

가시광통신 시스템에서 조명/통신 기능을 위한 효과적인 Dimming level control 기법

이규진
세명대학교 전자공학과 교수

Dimming Level Control Technique for Lighting / Communication Functions in Visible Light Communication Systems

Kyu-Jin Lee

Professor, Department of Electronic Engineering, Semyung University

요 약 본 논문에서는 가시광 통신시스템에서 조명과 통신의 성능을 동시에 만족하기 위한 Dimming level control 기법을 연구하였다. 일반적으로 가장 많이 사용되는 OOK와 RZ-OOK 변조 방식의 경우, 연속적인 Burst Zero Duration이 발생하면 조명 기능이 심각하게 저하된다. 이는 조명뿐만 아니라 시스템 전체의 성능을 열하시키는 원인이 된다. 본 연구를 통해, 기존 시스템의 Dimming level 특성을 분석하고, Dimming level을 높이기 위한 기법으로 Illegal Pulse Insertion (IPI) 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해, Dimming level을 효과적으로 제어하고 기존 변복조 시스템에서 나타나는 플리커(flicker) 현상과 Dimming level 감소를 해결하여 조명과 통신 양쪽 모두의 QoS를 향상시킬 수 있다.

주제어 : 가시광통신, 디밍레벨제어, 융합기술, 데이터전송, 무선광통신

Abstract In this paper, we have studied a dimming level control method to satisfy both lighting and communication performance in visible light communication system. In the case of the most commonly used OOK and RZ-OOK modulation schemes, continuous Burst Zero Duration will seriously degrade the lighting function. This causes not only the illumination but also the performance of the entire system to deteriorate. Through this study, we analyzed the dimming level characteristics of the existing system and proposed the Illegal Pulse Insertion (IPI) algorithm as a technique to increase the dimming level. Through this, it is possible to effectively control the dimming level and improve the QoS of both lighting and communication by resolving the flicker phenomenon and dimming level reduction in the existing modulation and demodulation system.

Key Words : Visible light communication, Dimming level control, Convergence technology, Data transmission, Wireless optical communication

1. 서론

4차 산업혁명인 IoT 융합기술 시대에 접어들면서 스마트 융합기술의 중요성이 점차 커지고 있다. 차세대 통신기술로 주목 받아온 가시광 통신은 최근 LED소자의

빠른 발전으로 인해 조명-IT 신 융합기술로써 다양한 분야의 활용을 위한 연구가 진행 중이다. 가시광통신은 조명 인프라를 이용하기 때문에, 무선 네트워크 환경 구축이 쉽고, 저렴한 비용으로 구축이 가능하기에 활용 가치가 높은 기술이다. 또한 RF를 사용하지 않고 가시 광 파

*This paper was supported by the Semyung University Research Grant of 2016

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

Received September 21, 2018

Accepted October 20, 2018

Revised October 5, 2018

Published October 31, 2018

장을 사용하기 때문에, 주파수자원 허가 및 인증이 필요하지 않고, 주파수 간섭 없이 넓은 가시 광 대역폭을 사용할 수 있으며, 물리적 보안기능이 뛰어나다. 고속 멀티미디어 데이터 전송도 가능해, RF를 대체할 차세대 무선 통신 기술로 꼽히고 있다[1,11].

가시광 통신에 대한 기술 개발은 LED 소자의 발전과 함께 2000년경에 일본 게이오 대학에서 가시광을 이용한 통신에 대한 논문을 발표하면서 시작되었다. LED 조명 인프라가 널리 확산되면서 가시광 통신의 관심도가 증가함에 따라 가시 광 무선통신 표준화 컨소시엄 VLCC가 일본에서 결성되었다. 현재는 일본의 많은 대학 및 연구소와 기업들이 VLCC에서 표준화 연구를 진행 하고 있다. 일본은 가시광통신 관련 연구를 가장 먼저 시작하여, 여러 융합기술 분야에서 성과를 올리고 있으며, 다양한 산학연 협업을 통해 기술 개발을 진행 하고 있다. 마쓰시다 전기와 함께, 실내 환경 가시 광 channel 모델링과 가시광 통신에서 위치 추적을 위한 위치정보 검출 기법을 연구하였고, 고속 가시광 통신을 위해 다수의 LED에서 병렬 전송하는 데이터를 이미지센서로 수신하여 기존 PD방식이 가지는 전송 속도 및 수신거리 문제를 해결하기 위한 연구도 다양하게 진행되고 있다.

국내에서는 2005년 말 한국 광기술원의 가시광통신 기술 연구회 활동을 중심으로, 산자부 신기술 실용화 개발사업의 일환인 백색 LED를 이용한 가시광통신 기술개발 과제를 수행하였다. 또한 ETRI에서는 2007년 가시광 통신사업 기획을 시작, 2008년부터 국책사업으로 연구 개발을 시작했다. 최근에는 가시광 통신 융합 기술 및 다수의 LED 환경의 고속통신을 위한 연구를 활발히 진행 중이다[2].

이러한 가시광 통신 시스템을 구축하기 위해서는 통신과 조명의 역할을 동시에 만족해야 한다. 기존의 통신 기술만을 제공하는 기술들과는 달리 조명과의 융합기술이기 때문에, 통신뿐만 아니라 조명의 역할을 위한 방안이 필요하다. 이러한 조명의 역할 수행을 만족하기 위해서는 LED Dimming Control과 과 플리커(flicker) 현상 제어가 중요한데, 이를 위해서는 LED 특성과 가시광 통신에서 사용되는 변조기법들의 Dimming level특성을 파악해야 한다. 또한 이에 따른 Dimming level control기법이 필요하다[3]. 일반적으로 가장 많이 사용되는 OOK와 RZ-OOK 변조 방식의 경우, 아스키코드, 바이너리 코드로 데이터를 전송할 때, 연속적인 Burst Zero Duration이

발생하면 조명 기능이 심각하게 저하된다. 또한, '0'이 연속적으로 발생하는 구간이 증가하면, 플리커 현상이 발생하여 조명으로서의 역할이 어렵게 된다. 이는 조명뿐만 아니라 시스템 전체의 성능을 열하시키는 원인이 된다. 본 연구를 통해, 각 변조기법이 가지는 Dimming level특성을 분석하고, Illegal Pulse Insertion(IPI) 알고리즘을 통한 Dimming level control 기법을 제안한다.

2. 시스템 모델

2.1 채널모델

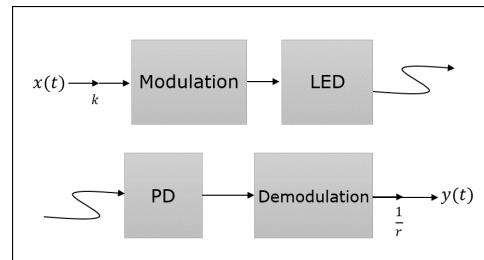


Fig. 1. VLC system structure diagram

Fig. 1에서 VLC 시스템의 전체 구조도를 나타내었다. VLC 다운링크 시스템에서 송신기와 수신기는 LED조명 광원을 이용하여 정보를 송수신 한다. 가시광 통신은 LED송신부에서 변조된 신호를 광 신호로 전송한다. 가시 광 파장 대역의 광 신호는 포토다이오드 (PD)에서 수신하여 복조 과정을 거쳐 통신을 완료한다. 가시 광 파장의 광 신호가 실내 air surface 에서 전송되는 과정의 특징이 가시광 통신 채널 모델이다. 실내의 사물이나 벽, 장애물 등에 도달하여 반사되는 광 신호는 방향이 바뀌고 그 에너지가 줄어든다. 또한 광 파장이 움직이는 거리에 따라서, 거리 제곱에 비례하여 에너지가 줄어든다. 또한 광입자들이 실내에서 반사되어 PD에 수신되기 때문에 시간 차이를 가지고 도달하는 특성이 있다[4].

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 간접 광 잡음은 AWGN Channel 모델로 가정한다. 또한 실내 벽면이나 장애물에 반사되어 PD로 수신되는 반사광은 램버시안 반사로 모델링한다. PD 수신부에는 광학 협대역 필

터를 적용하고, Optical Channel에서 간접 광으로 인한 shot noise는 Gaussian Noise Process로 무시할 수 있다. 따라서 가시광 통신에서 채널을 통과한 수신신호는 다음과 같다[12,13].

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

$R(t)$ 는 수신신호를 나타내고, $S(t)$ 는 전송 광 신호를 의미한다. N 은 잡음으로 AWGN 이며, $*$ 은 컨벌루션을, γ 은 O/E 변환 효율값을 나타낸다.

송신기는 $S = (r_s, n_s, n)$ (Position vector r_s , Direction vector n_s , Radiation lobe의 모드 수 n) $D = \{r_D, \hat{n}_D, A_D, FOV\}$ (Position vector r_D , Direction vector \hat{n}_D , Receive area A_D , Field of View) 로 표현한다. 실내 환경에서 장애물 등에 의해 반사면을 가지는 Indoor Channel 환경의 Impulse response는 다음 수식과 같이 표현된다.

$$G(t; S, D) = \sum_{k=0}^{\infty} G^{(k)}(t; S, D) \quad (2)$$

위 수식에서, $G^{(k)}(t)$ 는 k 번 반사되어 들어오는 신호의 Impulse response를 나타낸다. LOS 신호를 고려한 Channel impulse response High-order terms은 다음과 같이 표현된다.

$$G(t; S, D) = \int G^{(0)}(t; S, \{r, \hat{n}, \frac{\pi}{2}, dr^2\}) * G^{(k-1)}(t; \{r, \hat{n}, 1\}, D) \quad (3)$$

r 은 모든 반사면 S상에 있는 Position vector를 의미한다. \hat{n} 은 반사면 S에 있는 위치 r 에서의 단위법선 벡터를 나타내며, dr^2 은 반사면의 위치 r 에서의 미분면소이다[8,10].

2.2 On-Off keying (OOK)

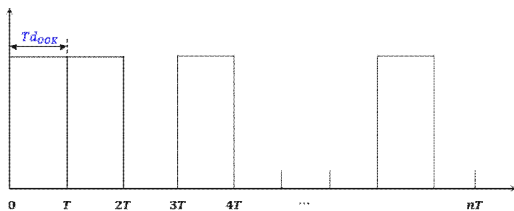


Fig. 2. OOK data sequence

Fig. 2는 OOK 변조 파형을 보여준다. OOK는 LED소자의 ON/OFF제어를 통해 1과 0을 매칭하여 전송하는 가장 간단한 변조 방식이다. 따라서 OOK Dimming level 또한 1이 많을수록 밝기가 밝은 간단한 구조를 가진다. OOK에서 전체 평균 Dimming level은 50% 정도이며 발생 데이터 열에 따라 상이한 결과를 보인다[6,7].

OOK의 가장 큰 단점은, 데이터 0이 연속해서 발생하는 구간에서 플리커 현상이 발생하거나 Dimming level이 급감한다는 점이다. 이러한 문제로 인해 조명과 통신을 동시에 제공해야하는 가시광통신에서는 별도의 Dimming control기술이 반드시 필요하다. 또한 데이터 열에 1이 연속적으로 발생하는 경우, 반사과 등에 의한 delay signal에 의해 간섭이 발생하고 동기화 문제가 발생할 수 있다.

2.3 Return-to-zero OOK (RZ-OOK)

RZ-OOK 방식은 OOK에서 보호구간을 추가하여 변조하는 방식으로, 각각의 slot구간 T 내에 데이터가 1일 경우 Zero구간으로 귀환한다. RZ-OOK는 delay signal에 의해 발생하는 간섭에 강하며 동기화에 좋은 특성을 가지고 있다.

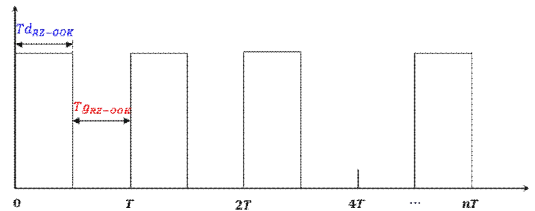


Fig. 3. RZ-OOK data sequence

Fig. 3은 RZ-OOK 변조 신호를 보여준다. RZ-OOK에서 Dimming level은 T_g 의 시간을 조절함으로써 변화한다[5]. 한 주기 T 는 $Td_{RZ-OOK} + T_g$ 로 OOK의 주기 Td_{OOK} 와 같다. 따라서 $T_d + T_g = T$ 에서 $T_g = 0$, $T_d = T$ 일 때 최대 Dimming level 50%로 OOK와 동일하나, 일반적으로 보호구간에 의해 T_g 가 사용되기 때문에 전체 Dimming level은 50%이하로 사용된다.

3. Illegal Pulse Insertion(IPI) Dimming level control

가시광 통신 시스템에서 OOK와 RZ-OOK 변조를 사

용하여 이진코드와 ASCII코드로 송신할 때, 특정 데이터 시퀀스에서 Dimming level이 급감하는 현상이 나타난다. Fig. 4에서 보여 지는 바와 같이, 데이터 0이 연속적으로 이어지면 Burst Zero Duration(BZD)이 발생하여 Dimming level에 심각한 영향을 미친다. 기존의 변조 방법에서는 이러한 BZD로 인해 전체적인 조명 성능이 저하되고 플리커 현상이 발생하여 조명과 통신의 기능을 동시에 사용하기 어렵고, 데이터 동기화가 어려워 Error 발생 확률이 높아진다[9].

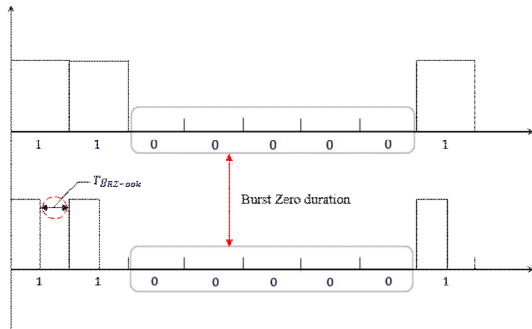


Fig. 4. Burst Zero Duration in OOK/RZ-OOK

이러한 문제를 해결하기 위해, 데이터 0이 연속적으로 발생할 때, 연속된 0 사이에 Pulse Insertion을 통해 데이터를 0'으로 변조하는 Illegal Pulse Insertion(IPI) 기법을 제안하였다. RZ-OOK 변조 기법은 2장에서 보인바와 같이 보호구간 Tg 를 가진다. 이러한 보호구간을 이용하여 데이터 0이 연속적으로 발생할 시, 데이터 주기 T 구간에서 보호구간으로 사용되는 Tg 를 임의로 1신호로 변조해 LED ON신호를 발생시킨다. 이렇게 변조되는 신호를 Illegal Pulse Insertion(IPI)라고 하며 0'으로 나타낸다. 따라서 데이터 시퀀스에 연속적으로 "000" 데이터가 발생한다면, "00'0"을 전송한다. 그러나 000데이터 구간에서만 IPI 알고리즘을 적용하게 되면, 그림 5와 같이 5개 이상의 0이 존재하는 Burst zero Duration이 발생할 경우 중첩되는 구간의 데이터0에는 적용이 어려운 문제가 발생한다.

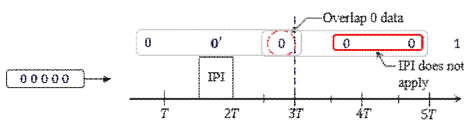


Fig. 5. Overlap interval data 0

제안 시스템에서는 이러한 중첩데이터를 고려하여 데이터 인식 구간을 $[0]*3$, $[0]*5$, $[0]*7$ 구간으로 설정하고, 각각 IPI적용 알고리즘을 설계하였다. Fig. 6에 제안시스템의 변조 기법을 나타내었다.

각 구간에서 전송하는 0'데이터 위치는 데이터 0과 0의 사이의 보호구간이며 Data analysis count 시스템에서 연속된 데이터열의 Zero Data D_n 을 판별하고,

$$\begin{aligned} D_n &= [0]*3 \\ D_n &= [0]*5 \\ D_n &= [0]*7 \end{aligned} \quad (4)$$

의 각 구간에서 IPI를 삽입하여 전송한다. Fig. 7에 전체 시스템의 흐름도를 나타내었다. 제안 알고리즘을 통해 기존의 시스템에 비해 Dimming level이 상승하고, BZD 발생 시 플리커 현상이 발생하는 것을 방지할 수 있다.

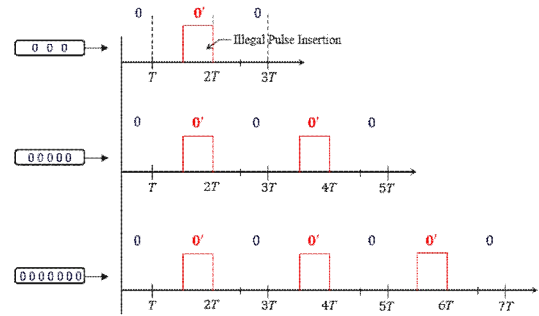


Fig. 6. Illegal Pulse Insertion (IPI) algorithm

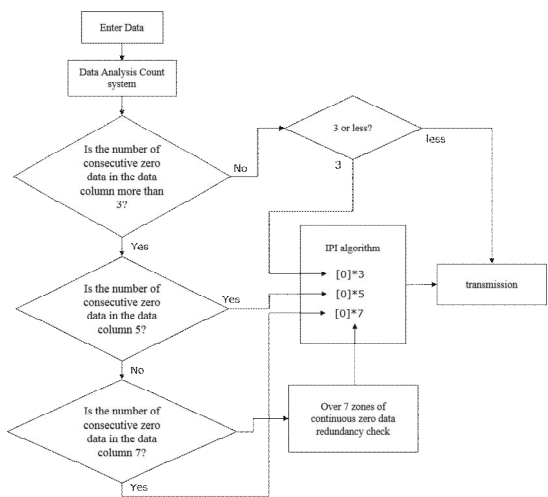


Fig. 7. Algorithm flow chart

4. 시뮬레이션 및 결과

Table 1. Letter occurrence frequency in Matthew 1

Letter	Probability of occurrence	ASCII Code	Letter	Probability of occurrence	ASCII Code
A	10.80074488	1000001	N	3.770949721	1001110
B	2.560521415	1000010	O	8.472998138	1001111
C	1.44320298	1000011	P	1.024208566	1010000
D	3.538175047	1000100	Q	0.046554935	1010001
E	12.4301676	1000101	R	5.959031657	1010010
F	4.981378026	1000110	S	4.748603352	1010011
G	0.884543762	1000111	T	8.752327747	1010100
H	10.98696462	1001000	U	2.048417132	1010101
I	5.260707635	1001001	V	0.698324022	1010110
J	1.396648045	1001010	W	1.722532588	1010111
K	0.605214153	1001011	X	0.232774674	1011000
L	2.793296089	1001100	Y	0.698324022	1011001
M	3.072625698	1001101	Z	1.070763501	1011010

제안 시스템의 Dimming level 시뮬레이션을 위해 Matthew 1의 문자 데이터를 RZ-OOK로 변조하여 전송하였다. 마태복음은 총 3901개의 영문자로 이루어져 있고, 이를 ASCII 코드로 변환하여 전송한다. Table. 1에 ASCII 알파벳 문자 변환표를 나타내었다. 알파벳 문자 A는 ASCII코드로 변환 시 1000001이므로 제안시스템을 적용하면 $D_n = [0]*5$, Data[100'00'01]로 전송하게 된다.

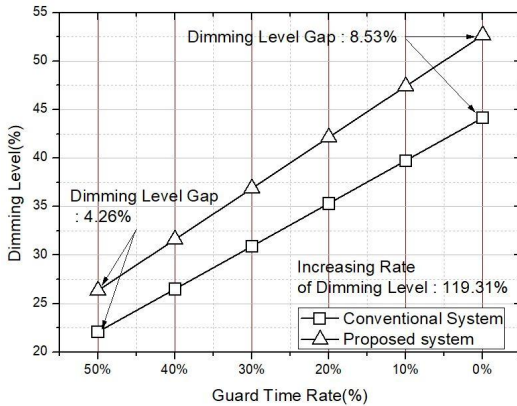


Fig. 8. Dimming level performance with guard time

Fig. 8은 제안시스템과 RZ-OOK의 Dimming level 성능을 보여준다. RZ-OOK는 Return-to-Zero를 위한 보호구간이 필요하다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 보호구간의 비율에 따른 Dimming level을 비교하였다. 그림에

서 보여 지는 것처럼 보호구간에 따라 Dimming level이 최대 8.53%까지 향상되는 것을 볼 수 있다. 또한 기존 시스템에 대비 약 119.31% Dimming level이 증가함을 알 수 있다. RZ-OOK의 보호구간이 0%인 경우에는 기존의 OOK와 동일한 Dimming level을 가지는데, 제안 시스템의 경우 보호구간이 10%에서도 OOK 시스템 보다 Dimming level이 높음을 보인다. 또한 보호구간이 줄어들수록 기존 시스템과 제안시스템 간의 Dimming level Gap의 차이가 점진적으로 증가함을 보인다.

5. 결론

본 논문에서는 가시광 통신시스템에서 조명과 통신의 성능을 동시에 만족하기 위한 Dimming level control 기법을 연구하였다. 일반적으로 가장 많이 사용되는 OOK와 RZ-OOK변조 방식의 경우, 연속적인 Burst Zero Duration이 발생하면 조명 기능이 심각하게 저하된다. 이는 조명뿐만 아니라 시스템 전체의 성능을 열하시키는 원인이 된다. 본 연구를 통해, 각 변조기법이 가지는 Dimming level특성을 분석하고, 기존 시스템의 자원을 재활용하는 알고리즘을 적용하여 Dimming level을 효과적으로 제어해, 실제 조명과 시스템 성능이 향상되는 결과를 볼 수 있었다. 향후에는 이를 확대 적용하여, 가시광 통신에서 사용되는 다양한 변조기법에 적용할 수 있도록 다각도로 연구되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] D. G. Kim. (2014). Current status and direction of 5G mobile communication. *R&D Information and Communication*, 23-28.
- [2] S. Rajagopal et al. (Jul. 2009). *TG7 Technical Considerations Document IEEE 802.15.7 Task Group Document*.
- [3] A. Z. Suriza, Sharmin 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
- [4] J. W. Kim, K. H. Lee & H. C. Park. (2012). Power Efficient Visible Light Communication Systems Under Dimming Constran. *IEEE 23rd International*

Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications - (PIMRC).

- [5] Ip Ezra, J. M. Kahn. (2006). Power spectra of return-to-zero optical signals *Journal of Light wave technology*, 24(3).
- [6] Y. H. Liu, Z. Z. Yang & S. C. Wang. (2010). A novel sequential-color RGB-LED backlight driving system with local dimming control and dynamic bus voltage regulation. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(4), 2445-2452.
- [7] S. Shao, A. Khreishah & I. Khalil. (2016). Joint link scheduling and brightness control for greening VLC-based indoor access networks. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 8(3), 148.
- [8] G. T. Kim, D. H. Han, K. S. Lee & K. J. Lee. (2014). Analysis Performance of VLC System according to the Transmission Distance and Angle of Incidence. *Journal of Convergence for Information Technology*, 4(4), 37-42.
- [9] 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.
- [10] K. H. Lee & H. C. Park. (2011). Modulations for Visible Light Communications With Dimming Control. *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, 23(16).
- [11] K. J. Lee & G. J. Kim. (2015). The blocking channel to reduce the performance decrease using the low correlation with cyclic delay scheme in LED-ID system. *Journal of Digital Convergence*, 13(10), 319-325.
- [12] K. J. Lee & G. J. Kim. (2014). Co-channel Interference Reduction using Multi code MC-CDMA in Visual Light Communication System. *Journal of Digital Convergence*, 12(8), 249-255.
- [13] H. D. Seo & K. J. Lee. (2017). Efficient Data Transmission in LED-based Visible Light Communication Using Variable RGB Interleaving scheme. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(6), 167-172.

이 규 진(Lee, Kyu-Jin)

[종신회원]



- 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