

가시광통신 시스템에서 디밍 향상 및 플리커 감소 방안에 대한 연구

한두희¹, 이규진^{2*}

¹한라대학교 ICT융합공학부 교수, ²세명대학교 ICT융합공학부 교수

A Study on Dimming Improvement and Flicker Reduction in Visible Light Communication System

Doo-Hee Han¹, Kyu-Jin Lee^{2*}

¹Professor, Department of ICT Convergence Engineering, Halla University

²Professor, Department of Electronic Engineering, Semyung University

요약 본 논문에서는 가시광 통신 시스템의 발생하는 Dimming level 감소 및 Flicker 발생 문제를 해결하기 위한 연구를 진행하였다. 가시광 통신은 통신과 조명을 함께 제공하는 융합기술로, 통신 성능뿐만 아니라 조명의 성능을 함께 만족 해야 한다. 그러나 기존의 데이터 전송 방식은 전송 Data sequence를 고려하지 않고 전송하기 때문에, Dimming level을 감소시키고 Flicker 현상을 발생시킨다. 이를 해결하기 위해, 본 논문에서는 Dimming improvement and Flicker Reduction Mapping 기법을 연구하였다. 기존의 시스템은 단순히 '0'과 '1'의 데이터만 전송하였지만, 본 시스템에서는 RGB 채널에 Original data 전송채널과 DIFR(Dimming Improvement and Flicker Reduction) 전송채널을 할당한다. R채널에는 Original data를, DIFR-G채널에는 Original data or Inverse Original data를 할당하고, DIFR-B채널은 R채널과 G채널의 논리연산을 통해 전송함으로써, 최대 Dimming level을 유지하면서 동시에 'OFF' 패턴이 연속적으로 발생하지 않도록 하여 Flicker 현상을 방지하고 통신 기능뿐만 아니라 조명으로써의 역할을 충실히 할 수 있는 적응형 데이터 할당 알고리즘을 제안했다.

키워드 : 가시광통신, 융합기술, 디밍레벨, 무선광통신, 플리커현상

Abstract In this paper, research was conducted to solve the problem of reducing the dimming level and flicker that occurs in the visible light communication system. Visible light communication is a convergence technology that provides both communication and lighting, and must satisfy not only communication performance but also lighting performance. However, since the existing data transmission method transmits without considering the transmission data sequence, it reduces the dimming level and causes a flicker phenomenon. To solve this problem, in this paper, the Dimming Improvement and Flicker Reduction Mapping technique was studied. Existing systems simply transmitted data of '0' and '1', but in this system, original data transmission channels and DIFR (Dimming Improvement and Flicker Reduction) transmission channels are assigned to RGB channels. Original data is allocated to the R channel and original data or inverse original data is allocated to the DIFR-G channel, and the DIFR-B channel maintains the maximum dimming level by transmitting through the logical operation of the R channel and the G channel. At the same time, the flicker phenomenon is prevented by preventing continuous occurrence of 'OFF' patterns. Through this, we proposed an adaptive data allocation algorithm that can faithfully play a role as a light as well as a communication function.

Key Words : Visible light communication, Convergence technology, Dimming level, Wireless optical communication, Flicker

This paper was supported by the Semyung University Research Grant of 2022.

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

Received December 30, 2022

Accepted February 20, 2023

Revised January 23, 2023

Published February 28, 2023

1. 서론

가시광 통신은 LED 소자를 사용하여 가시광 파장을 통해 데이터를 전송하는 기술로, 조명의 기능과 통신의 기능을 동시에 제공하는 융합기술이다. 가시광 통신은 기존 RF 시스템과 달리 전파를 사용하지 않고, 넓은 대역폭의 가시광 영역 파장을 사용하기 때문에, RF 통신에 비해 고속으로 데이터통신이 가능한 시스템이다. 또한, LED 조명 인프라를 활용하여 통신 시스템을 구현하기 때문에 큰 비용 없이 통신 네트워크를 구성할 수 있다. 최근 융합 기술에 대한 관심이 높아지면서, 이미지센서를 통한 가시광 통신 기술 및 초고속 통신을 위한 다중입출력 기법 등의 연구가 활발히 진행되어, 가시광 통신 영역 확장을 위한 많은 연구가 진행되고 있다[1, 2].

이러한 가시광 통신 시스템은 LED 인프라를 사용하여 구성하기 때문에, 통신 시스템의 성능뿐만 아니라 조명의 성능 또한 매우 중요하다. 만약, 통신을 위해서 조명의 기능을 수행하지 못하게 된다면 이는 가시광 통신의 사용에 제약이 발생하게 된다. 특히, 조명의 기능에서 Dimming과 Flicker는 중요한 평가 요소이다[3].

가시광 통신은 LED의 Red, Green, Blue 소스를 통해 변조된 데이터를 송신하게 되는데, Data sequence 진행에 따라서, RGB 소자가 동시에 켜지는 타이밍이 달라지기 때문에 Dimming level이 지속적으로 변화하게 된다. 또한, 전송 데이터열의 코드셋에 의한 '0'과 '1'의 발생 비율이 다르게 되어 Dimming level 감소 및 Flicker 현상이 발생하여 조명의 성능에 악영향을 미치게 된다[4-6].

본 논문에서는 가시광 통신 시스템에서 통신 시스템으로 인한 조명의 성능 감소를 방지하고, 안정적인 통신과 조명의 기능을 동시에 제공할 수 있는 향상된 Dimming Improvement and Flicker Reduction Mapping 기법을 제안하였다. 기존의 가시광 통신에서의 데이터 전송은 물리 계층에서 단순하게 '0'과 '1'의 데이터만 전송하였지만, 본 시스템에서는 RGB 채널에 Original data 전송 채널과 DIFR(Dimming Improvement and Flicker Reduction) 전송 채널을 할당한다. R채널에는 Original data를, DIFR-G채널에는 Original data or Reverse Original data를 할당하고, DIFR-B채널은 R채널과 G채널의 논리연산을 통해 전송함으로써, RGB 채널의 유효 ON Duration을 증가시켜 최대 Dimming level을 유지하면서 동시에 'OFF' 패턴이 연속적으로 발생하지 않도록

하여 Flicker 현상을 방지하는 적응형 데이터 할당 기법이다. 제안 기법을 통해, 시스템의 복잡도를 증가 시키지 않고 가시광 통신이 가지는 고질적인 문제인 Dimming level 감소 문제와 Flicker 현상을 상당히 감소시켜 통신 기능뿐만 아니라 조명의 성능 역시 크게 향상되리라 기대한다.

2. 선행연구

조명 LED 소자의 등장과 급격한 소자 기술 발전으로, 이를 활용한 통신 기술에 대한 연구가 2000년대 초 일본에서 본격적으로 진행되기 시작하였다. 초반의 가시광 통신은 비트오율을 줄이기 위한 성능향상 기법과 동기화의 문제들을 줄이기 위한 연구를 중심으로 진행 되었다가, 최근에는 기술 상용화를 위한 다양한 고속 가시광 통신 전송 방안에 대한 연구를 진행하고 있다. 다수의 LED를 이용한 가시광 통신 시스템의 경우 전송은 가능하나 수신단에서의 데이터 간섭으로 인한 성능이 저하되어 이를 해결하기 위한 방안으로 다이버시티 이득 획득 방법, 간섭 제거 방법 등에 대한 연구가 진행되었다. 하지만, 포토다이오드를 통해서 들어오는 신호는 LED의 수신 전력만을 검출할 수 있어 근본적으로 다중의 LED로부터 들어오는 신호를 분리하는데 한계가 있다. 최근에는 이러한 간섭 문제를 해결하고, 초고속 가시광 통신을 구현하기 위해서 수신단에서 다수의 LED에 서로 다른 데이터를 전송하고, 수신단에서 다른 데이터를 효과적으로 구분하기 위하여 PD 대신에 이미지 센서를 활용한 수신 방법으로 전송거리와 속도를 높이는 인공지능 기반의 가시광 MIMO 구조에 대한 연구가 진행되었다[7, 8].

본 논문의 선행연구인 "가시광 통신 시스템에서 조명/통신 기능을 위한 효과적인 Dimming level control 기법"에서 조명의 기능을 향상시키기 위한 Dimming 관련 연구를 진행하였으나, Data sequence의 다수의 OFF 패턴에 의한 Flicker 현상에 대한 것은 고려하지 않았고, 전송 패턴에 따른 Dimming level의 최대값을 고려하지 않은 문제점이 있다. 제안 시스템에서는 이를 개선하여 조명 성능을 향상시키고 Flicker 현상을 최소화하여 안정적인 QoS를 제공할 수 있다[9].

3. 제안시스템

3.1 가시광 통신 시스템 및 채널 모델

Fig. 1. 은 전체 가시광 통신 시스템 구조도를 보여준다. 가시광 통신 시스템은 가시광 영역의 파장을 사용하여 정보를 송수신한다. 송신부는 LED를 통해 광 파장을 발생시키며, 수신부는 PD(포토다이오드) 또는 이미지센서를 통해 광 파장을 직접 송수신 및 복조 하는 IM-DD 변복조를 사용한다.

Channel은 Air surface이며, Line of Sight (LOS) channel과 None Line of Sight (NLOS) channel 및 주변 광원들의 간접 광 잡음으로 구성된다. 잡음 간섭모델은 AWGN Channel 모델로 가정한다. 또한 실내 벽면이나 장애물에 반사되어 들어오는 신호는 램버시안 복사패턴으로 가정하고, PD에는 협대역 광학 필터를 사용한다. 채널을 통과한 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

$R(t)$ 는 수신 신호이며, 이때 $S(t)$ 는 LED 송신 신호이다. $N(t)$ 는 AWGN 간섭모델이며, $*$ 은 컨벌루션, γ 은 광전 변환 효율이다[10].

3.2 가시광통신 시스템에서 Dimming 향상 및 Flicker 감소 방안

3.2.1 Flicker 현상

고속 가시광 통신은 LED의 빠른 스위칭 특성을 이용하는 것으로, 데이터를 ON/OFF Switching을 통해 전송하기 때문에, 다중 LED를 사용하는 환경에서 플리커 현상이 발생할 수 있다. 이러한 Flicker 현상은 일종의 조명

떨림 현상으로, 빛의 깜빡임으로 인해 발생한다. 지속적으로 Flicker 현상에 노출되면 두통, 집중력 감소 등의 질환을 발생시킨다. 일반적으로 사람의 눈으로 인식하기 매우 어렵지만, 사람에게 인식되지 않는 Flicker 현상도 눈의 피로나 두통을 발생시킬 수 있다는 결과가 있다. 가시광 통신은 조명의 기능과 통신의 기능을 동시에 수행한다. 따라서 이러한 Flicker 현상을 줄이기 위한 연구가 필요하다[11].

Fig. 2에 LED 전송 모델을 나타내었다. Data sequence 진행에 따라서, 각각의 LED소자가 동시에 켜지는 타이밍이 달라지기 때문에 Data sequence에 따라서 Dimming

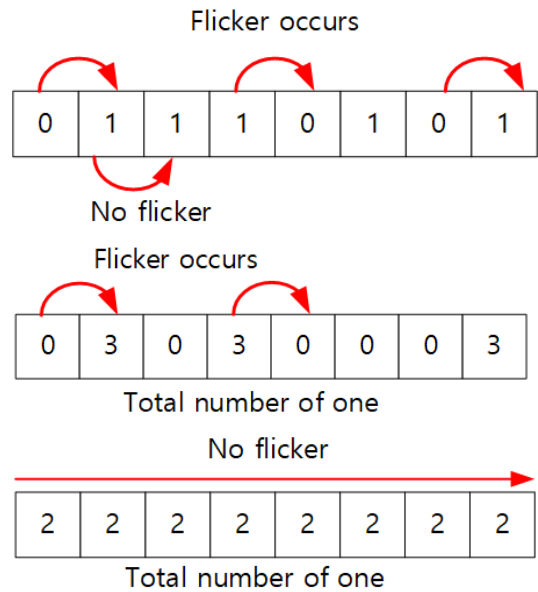


Fig. 2. Flicker occurrence according to data sequence

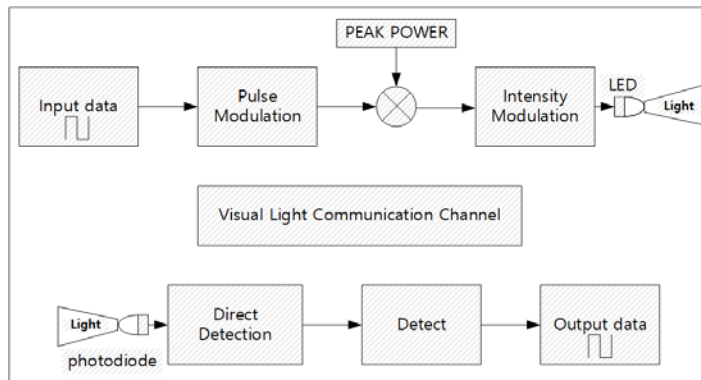


Fig. 1. VLC system structure

level이 지속적으로 변화하게 된다. 또한 그림에서 보듯 ON Duration과 OFF Duration이 매우 빠르게 반복적으로 일어나면, 인간의 눈에는 빛의 깜빡임이 나타나는 Flicker 현상을 겪게 된다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 Dimming Improvement and Flicker Reduction Mapping Scheme 기법을 제안한다.

3.2.2 Dimming Improvement and Flicker Reduction Mapping Scheme

앞서 언급한 것처럼, Flicker 현상과 이로 인한 Dimming level 감소는 LED 조명과 통신을 동시에 사용했을 때 발생하는 문제이다. Dimming은 조명의 매우 중요한 요소 중 하나로, 일정한 양의 조도가 확보되어야만 통신 및 조명으로써의 역할이 가능하기 때문에 이를 보장해 주는 것이 절대적으로 필요하다.

이를 해결하고 안정적인 통신&조명 제공을 위해서 Dimming Improvement and Flicker Reduction Mapping 기법을 적용하였다. 가시광 통신은 기본적으로 LED의 Red, Green, Blue 소스를 통해서 데이터를 전송하며, 각각의 RGB는 독립적으로 데이터 전송이 가능하다. 본 논문에서는 RGB 모델에 4가지 방법을 통하여 데이터를 전송하고, 그에 따른 Dimming level과 Flicker rate 측정 및 비교를 통해 최적의 Data mapping 방법을 적용한다.

Fig. 3에 제안 기법을 나타내었다. 기본적으로 Original data는 RGB중 Transmission power가 가장 좋은 채널에 할당한다. 본 연구에서는 임의로 R채널이 가장 좋은 채널로 가정하였다. 나머지 GB 채널은 DIFR(Dimming

Improvement and Flicker Reduction)채널로써, G채널에 Original data 또는 Reverse Original data를 추가하고, B채널에 R채널과 G채널의 논리연산을 통해 전송함으로써, 최대 Dimming level을 유지하면서 동시에 'OFF' 패턴을 감소시켜 Flicker 현상을 방지한다. 다음은 Data sequence에 따른 4가지 전송 방법이다.

scheme 1

RED(R)에는 original data를 전송하고, GREEN(G)에는 R과 동일한 데이터(G=R)를 전송한다. BLUE(B)에는 R+G의 데이터를 전송한다. 여기서, '+'는 OR 연산을 의미한다. 예를 들어 R의 신호가 '1' 이면, G의 신호도 '1'이 되고, B = R + G = 1 + 1 = 1 이 되어, R, G, B 모두 '1'이 전송된다.

scheme 2

RED(R)에는 original data를 전송하고, GREEN(G)에는 R과 동일한 데이터(G=R)를 전송한다. BLUE(B)에는 R ⊕ G의 데이터를 전송한다. 여기서, '⊕'는 Ex-OR 연산을 의미한다. 예를 들어 R의 신호가 '1' 이면, G의 신호도 '1'이 되고, B = R ⊕ G = 1 + 1 = 0 이 되어, R, G 는 '1'을 B 는 '0' 이 전송된다.

scheme 3

RED(R)에는 original data를 전송하고, GREEN(G)에는 R의 데이터를 1bit 지연시킨 데이터를 전송한다. BLUE(B)에는 R⊕G의 데이터를 전송한다. 여기서, '⊕'는 Ex-OR 연산을 의미한다. 예를 들어 R의 신호가 '0', '1', '1' 이 순서대로 입력되면, G의 신호는 1비트 순환 지연된 '1', '0', '1'이 되고, B = R ⊕ G = [0 1 1] ⊕ [1 0 1] = [1 1 0] 의 값이 전송된다.

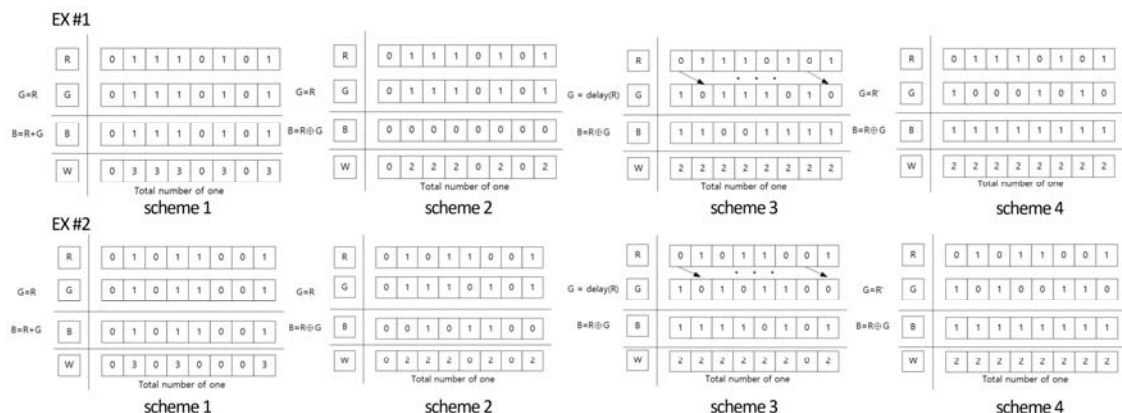


Fig. 3. Proposal system algorithm

scheme 4

RED(R)에는 original data를 전송하고, GREEN(G)에는 R의 반전 데이터를 전송한다. 즉, G가 '1'이면 R은 '0', G가 '0'이면 R은 '1'의 데이터를 전송한다. BLUE(B)에는 $R \oplus G$ 의 데이터를 전송한다. 여기서, ' \oplus '는 Ex-OR 연산을 의미한다. 예를 들어 R의 신호가 '1'이면, G의 신호도 '0'이 되고, $B = R \oplus G = 1 + 0 = 1$ 이 되어, R, B는 '1'을 B는 '0'이 전송된다. 반대로, R의 신호가 '0'이면, G의 신호도 '1'이 되고, $B = R \oplus G = 0 + 1 = 1$ 이 되어, B, G는 '1'을 R은 '0'이 전송된다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 Dimming Improvement and Flicker Reduction Mapping 기법의 4가지 Scheme를 분석하였다. 각각의 기법들의 Dimming lever 변화와 Flicker 발생 rate를 분석하고 성능이 가장 우수한 최적의 알고리즘을 도출하였다.

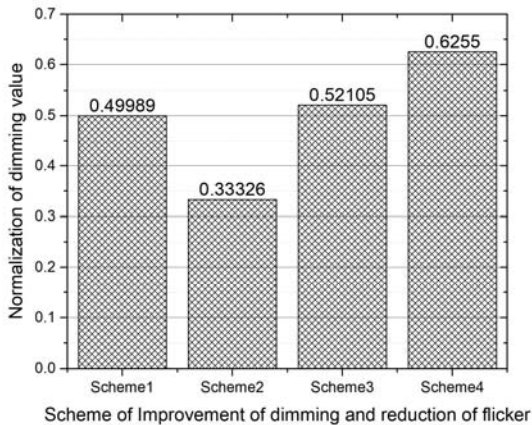


Fig. 4. Normalization of dimming

Fig. 4은 제안하는 방식에 따른 정규화 된 Dimming값을 나타낸다. 일반적으로 LED의 경우 on-off에 따라서 '0'과'1'을 번갈아 가면서 발생하기 때문에, 정규화된 Dimming 값은 0.5이다. Scheme1의 정규화된 Dimming 값에 근접한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 반면, Scheme4의 경우 0.6255로 향상되어 Dimming level이 향상된 것을 알 수 있다. Scheme4의 경우 RGB의 데이터가 R, G=R, B = $R \oplus G$ 로 매칭되어 전송함으로써 특별한 경우를 제외하고는 RGB 중 2개가 on으로 '1'이 전송되어 Dimming level이 향상된다.

Fig. 5는 제안하는 방식에 따라서 '0'과'1'이 변할 때의 분산값을 나타낸다. 즉, 평균 Dimming level 대비 '0'과 '1'값의 변화량을 나타내는 것으로 값이 작을수록 변화가 작고, 값이 클수록 변화가 큰 것을 나타낸다. Scheme4의 경우 다른 방법에 비하여 분산값이 작은 것을 볼 수 있다. 이것은 디밍에서 일정한 값을 유지하는 비율이 다른 기법에 비해서 높기때문에 변화율이 적다는 것을 의미한다. Fig. 6는 제안하는 방식에 따라서 Flicker 값을 측정 한 그래프이다. 4가지의 방식을 제안하였을 때, 앞의 발생하는 비트와 다른 값을 가질 때의 평균을 구한 것으로 제안 시스템인 Scheme4의 값이 가장 작은 것으로 앞의 발생 값과 현재의 발생값을 비교하였을 때 변화가 작다는 것을 의미한다. 즉, Scheme4가 Flicker 현상이 적게 일어난다는 것을 보여준다.

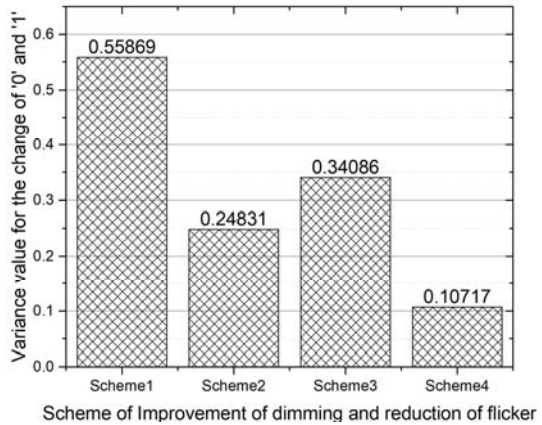


Fig. 5. Variance value for the change of '0' and '1'

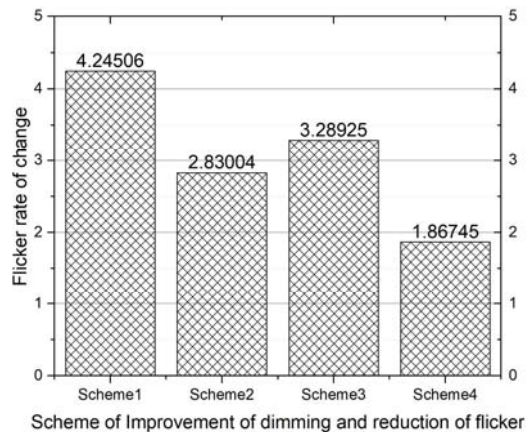


Fig. 6. Flicker rate of change

Fig 4, 5, 6를 종합해 보면 제안모델 중 Scheme4 case가 Dimming level을 일정값으로 유지하면서, 0'과 1'값의 변화가 적게 발생하여 Flicker 현상이 상당히 감소하는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 가시광 통신 시스템에서 고질적으로 발생하는 Dimming level 감소 문제 및 Flicker 현상 해결을 위한 알고리즘을 연구하였다. 통신과 조명을 동시에 사용할 때, 기존의 시스템은 Data sequence의 특성을 고려하지 않기 때문에 Off Duration이 연속으로 발생 시 조명의 성능이 심각하게 저하되거나 Flicker 현상이 발생하게 된다. 본 연구를 통해, 이러한 현상을 완화하고 Dimming level을 향상시키는 결과를 도출하였다. 시뮬레이션 결과에서 보이듯이, 시스템의 복잡도를 크게 증가시키지 않으면서 Dimming level을 일정 값으로 유지시키고, 앞에서 발생한 값과 현재의 발생한 값의 변화가 적게 발생하여 Flicker 현상이 완화한 것을 알 수 있다. 이를 통해 시스템의 조명 성능이 향상되고, 통신거리 또한 확보되기 때문에 안정적인 QoS를 제공할 수 있다. 향후에는 이를 확대 적용하여 MIMO시스템의 다중 LED 환경에서 Dimming 및 Flicker 감소 기법을 다각도로 연구할 필요가 있다.

REFERENCES

- [1] Y. Hong, L. K. Chen, J. Zhao (2020), Channel-Aware Adaptive Physical-Layer Network Coding Over Relay-Assisted OFDM-VLC Networks, *IEEE Journal of Lightwave Technology*, 38(6), 1168-1177.
- [2] D. Shi, X. Zhang, L. Shi (2021), A Joint Backscatter and VLC-NOMA Communication Scheme for B5G/6G umMTC System, *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. DOI : 10.1109/BMSB53066.2021.9547027
- [3] X. Liu, Z. Na, Y. Wang, T. S. Durrani (2021), Joint Resource Allocation for a Novel OFDM-Based Multicolor VLC Network, *IEEE Networking Letters*, 3, 100-104.
- [4] 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), 53-158.
- [5] X. Li, Z. Ghassemlooy, S. Zvanovec, L. Alvesg (2021), An Equivalent Circuit Model of a Commercial LED With an ESD Protection Component for VLC *IEEE Photonics Technology Letters*, 33, 777-779.
- [6] 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.
- [7] F. Dong, D. O'Brien (2022), High-Speed Adaptive MIMO-VLC System With Neural Network, *Journal of Lightwave Technology*, 40 (16), 5530-5540.
- [8] W. Gunawan, Y. Liu, C. Yeh, C. W. Chow (2020), Color-Shift-Keying Embedded Direct-Current Optical-Orthogonal-Frequency-Division-Multiplexing (CSK-DCO-OFDM) for Visible Light Communications (VLC) *IEEE Photonics Journal*, 12 (5).
- [9] 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.
- [10] A. Z. Suriza, S. Akter, M. Shahnan (2017) Preliminary analysis of dimming property for visible light communication *IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)* 1-5.
- [11] B. Munir, V. Dyo (2018), Passive Localization Through Light Flicker Fingerprinting *IEEE Sensors Journal*, 19(24), 12137-12144.

한 두 희 (Han, Doo-hee)

[정회원]



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

- 2021년~현재 : 한라대학교 ICT융합공학부 교수
- 관심분야 : OFDM, MC-CDMA, VLC, MIMO
- E-Mail : doohee.han@halla.ac.kr

이 규 진 (Lee, Kyu-Jin)

[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 : 6G, Deep learning based communication, VLC, MIMO
- E-Mail : kyujin@semyung.ac.kr