

가시광통신에서 플리커 완화 및 BER 성능 향상을 위한 코딩 기법에 대한 연구

이규진
세명대학교 전자공학과 교수

A Study on Coding Techniques for Flicker Reduction and BER Performance Improvement in Visible Light Communication

Kyu-Jin Lee
Professor, Department of Electronic Engineering, Semyung University

요약 본 논문에서는 가시광 통신시스템에서 플리커 완화 및 BER 성능 향상을 위한 코딩 기법에 관해서 연구하였다. 가시광 통신의 전송 속도를 높이기 위해 다수의 LED를 사용하는 멀티전송 다중 LED 전송시스템이 활발히 연구되고 있다. 그러나 N개의 LED를 사용하는 다중 LED 가시광 통신시스템에서 N개의 LED를 통해 데이터를 전송할 때, 데이터 시퀀스에 따라 동시에 0이 전송되는 연접 Zero 구간이 발생하고, 또한 1의 전송 구간이 서로 다르기 때문에 플리커 현상과 Dimming level의 변화로 인한 조명 성능 저하 현상이 발생하게 된다. 가시광 통신시스템은 통신 및 조명 기능을 동시에 수행하는 통신시스템이다. 따라서 통신의 전송 효율과 조명의 밝기를 동시에 고려되어야 한다. 우리는 이러한 문제를 해결하기 위해 각각의 LED 데이터 시퀀스의 코딩 매핑을 통해 플리커 현상과 Dimming level 문제를 완화하고 에러 검출 및 BER 성능을 향상시킬 수 있는 플리커 완화 기법을 제안하였다.

주제어 : 가시광통신, 플리커, 디밍, 무선광통신, 에러검출

Abstract In this paper, we studied the coding technique for flicker mitigation and BER performance improvement in visible light communication system. In order to increase the transmission speed of visible light communication, a multi-transmission multi-LED transmission system using a plurality of LEDs is being actively studied. However, when data is transmitted through N LEDs in a multi-LED visible light communication system using N LEDs, there is a continuous zero section in which 0 is transmitted simultaneously according to the data sequence, and since the transmission section of 1 is different, flickering Or, a phenomenon in which the dimming level changes occurs. The visible light communication system is a communication system that simultaneously performs communication and lighting functions. Therefore, transmission efficiency of communication and brightness of lighting must be considered at the same time. To solve this problem, we proposed a flicker reduction mapping that can alleviate flicker and dimming level problems, improve error detection and BER performance through coding mapping of each LED data sequence.

Key Words : Visible light communication, Flicker, Dimming control, Wireless optical communication, Error estimation

*This paper was supported by the Semyung University Research Grant of 2020

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

Received January 18, 2021
Accepted February 20, 2021

Revised February 6, 2021
Published February 28, 2021

1. 서론

최근 4차 산업혁명의 키워드인 ICT 융합기술이 산업 전반에 걸쳐 핵심 연구과제로 떠오르고 있다. 가시광 통신은 기존의 조명시스템과 통신시스템의 융합기술로써, LED 조명과 통신을 동시에 사용할 수 있는 차세대 통신 융합기술이다. LED를 이용한 가시광통신은 넓은 대역폭을 사용하여 음성뿐만 아니라 고속 멀티미디어 시스템에 사용이 가능하고, RF와 다르게 전파를 이용하지 않기 때문에 주파수 사용에서 자유롭고, 주파수 간섭이 없으며 보완성이 뛰어나, 전파를 대체하여 다양한 산업 현장에 적용 가능한 ICT 기술로 주목받고 있다. 특히, 최근의 통신 기술을 이용한 VR/AR, 초고화질 멀티미디어, 클라우드 시스템 등의 첨단 서비스가 초고속, 초지연을 통하여 운영할 수 있어 이러한 요구 사항은 만족시키는 기반 인프라도 계속적으로 연구되고 있다[1]. 현재 가시광 통신은 이러한 첨단 ICT 융합 기술의 요구 조건을 충족하기 위해 많은 연구가 진행되었다. 기존의 가시광 통신이 가지는 전송 채널의 한계를 극복하고, 고속전송 시스템을 구현하기 위해 다수의 LED를 사용하는 MIMO-VLC 시스템과 Optical camera를 활용한 다중 전송기법 등이 활발히 연구되고 있다[2,3]. 그러나 이러한 고속전송 환경을 구축하기 위해 다수의 LED를 사용하여 통신 성능을 향상 시킬 경우, 상대적으로 조명의 기능이 불안정해지는 현상이 발생한다. N개의 LED를 사용하는 다중 LED 가시광 통신시스템에서 N개의 LED를 통해 데이터를 전송할 때, 데이터 시퀀스에 따라 동시에 0이 발생하는 구간과 1의 전송 구간이 LED마다 서로 다르기 때문에 플리커 현상과 Dimming level이 변화하는 현상이 발생하게 된다. 특히 플리커 현상은 가시광 통신의 많은 변복조 기술에서 발생하는 공통 문제로 반드시 해결해야 하는 과제이다. LED를 이용한 고속 가시광통신에서는 '0'과 '1'의 스위칭 속도를 매우 빠르게 변화시켜, 광원의 전력변화가 나타나는 최대 주기를 5ms 이내로 제한할 경우 플리커 현상을 눈으로 인식하지 못하게 되지만, 사람이 인식하지 않은 플리커 현상도 눈의 피로나 두통, 집중력 감소 등의 문제를 야기할 수 있다[4]. 가시광 통신시스템은 통신과 조명의 역할을 동시에 수행해야 하기 때문에, 이러한 조명 성능을 향상 시키기 위한 연구도 반드시 동시에 진행되어야 한다. 이성호[5]의 연구에서는 플리커 방지를 위하여 3레벨 바이트반전 전송방

식을 제안하였고, 원 데이터와 반전 데이터의 동시 전송을 통하여 평균 레벨을 일정하게 유지하여 플리커 현상을 예방할 수 있는 장점은 있으나, 동일한 데이터를 반전시켜 한번 더 전송함으로써 전송효율이 떨어지고, 다중 LED를 사용하여 전송할 경우 수신단에서 신호 분리에 어려움이 발생하는 문제가 있다.

본 논문에서는, 고속전송 환경에서 통신의 전송 효율과 조명시스템을 동시에 고려하고 전송 에러 검출률을 높이기 위한 기법을 제안하였다. 각각의 LED 데이터 시퀀스를 XOR 매핑을 통해 각각의 LED에 전송할 데이터 배열을 새롭게 맵핑하여 전송한다. 이 경우, 각 LED가 동시에 0을 전송하는 경우를 제외한 모든 구간의 데이터 1 전송 개수를 동일하게 맞출 수 있기 때문에 조명 성능이 저하되는 것을 방지할 수 있다. 또한, 송신하는 LED의 개수에 따라서, 맵핑되는 ON 상태의 개수가 정해지기 때문에 Error 정정 부호와 동일한 효과를 가져, 수신된 데이터의 Error 검출에 큰 장점이 있다. 이러한 기법을 통해 시스템의 복잡도를 크게 증가 시키지 않으면서, 플리커 현상과 Dimming level 문제를 완화하고 에러 검출을 통하여 BER 성능을 개선 할 수 있는 기술을 제안한다. 본 논문의 구성은 2장에서는 가시광통신 시스템 모델 및 채널 모델을 설명하고, 3장에서는 제안 시스템에 대한 알고리즘을 설명하고 4장에서는 시뮬레이션 파라미터 및 결과를 나타낸다. 마지막으로 5장에서는 결론으로 논문을 마무리한다.

2. 시스템 모델

2.1 채널모델

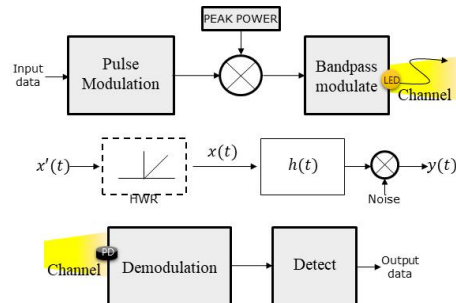


Fig. 1. Block diagram of VLC system

Fig. 1. 는 일반적인 가시광 통신의 시스템구조를 나타내었다. 가시광 영역의 파장을 사용하여 송수신하는 시스템구조를 가진다. TX는 LED에서 가시광 파장을

발생시켜 송신하며, RX에서는 Photo Diode를 통하여 광 파장을 수신하여 Data를 복원하는 IM-DD 변복조를 사용한다. LED에서 입력된 신호를 고속으로 ON/OFF 스위칭을 통하여 데이터를 송·수신한다[6,7]. 송수신 channel은 공기 매질 공간인 Air surface이며, Line of Sight (LOS) channel과 None Line of Sight (NLOS) channel 및 주변 광원들의 간접 광 잡음으로 구성된다. LED 조명의 특성상 주변에 설치된 광원들로부터 들어오는 중첩 신호에 대한 잡음 모델은 백색잡음(AWGN)으로 가정한다. 가시광 통신에서 채널을 통과한 수신신호는 수식 (1)과 같다[8,9].

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

여기서, $R(t)$ 는 수신신호, $S(t)$ 는 송신 신호이다. 또한, N 은 AWGN이고, γ 은 O/E 변환 효율, $*$ 은 컨볼루션을 나타낸다..

2.2 광 수신 효율

LED를 이용한 가시광통신 시스템에서 송수신기간 신호전달 모델은 중간 장애물이 없이 직선광으로 연결된 LOS 신호와 벽이나 바닥의 반사광을 통해서 수신되는 램버시안 모델로 구성되며, 수신신호의 평균 세기는 수식 (2)와 같다[10-12].

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

3. Flicker reduction mapping 기법

LED1	0	0	0	0	1	1	1	1
LED2	0	0	1	1	0	0	1	1
LED3	0	1	0	1	0	1	0	1

Fig. 2. Multi-LED data sequence

다수의 LED를 사용하는 고속전송 환경에서 각각의 LED는 서로 다른 데이터 시퀀스를 가지고 전송한다. Fig. 2.에 다중 LED 전송 모델을 나타내었다. LED N 개를 사용하는 시스템에서 본 논문은 N=3 이라고 가정하였다. 그림을 보면, LED #1 = [0 0 0 0 1 1 1 1], LED #2 = [0 0 1 1 0 0 1 1], LED #3 = [0 1 0 1 0 1 0 1]의 8bit 데이터를 전송 중인 것을 알 수

있다. 이 경우, N=3개의 LED에서 가질 수 있는 1의 개수는 1-3이다. 데이터 시퀀스 진행에 따라서, 각각의 LED가 동시에 켜지는 타이밍이 달라지기 때문에 데이터 시퀀스에 따라서 Dimming level이 지속적으로 변화하게 된다. 예를 들어, 그림에서 두 번째 Time Slot에서는 LED #3 1개만 ON이고 나머진 OFF, 세 번째 Time Slot에서는 LED #2만 ON, 나머지 OFF 상태이나, 네 번째 Time Slot에서 LED #2 #3이 동시에 ON 된다. 그리고 마지막 Time Slot에서는 모든 LED가 ON 상태가 된다. 이러한 변화가 매우 빠르게 일어나면, 인간의 눈에는 빛의 깜빡임이 나타나는 플리커 현상을 겪게 된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 Flicker reduction mapping 기법을 적용하였다.

LED 1	0	0	1	1
LED 2	0	1	0	1
LED 3	0	1	1	0

Mapping of LED 3 = LED 1 XOR LED 2

Fig. 3. Proposed mapping scheme

Fig. 3에 제안 시스템의 맵핑 기법을 나타내었다. LED #1과 #2에서 LED #1 = [0 0 1 1], LED #2 = [0 1 0 1]의 데이터를 각각 전송 중일 때, LED #3은 LED #1과 #2의 신호를 exclusive OR 연산을 통해 맵핑 한다. 이러한 맵핑을 통해, [0 0 0] 인 상황을 제외하면 모든 구간에서 1의 전송 개수가 2개가 되기 때문에, LED ON/OFF 개수에 따른 플리커 현상을 완화 시킬 수 있다.

		Encoded data			
LED 1	1	0	1	1	
LED 2	0	1	1	0	
LED 3	1	1	0	1	

		Decoded data			
LED 1	1	0	1	1	
LED 2	0	1	1	1	
LED 3	1	0	1	0	
		(A)	(B)	(C)	

If (LED 1 XOR LED 2 XOR LED 3 = 0) correct
 If (LED 1 XOR LED 2 XOR LED 3 = 1) error

Fig. 4. Error detection model

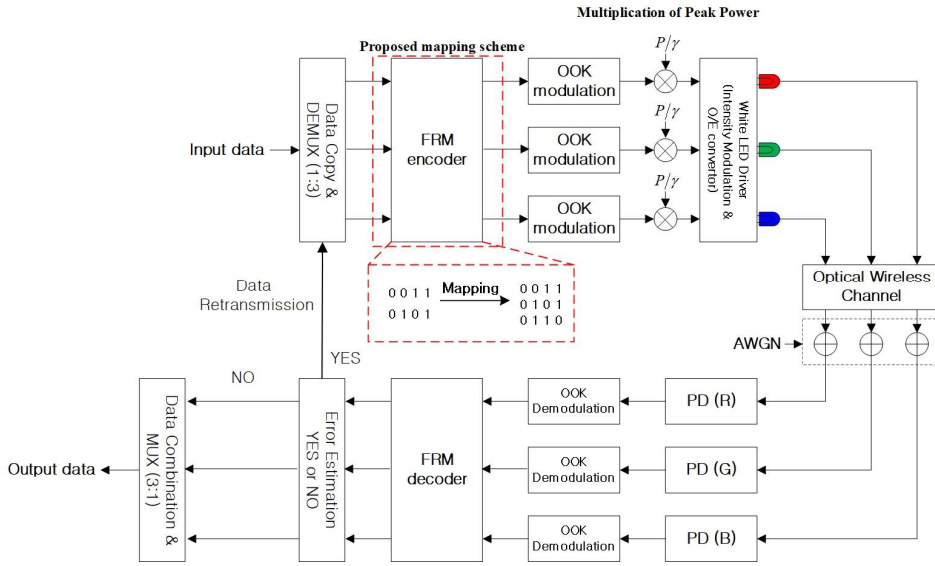


Fig. 5. Proposed system transmitter and receiver

또한, 맵핑 특성을 이용한 Error 검출에 용이하다. Fig. 4에 Error 검출 모델을 나타내었다. 모든 구간에서 [0 0 0], [1 0 1], [0 1 1], [1 1 0], [1 0 1]의 상태만 가지기 때문에, 수신데이터를 모두 XOR 했을 때의 결과 값이 '0'이면, Error가 검출 되지않고, XOR의 결과 값이 '1'이면, 1개 혹은 3개의 bit에 Error가 발생했음을 알 수 있다. 다만, 짝수개의 bit에 Error가 발생할 경우 검출이 불가능 하여 성능이 열화된다.

Fig. 5에 전체 시스템 송수신기를 나타내었다. 직렬 입력 데이터는 데이터 복사와 역다중화를 통하여 FRM encoder로 들어가 매핑되고, 매핑된 신호는 OOK변조 후 무선 광채 널을 통하여 송신된다. 포토다이오드를 통하여 수신된 신호는 OOK 복조후 FRM decoder를 통하여 에러가 발생하면 송신 단계에 에러 발생 여부를 알리고 데이터를 재송신하고, 수신된 신호에 에러가 없을 경우 데이터를 검출한다. 이러한 제안 시스템을 통해 시스템의 복잡도를 크게 증가시키지 않고 간단한 코딩 기법을 적용하여 조명 성능을 유지하고 Error 검출을 통한 전체 시스템의 성능 향상이 가능하다.

4. 시뮬레이션 파라미터 및 결과

제안 시스템의 Dimming level 및 BER 성능을 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. Table 1은 실험에서 사용된 변수들이다.

Table 1. Simulation parameter

Parameters	Values
Optical modulation	IM-DD
Pulse modulation	OOK-RZ
Data rate	100 Mbps
Optical channel model	LOS and NLOS channels
Noise model	AWGN
Background light noise	0 dBm
O/E convert efficiency	0.53[A/W]

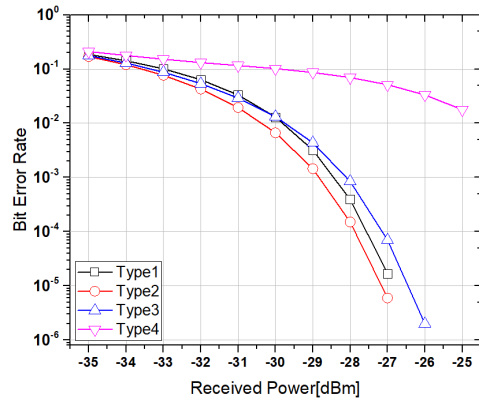


Fig. 6. BER performance by LED type

광원에 관한 변조 기법은 IM-DD 기법을 사용하고 펄스 변조는 OOK-RZ를 사용하였다. 잡음 모델은 실내에서 LED를 통한 가시광 통신 시스템을 사용하기 때문에 AWGN으로 모델링 한다.

Fig. 6은 제안 시스템에 사용된 LED의 Mixing Type 별 BER 성능을 나타낸다. 송신기에 사용되는 LED에는 여러 가지 RGB Mixing 값이 있다. 각 채널의 성능은 RGB 혼합 값에 따라 달라진다. 본 논문에서는 그림에 보이는 바와 같이 4 가지 유형의 일반적인 LED Mixing type를 사용하였다.

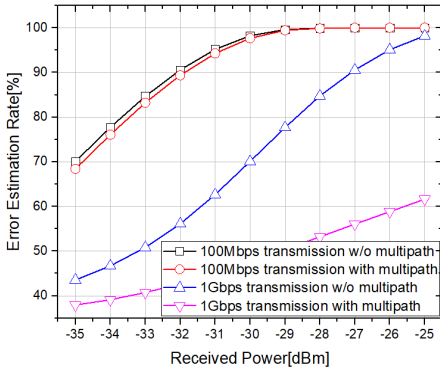


Fig. 7. Error estimation rate at transmission rate 100Mbps, 1Gbps

Fig 7에 제안 시스템을 적용한 Error 추정률 성능을 나타내었다. 전송률이 100Mbps, 1Gbps에서 Multipath, Non-Multipath일 때, 100Mbps에서는 Multipath에 관계없이 높은 Error 추정률을 보이는 반면 1Gbps에서는 Symbol duration이 짧아지기 때문에 Multipath에 영향을 많이 받기 때문에 Multipath 환경에서는 Error 추정률이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

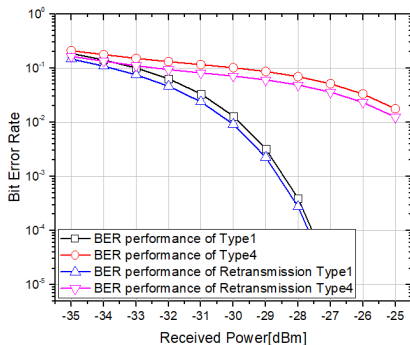


Fig. 8. Performance evaluation of the Error estimation -Retransmission in proposed system

Fig 8에 제안 시스템을 적용한 Error estimation -Retransmission에 따른 시스템의 BER 성능을 나타

내었다. 그림에 보이듯이, 제안 시스템을 적용하여 Error rate를 최소화 하였기 때문에 LED Type에 따른 시스템의 BER성능과 거의 동일한 수준의 성능을 유지함을 보인다.

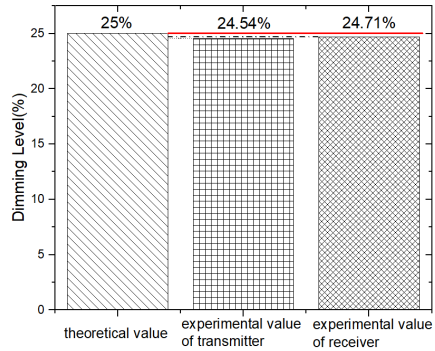


Fig. 9. Dimming level performance according to the proposed system

Fig. 9는 제안 시스템에 따른 Dimming level 성능을 나타낸다. RZ-OOK sequence에서 Dimming level은 0 ~ 50% 까지 변화한다. 최대 Dimming level 50%를 가지며, 이때 OOK와 동일한 밝기를 가진다. 본 논문에서는 duty cycle 50%일 때 1이 나올 확률 확률 1/2로 평균 Dimming level은 25%로 가정하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 제안시스템을 적용한 경우, Dimming level이 유지되는 것을 확인 하였다. 송신-수신 단에서 Dimming level이 약 0.3-0.5 정도 감소 하였는데, 이는 전송환경에 따른 Error 발생으로 인해 1이 0으로 변경 될 경우 LED ON status가 감소하여 발생하나, 실제로 플리커 현상에 영향을 줄 만큼 유의미한 감소는 아니기 때문에 무시 할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 가시광 통신 다수의 LED를 사용하는 고속 전송환경에서 통신의 전송 효율과 조명시스템을 동시에 고려하고, 전송 에러 검출률을 높이기 위한 기법을 제안하였다. 다수의 LED를 사용하는 Muti-LED 환경일 경우 변조 기법에 따른 플리커 현상 및 Dimming level의 변화가 발생하게 되고 이로인해 조명의 성능 저하가 발생한다. 본 논문에서 적용한 Flicker reduction mapping 기법은 XOR 연산을 적용하여 시스템 복잡도에 큰 영향을 주지않고 비교적

간단하게 Dimming level을 유지하고 플리커 현상을 완화 시킬 수 있다. 또한 전송되는 데이터 시퀀스의 1 전송 개수를 미리 알기 때문에, Error 정정 부호를 사용하는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 시뮬레이션을 통해 보인 것처럼 제안 시스템을 적용하였을 경우 높은 수준의 Dimming level을 유지하면서 동시에 Error 추정률에 따른 BER 성능 향상 또한 만족하는 결과를 보였다. 그러나 2개 비트 이상에서 다중 Error가 발생하였을 때는 검출이 어렵고, 이러한 다중 Error가 연속적으로 발생시 Dimming level에 영향을 줄 수 있기 때문에 이러한 연속 Burst-Error 구간에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] 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)*, (pp.1-5)
DOI : 10.1109/ICSIMA.2017.8312014
- [3] I. H. Park, Y. H. Kim, J. Cha, K. 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)
DOI : 10.1109/ICTC.2010.5674812
- [4] A. Wilkins, J. Veitch & B. Lehman. (2010). LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE Standard PAR1789 Update, in *Proc. IEEE Energy Conv. Congress Expo.*, (pp.171-178)
DOI : 10.1109/ECCE.2010.5618050
- [5] S.-H. Lee. (2018). Flicker Prevention in Visible Light Communication Using Three-Level Byte-Inversion Transmission, *Journal of IKEEE*, *22(2)*, 316-323.
DOI : 10.7471/ikeee.2018.22.2.316
- [6] K. Kim & K. 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
- [7] 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)*, 7907013
DOI : 10.1109/JPHOT.2018.2866706
- [8] K. 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
- [9] K.-J. Lee, H.-D. Seo, D.-H. Han & K. 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.
DOI : 10.12815/kits.2013.12.1.066
- [10] E. Ip & J. M. Kahn. (2006). Power spectra of return-to-zero optical signals *Journal of Light wave technology*, *24(3)*, 1640-1618
DOI : 10.1109/JLT.2005.863328
- [11] D. G. Kim. (2014). *Current status and direction of 5G mobile communication R&D Information and Communication*, 23-28.
- [12] D. Han, K. 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

이 규 진(Kyu-Jin Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)
- 2007년 2월 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)
- 2011년 2월: 경희대학교 전자전파공학과 공학박사 (전자-전파공학전공)
- 2013년 2월: 경희대학교 전자전파공학과 학술연구교수
- 2013년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수
- 관심분야 : VLC, Deep Learning, Massive-MIMO
- E-Mail : kyujin@semyung.ac.kr