수 있는 장점으로 차세대 네트워크 인프라로 급격하게 발전하고 있다. 가시광통신은 고속응답특성을 가지고 있는 LED를 이용하기 때문에, RF를 이용하지 않으므로 주파수 허가가 필요하지 않고, 기존의 주파수 간섭 없이 넓은 LED 대역폭을 사용할 수 있으며, 물리적 보안 기능이 뛰어난 동시에, 고속 멀티미디어 데이터 전송도 가능해, 전파를 대체할 차세대 홈 네트워크 수단으로 꼽히고 있다. 또한, 5G 네트워크의 초고화질 (UHD) 비디오 스트리밍, 증강 및 가상 현실, 클라우드 게임, 스마트 홈, 커넥티드 카 및 원격 제어와 같은 첨단 요구 사항을 충족시키는 인프라로 주목받고 있다[1,2].

그러나 기존의 가시광 통신은 고속 전송을 위한 시스템 구축에 한계가 있다. 전송 채널이 제한적이고, 다수의 멀티전송을 위한 다중 LED를 사용할 경우, 수신단에서 동시에 처리하기가 어렵다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해, 고속 가시광통신을 위한 MIMO 시스템에 대한 연구가 진행되었으나, 실외에서의 통신을 위한 수광 센서 대신 카메라 모듈을 이용한 Optical camera communication 기법 등에 연구가 집중되어 있는 실정이다[3].

본 논문에서는, 비직교 다중 변조방식을 이용한 고속 가시광통신 시스템에 대한 연구를 진행하였다.[4] 기존에 연구되는 고속전송 시스템은 외부 조도의 영향을 더 많이 받고, 수신단에서 검출이 어렵다는 단점이 있다. 또한, 다중 전송을 위한 LED 매트릭스의 위치 인식과 디퍼닝을 위한 데이터셋의 신호처리를 위한 Processing-time이 필요하기 때문에 시스템의 복잡도가 증가하게 되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하고 새로운 방식의 고속전송 가시광 통신 시스템 개발을 위한 비직교 다중변조 기법과, 이를 효율적으로 이용하기 위한 간섭 분석 및 신호 합성 비율에 대해서 연구하고, 이의 성능을 평가하기 위한 시스템 구현 및 시뮬레이션을 통하여 제안시스템의 성능을 확인한다.

## 2. 시스템 모델

### 2.1 채널모델

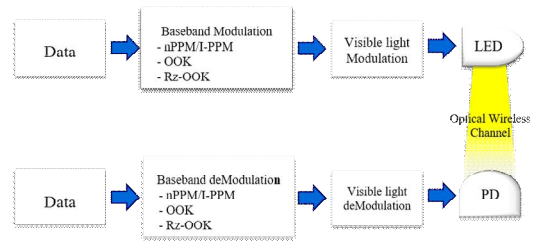


Fig. 1. VLC system structure diagram

Fig. 1에 가시광통신 전체 구조도를 나타내었다. 가시 광 통신 시스템은 가시 광 파장을 이용하여 통신을 수행한다. 송신기는 LED를 통해 광 파장을 발생시키며, 수신기는 포토다이오드를 통해 광 파장을 직접 수신하여 정보신호를 복원하는 IM-DD 변복조를 사용한다. LED에서 입력된 신호를 가시 광 파장으로 발생시키는 데 평균 120ns 정도가 걸리는데, 이러한 신호를 스위칭 회로를 통해 ON/OFF 데이터 송수신을 한다[5].

송수신 channel은 공기매질 공간인 Air surface이며, Line of Sight (LOS) channel과 None Line of Sight (NLOS) channel 및 주변 광원들의 간접 광 잡음으로 구성된다. 주변의 다른 광원들로부터 들어오는 잡음모델은 AWGN Channel 모델로 가정한다. 시스템에서 주변 광원으로부터 들어오는 샷노이즈로 인한 영향은 Gaussian Noise Process로 무시할 수 있다. 따라서 가시광 통신에서 채널을 통과한 수신신호는 다음과 같다[5,6].

$$R(t) = \gamma S(t) * G(t) + N \quad (1)$$

$R(t)$  수신신호이며, 이때  $S(t)$ 는 LED 송신신호이다.  $N$ 은 노이즈로 AWGN모델이며,  $*$ 은 컨벌루션,  $\gamma$ 은 O/E 변환 효율이다.

### 2.2 LOS환경에서 광 수신 효율

가시 광 통신 시스템에서 송수신기간 신호전달 모델은 LOS에 의한 신호와 램버시안 모델의 반사광 신호로 전달된다. 여기에서 LOS는 중간에 장애물이 없는 직선상의 광 파장 전달 경로이며, 반사광은 실내 장애물 및 벽면 등에 의해 반사된 신호 환경을 의미한다. 이러한 환경에서 신호의 평균 세기와 수신신호는 다음과 같다 [7,8].

$$P_t = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t) dt \quad (2)$$

### 3. 가시광 통신 시스템의 변조 방식 및

#### Dimming level 분석

가시광 통신의 변조 기법에는 VLCC에서 정의한 n-PPM, I-PPM, OOK, RZ-OOK 등이 있다. 본 논문에서는 OOK와 M-PPM 변조 기법을 사용하여 고속 가시광 통신을 구현하였다.

#### 3.1 OOK(On-Off keying)

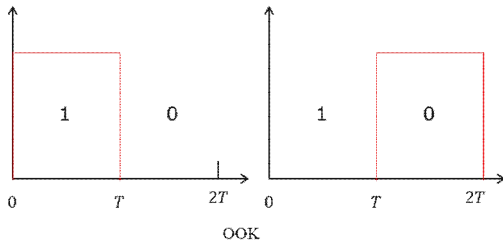


Fig. 2. OOK sequence

Fig. 2에 OOK 변조모델을 나타내었다. OOK 기법은 신호에 따라서 on-off keying 하는 변조 기법으로 데이터가 '1' 이면, light on이고, 데이터가 '0'이면 light off로 변조한다. 가시광 통신은 IM-DD 시스템을 사용하기 때문에 OOK 변조 방식이 전체 시스템 성능이 가장 좋다. OOK에서 Dimming Level은 이론적으로 평균 50%로 비교적 안정적이거나, '0'이 연속적으로 나오는 경우 Dimming Level이 0%로 조명의 기능을 할 수 없다. 특히 아스키코드, 바이너리 코드 사용 시 연속된 0 구간에서 OFF 시퀀스가 지속되면 Flicker 현상이 발생한다.

#### 3.2 PPM(PulsePositionModulation)

Fig. 3에 PPM 변조모델을 나타내었다. M-PPM 기법은 pulse의 위치에 따라서 신호를 보내는 기법으로 M 차수에 따라서 한번에 보내지는 데이터의 양이 많아진다. 즉, 전송 속도가 빨라지는 장점이 있다. 그러나, M 차수가 증가하면 펄스의 위치를 구분하기 위한 펄스 간격이 작아져, 딜레이에 취약한 단점이 있다. 또한, 한

비트가 차지하는 구간이 작아서 결과적으로 디밍 레벨이 낮아지는 단점이 발생한다. 이는 통신과 조명의 기능을 동시에 하는 가시광통신 시스템에서 매우 큰 장애가 된다. 그림에서 보이는 바와같이 비트가 0인 구간에서도 ON상태를 유지할 수 있어, 0이 연속으로 존재하는 구간에서도 균등한 Dimming level을 가지나, 구간 T에서 n만큼의 슬롯으로 나뉘지기 때문에 전체 Dimming 성능은  $\frac{1}{n}$  만큼 감소하게 된다[9,10].

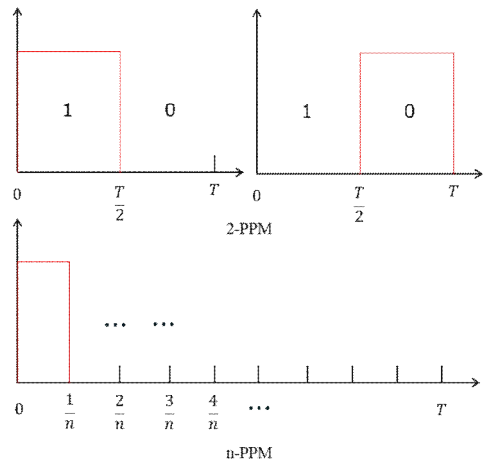


Fig. 3. M-PPM sequence

## 4. 비직교 다중변조 방식을 이용한

### 고속 가시광통신 시스템

기존 가시광 통신방식은 전송 속도를 높이기 위한 멀티전송이 어렵다는 단점이 있다. 송신단에서 고속 전송을 위해서는 반드시 다중 전송기법이 필요하다. 따라서 기존 시스템의 다중 전송 한계를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 이미지 센서를 이용한 Optical camera communication을 가시광 통신에 적용한 VLC-OCC가 연구되어 기존 가시광 통신이 가지는 다중 전송의 한계를 극복하였다. 그러나 VLC-OCC방식은 외부 조도의 영향을 더 많이 받고, 수신단에서 디텍션이 어렵다는 단점이 있다. 또한, 다중 전송을 위한 LED 매트릭스의 위치 인식과 딥러닝을 위한 데이터셋의 신호처리를 위한 Processing-time이 필요하기 때문에 시스템의 복잡도가 증가하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 비직교 전송

방식을 사용한 비직교 다중변조 고속 가시광 통신을 제안하였다. 4세대 이동통신등에서 널리 사용되는 기존의 직교 분할 전송 기법(Orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)은 고속의 전송률을 갖는 데이터열을 낮은 전송률을 갖는 많은 수의 데이터열로 나누고, 이를 다수의 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 것이다. 그러나 비직교 다중 전송기법에서는 시간 자원과 주파수 자원을 공유하면서 전송 전력을 조절하여 신호를 송수신한다. 이를 기반으로 동시에 사용 가능한 주파수 자원에서 동시에 많은 신호를 전송 할 수 있기 때문에 기존의 가시광 통신의 다중 전송의 어려움을 해결 할 수 있다.

본 논문에서는, 가시광 통신에서 서로 다른 변조 방식인 OOK와 4-PPM을 결합한 비직교 전송을 통해 고속 전송을 구현하고, Dimming level을 향상시켜 조명의 기능 또한 향상시키는 시스템을 제안한다.

4.1 다중변조를 위한 변조기법 분석

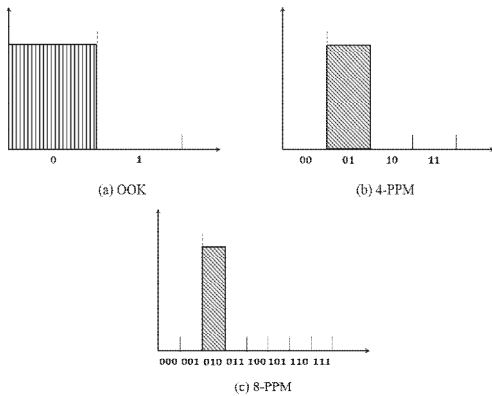


Fig. 4. OOK / 4-PPM / 8-PPM Data sequence

Fig. 4에 OOK와 4-PPM, 8PPM 데이터 시퀀스를 나타내었다. 각각의 변조 기법의 Data rate와 Dimming level 및 Bit error rate을 비교하면 다음과 같다.

- A. Data rate
  - OOK < 4-PPM < 8-PPM
- B. Dimming level
  - OOK > 4-PPM > 8-PPM
- C. Bit error rate
  - OOK > 4-PPM > 8-PPM

OOK는 1bit 전송이 가능하며, Data rate는  $Kbps$  이고, 4-PPM은  $2Kbps$ , 8-PPM은  $3Kbps$ 이므로 M-PPM의 경우  $MKbps$ 로 데이터 전송 속도가 OOK에 비해서  $M$ 배 증가한다. 그러나 Dimming level은 OOK가 50%로 가장 높다. M-PPM의 경우 Dimming Level이  $\frac{1}{M}$  %로 감소하기 때문이다. 또한, M-PPM의 경우 한 주기를  $M$ 으로 나눠서 변조하기 때문에 송신 파워가 가장 높은 OOK가 BER 성능 역시 가장 좋다. 따라서 본 논문에서는 OOK와 4-PPM 변조방식을 결합하여 사용하였다. OOK와 4-PPM을 동시에 비직교 전송하게 되면, 8-PPM과 동일한 Data rate를 얻을 수 있고 그와 동시에 Dimming level을 향상시킬 수 있어 가시광 통신에 적합하다. 그러나 이러한 비직교 다중 변조 전송을 위해서는, 두 신호의 간섭 문제를 해결해야 한다. 두 개의 변조 신호의 결합은 두 송신 신호의 간섭으로 작용 할 수 있어, 이러한 경우에 대한 간섭 분석을 4.2절에 나타내었다.

4.2 비직교 다중변조 신호의 간섭 분석

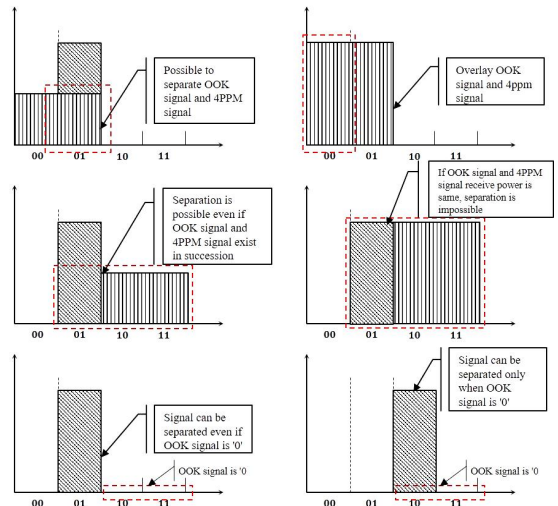


Fig. 5. Interference Environment of Transmission Signal Using Non-Orthogonal Multiple Modulation Technique

Fig. 5에 비직교 다중 변조기법을 이용한 전송 신호의 간섭 환경을 나타내었다. 비직교 다중 전송 기법에서는 시간 자원과 주파수 자원을 공유하면서 전송 전력을 조절하여 신호를 송수신하기 때문에, 송신 전력차에

따라 희망신호와 간섭 신호가 구분된다. 일반적으로 자신의 신호 전력보다 더 큰 전력을 가지는 간섭 신호를 먼저 검출 후 수신 신호에서 제거한 뒤 간섭이 완화된 상태에서 원래 신호를 검출한다. 그림에 보이는 것처럼 OOK 신호와 4-PPM의 신호가 동시에 존재하여도, 두 신호의 송신 전력의 비율에 따라 분리가 가능함을 알 수 있다. 그러나, OOK신호와 4-PPM신호가 연속으로 존재할 때, 두 신호의 송신전력 차가 0이면 두 신호는 간섭으로 작용하게 된다. 간섭 DUR(desire signal to undesire singal ratio) 값에 따라 희망신호가 간섭 신호로 작용하는 비직교 변조 기법의 신호보다 크면 신호 1은 성능이 우수하나 신호2의 성능이 열화되고, Dimming level의 향상도 작아진다. 반대상황은 신호 1, 신호2의 BER 성능이 떨어지고 Dimming level은 향상된다. 따라서, 두 비직교 신호의 성능 및 Dimming level 향상을 위한 송신 전력의 합성 비율이 필요하다.

### 5. 시뮬레이션 및 파라미터

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안 시스템의 Dimming level 및 Data rate 성능을 분석하고, 비직교 신호의 합성 비율과 전체 시스템의 성능을 평가하였다. 광원에 관한 변조 기법은 IM-DD 기법을 사용하고 Primary modulation으로 OOK와 4-PPM, 8-PPM을 사용하였다. 잡음 모델은 실내에서 LED-ID 통신 시스템을 사용하기 때문에 AWGN 으로 모델링 한다.

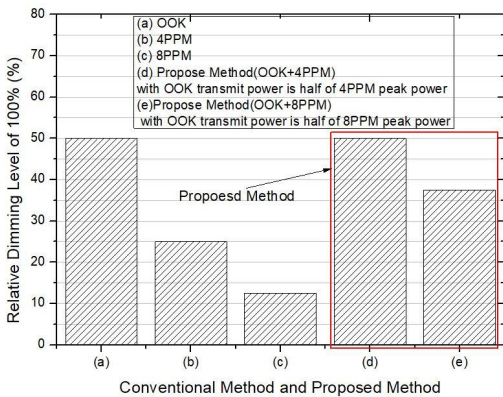


Fig. 6. Performance of Dimming Level of Proposed System

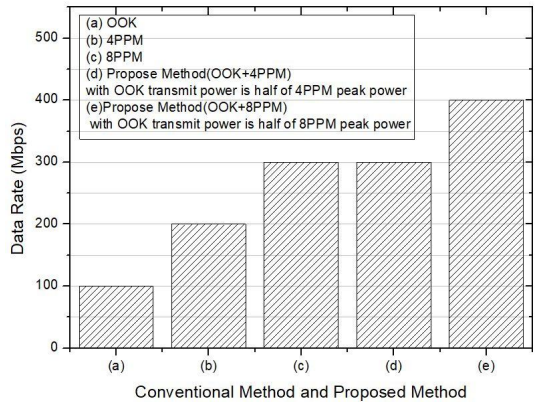


Fig. 7. Performance of Data rate of Proposed System

Fig. 6은 제안시스템의 Dimming level의 성능을 나타낸다. 일반적으로 OOK가 50%의 Dimming level을 가지며 가장 우수하다. M-PPM은 전송 속도가 우수하나 Dimming level이 급감하는 단점이 있다. 그러나 그림에서 보이는 바와 같이, 제안시스템을 적용하였을 경우에 OOK와 같은 50% 수준의 Dimming level 성능을 보였다. 또한 Data rate 성능을 Fig.7에 나타내었다. 제안시스템인 OOK + 4-PPM 전송의 경우 300Mbps로 8-PPM과 동일한 수준의 전송 속도를 보임을 알 수 있다. 전송 속도면에서는 OOK와 8-PPM을 결합하여 전송할 경우, 400Mbps로 가장 빠른 Data rate 보인다. 하지만, 이 경우 Fig.6에서 보이는 것처럼 Dimming level이 10% 이상 떨어진다는 단점이 있다. Dimming level과 Data rate는 Trade-off 관계에 있기 때문에 조명의 역할이 중요한 가시광 통신에서 적절한 선택이 필요하다.

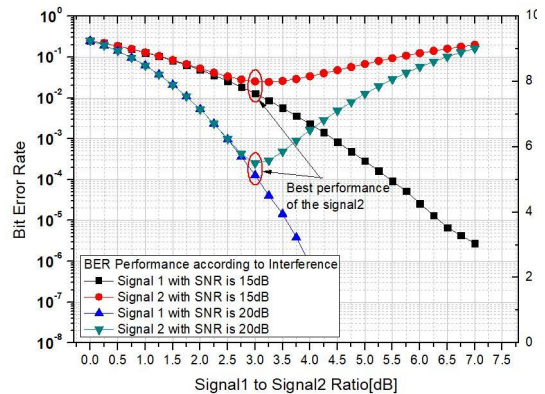


Fig. 8. BER Performance according to Interference

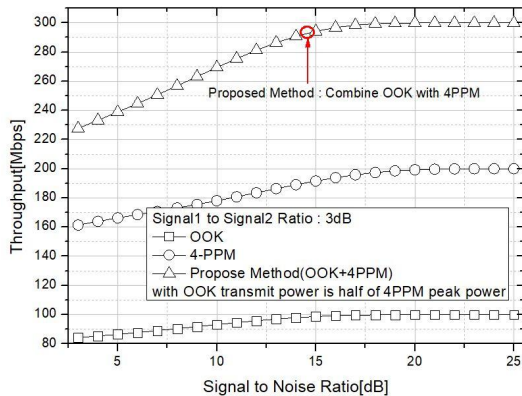


Fig. 9. Performance evaluation of the proposed system

Fig. 8.은 두 개의 송신 신호를 제안 시스템을 통해 비직교 전송 했을 때, 신호1에 대한 신호 2의 크기에 따른 두 개의 신호의 성능을 나타낸다. 4장에서 언급했듯이, 두 신호가 간섭으로 작용하지 않고 최적의 성능을 낼 수 있는 송신 전력 비율이 필요하다. Fig. 8.에 보이는 것처럼, 첫 번째 신호와 두 번째 신호의 1/2 비율, 즉  $-3\text{dB}$ 에서 신호가 가장 좋은 성능을 보인다. 또한, Fig. 9.에 기존의 OOK와 4-PPM과 성능을 비교한 제안시스템의 성능을 나타내었다. OOK의 송신 전력 대비 4-PPM의 송신 전력은 50%로 전송하였다. 그림에서 보이는 것처럼 제안시스템이 기존의 전송 방식보다 월등히 성능이 뛰어난 것을 알 수 있다. 8-PPM을 사용할 경우, 전송 성능은 더 향상될 수 있겠으나, Dimming level이 급감하기 때문에, 가시광 통신에서는 제안시스템이 적합하다고 생각된다.

## 6. 결론

본 논문에서는 가시광 통신 시스템에서 고속 전송을 위한 연구를 분석하고, 비직교 다중 전송 방식과 이를 위한 Dimming level 및 송신 전력 비율에 대해서 연구하였다. 고속 전송을 위한 다중 전송기법으로 사용되는 VLC-OCC의 경우, 이미지 센서를 통해 동시에 다수의 LED에서 전송되는 정보를 수신할 수 있어 가장 많은 연구가 진행되었다. 그러나 이미지 센서와 송신부 간의 거리와, 주변 광원으로부터 받는 간섭에 매우 민감하여 이를 해결 할 수 있는 방법이 어렵다는 단점을 가진다. 또한, 이미지 프로세싱과 이미지처리를 위한 처리시간과 LED 매트릭스의 숫자가 늘어날수록 각각의

LED를 인식하기 위한 시스템의 복잡도가 증가한다는 문제가 있다. 이미지 센서를 사용하지 않고, 종래의 포토다이오드를 이용한 가시광 통신방식에서 비직교 다중 전송 방식을 적용한 고속 가시광 통신방식은 송신 전력차를 이용한 비교적 단순한 구현이 가능하며, 기존의 시스템이 가지는 문제를 보완한다.

시뮬레이션을 통해 보인 것처럼 제안시스템을 적용하였을 경우 높은 수준의 Dimming level을 유지하면서 동시에 고속 전송을 성능 또한 만족하는 결과를 보였다. 그러나 초고속 전송을 위해서는 더 많은 변조 신호를 합성하고 Dimming level을 유지해야 한다. 따라서 3개 이상의 각기 다른 변조 신호를 합성하여 초고속 전송을 구현하는 향후 연구가 필요하다.

## REFERENCES

- [1] S. U. Shin, Y. E. An, G. S. Lee, Y. S. Moon & J. A. Park. (2008). A Study on the Development of Transmission and Reception Module for LED Light half Visible Optical Communication. *Journal of for Korean Telecommunications Association's Academic Conference, 2008(11)*, 641-646.
- [2] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama & M. Nakagawa. (2003). Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights. *IEICE TRANS. COMMUN, E86B(8)*, 2440-2454.
- [3] S. Teli, W. A. Cahyadi & Y. H. Chung. (2017). Optical Camera Communication: Motion over Camera. *IEEE Communications Magazine, 55(8)*, 156-162.
- [4] S. Tomida & K. Higuchi. (2011). Non-orthogonal access with SIC in cellular downlink for user fairness enhancement. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. DOI : 10.1109/ISAPCS.2011.6146188.
- [5] K. T. Kim & K. J. Lee. (2017). Performance Evaluation and Analysis of Zero Reduction Codes for Effective Dimming Control in Optical Wireless Communications using LED Lightings. *Journal of Convergence for Information Technology, 7(3)*, 97-103. DOI : 10.22156/CS4SMB.2017.7.3.097
- [6] I. H. Park, Y. H. Kim, J. S. Cha, K. S. Lee, Y. M. Jang & J. Y. Kim. (2010). Scalable optical relay for LED-ID system. *International Conference on Information and Communication Technology*

*Convergence (ICTC)*, (pp. 415-420).

- [7] K. J. Lee, H. D. Seo, D. H. Han & K. S. Lee. (2013). Improving the QoS using the Modulation and Coding Selection scheme by temperature characteristic of LED in the LED-ID system. *Applied ITS*, 12(1), 66-74.
- [8] Z. Feng, C. Guo, Z. Ghassemlooy & Y. Yang (2018). The Spatial Dimming Scheme for the MU-MIMO-OFDM VLC System. *IEEE Photonics Journal*, 10(5), 1-13. Article Sequence Number: 7907013
- [9] D. H. Han & K. J. Lee. (2018). A Study on the Effect of Signal Delay in Reduction Technique for Reducing Shading. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(6), 243-249. DOI : 10.22156/CS4SMB.2018.8.6.243
- [10] K. J. Lee. (2018). Dimming Level Control Technique for Lighting / Communication Functions in Visible Light Communication Systems. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(5), 153-158. DOI : 10.22156/CS4SMB.2018.8.5.153

한 두 희(Doo-hee Han)

[정회원]



- 2011년 : 경기대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)
- 2013년 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)
- 2019년 : 경희대학교 전자-전파공학과 공학박사 (전자-전파공학전공)

- 관심분야 : OFDM, MC-CDMA, VLC, MIMO
- E-Mail : hdh9038@khu.ac.kr

이 규 진(Kyu-Jin Lee)

[정회원]



- 2005년 : 경희대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)
- 2007년 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)
- 2011년 : 경희대학교 전자-전파공학과 공학박사 (전자-전파공학전공)

- 2012년 : 경희대학교 전자-전파공학과 학술연구교수
- 2013년 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수
- 관심분야 : OFDM, MC-CDMA, VLC, MIMO
- E-Mail : kyujin@semyung.ac.kr