

가변적인 RGB Interleaving을 활용한 LED 기반의 가시광 통신에서 효율적인 데이터 전송 기법

서효덕¹, 이규진^{2*}

¹경희대학교 전자전파공학과, ²세명대학교 전자공학과

Efficient Data Transmission in LED-based Visible Light Communication Using Variable RGB Interleaving scheme

Hyo-duck Seo¹, Kyu-jin Lee^{2*}

¹Department of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University

²Department of Electronic Engineering, Semyung University

요약 본 논문에서는 LED 기반의 가시광 통신 시스템에서 효율적인 데이터 전송을 하기 위해 가변적인 RGB 인터리빙 기법을 제안하였다. 빛을 데이터 전송의 자원으로 활용하는 가시광 통신 시스템은 빛의 성질과 빛의 3원색의 영향을 받게 된다. 그러나 빛의 반사, 회절 그리고 중첩과 같은 빛의 성질은 전송하고자 하는 데이터의 간섭을 발생시켜 데이터의 Burst error를 발생시키게 된다. 이러한 문제점은 가시광 통신 시스템의 BER 성능을 열화시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 본 논문은 가변적인 RGB 인터리빙 기법을 활용하고자 한다. 가변적인 RGB 인터리빙을 통하여, 데이터의 Burst error를 줄일 수 있으며, 가시광 통신 시스템의 채널 간 간섭을 줄일 수 있다. 또한, 데이터의 중요도나 사용자의 요구사항에 따라 달라지는 QoS를 만족하기 위해 제안 시스템을 적용하면 사용자가 요구하는 QoS를 제공할 수 있으며 효율적인 데이터 전송을 할 수 있게 한다.

키워드 : 발광다이오드, 가시광 통신, 가변적인 RGB 인터리빙, 채널 간 간섭, 연접오류, 데이터 전송

Abstract In this paper, we propose a variable RGB interleaving technique for efficient data transmission in LED based visible light communication system. Visible light communication systems that utilize light as a resource for data transmission are affected by the nature of light and the three primary colors of light. However, the nature of light, such as light reflection, diffraction, and superposition, causes interference of the data to be transmitted, causing burst errors in the data. Such a problem causes the BER performance of the visible light communication system to degrade. To solve these problems, this paper attempts to utilize the variable RGB interleaving technique. Through variable RGB interleaving, data burst errors can be reduced and inter channel interference in a visible light communication system can be reduced. In addition, if the proposed system is applied to meet the QoS that depends on the importance of data or the requirements of the user, it can provide QoS requested by the user and enable efficient data transmission.

Key Words : Light Emitting Diode, Visible Light Communication, Variable RGB interleaving, Inter channel interference, Burst Error, Data transmitting

1. 서론

스마트 디바이스의 등장은 기존 3차 산업에 대한 패러다임의 변화를 가져오게 하였다. 스마트 디바이스를 활용한 스마트 홈 네트워크, 스마트 팩토리 등과 같이 기존 산업의 패러다임을 융합하는 IoT와 ICT 등과 같은 융합 기술의 급속한 발전을 이루고 있다. 이러한 변화를 4차 산업 혁명이라고 정의하고 있다 [1]. 또한, 4차 산업의 등장과 발전은 무선 통신 시스템에서도 영향을 주고 있다. 주파수 대역을 활용한 기존의 무선 통신 시스템에서 LED 실내조명을 활용한 가시광 통신 시스템이 주목받고 있으며 활발히 연구되고 있다[2]. 기존의 주파수를 활용한 무선 통신 시스템은 한정된 주파수 자원과 특정 지역에서 사용이 제한되는 단점을 가지고 있다. 예를 들면, 스마트 디바이스를 활용한 고화질 대용량의 멀티미디어 데이터를 송수신을 하거나 사용자가 급증하는 인구 밀집 지역 같은 곳에서는 한정된 주파수 자원으로 인해 트래픽이 증가하는 현상으로 기존의 주파수를 활용한 무선 통신 시스템의 성능이 저하하는 현상이 발생한다. 그리고 비행기의 이착륙 시 운항기기의 오작동을 방지하기 위해 사용을 제한하고 있으며, 주파수가 민감한 MRI 촬영하는 병원 등과 같은 곳도 기존의 주파수를 활용한 통신 시스템의 사용이 제한되고 있다[2]. 이러한 단점을 보완하고 실내 어디에서든 사용이 가능한 LED 기반의 가시광 통신 시스템이 차세대 무선 통신 시스템으로 주목 받고 있다. LED 기반의 가시광 통신 시스템은 LED에서 발광하는 가시광을 기반으로 데이터를 전송하는 시스템이다 [3~5]. 가시광 통신 시스템은 빛의 파장을 활용하기 때문에 기존의 무선 통신 시스템의 제한적인 주파수 자원과 달리 가시광 통신 시스템에서 가용할 수 있는 주파수 대역이 1만배 이상 넓어 기존의 무선 통신 시스템 보다 주파수 자원을 무한정 사용할 수 있다. 또한, 최근에 급증하는 고화질 대용량 멀티미디어 데이터나 트래픽이 급증하는 사용자 급증 지역에서 성능 저하 없이 사용자에게 만족하는 성능을 제공할 수 있다[3]. 그리고 빛을 기반으로 데이터를 송수신하기 때문에 기존의 전자파 보다 빠른 빛의 속도 ($3 \times 10^8 \text{m/s}$)를 활용하기 때문에 초고속 무선 통신 시스템이 구현 가능하다.

Fig. 1은 가시광 통신 시스템의 송수신을 나타낸 것이다. 기존의 주파수를 활용한 무선 통신 시스템과 달리 전송하고자 하는 데이터를 IM/DD 1차적인 변복조를 통해

빛으로 데이터를 변조하고 빛을 데이터로 복조하는 부분이 추가되었다. 그리고 전자파를 송출하는 안테나가 아닌 실내조명으로도 활용되는 LED가 안테나 역할을 하게 된다[4~5].

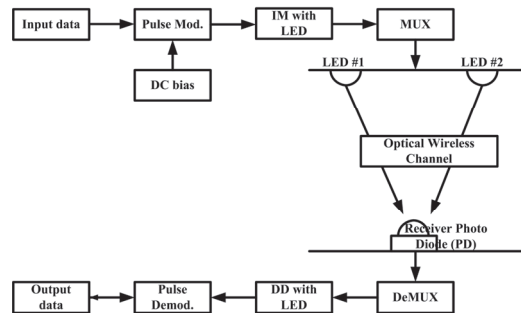


Fig. 1. Structure of LED-based Visible Light Communication System

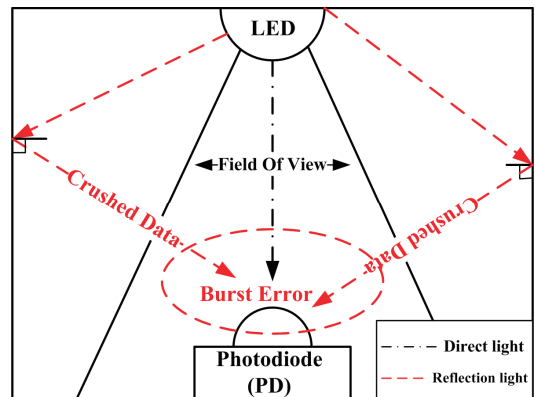


Fig. 2. LED-based Visible Light Communication with characteristic of Light

Fig. 2는 LED 기반의 가시광 통신 시스템과 빛의 성질에 대한 구성도이다. LED 실내조명은 FOV (Field Of View)라는 빛의 영역을 가지게 된다[6]. 이것은 조명 기능으로는 LED 조명이 비출 수 있는 구역으로 정의되며, 가시광 통신 시스템에서는 통신이 가능한 영역으로 정의할 수 있다. FOV는 가시광 통신 시스템의 보안성을 높여 주지만, FOV 영역 내에서 발생하는 빛의 성질(반사, 회절, 산란, 중첩)을 고려해야 한다. 이러한 빛의 성질들은 FOV 영역 내의 환경에 따라서 가시광 통신 시스템 성능에 영향을 줄 수 있다[7].

첫째, LED 실내조명의 FOV 영역에서 송수신기의 최단 직선거리를 LOS (Line Of Sight) 로 정의 하며, Fig.

2에서는 Direct light가 된다. 하지만 빛의 반사는 FOV 영역 내의 조형물이나 실내 환경 구조에 따라서 Reflection light로 NLOS (Non-Light Of Sight)를 형성하게 된다[8]. 이러한 NLOS는 LOS의 Direct light와 서로 다른 시간에 송신기에서 수신기로 도달하기 때문에 경로 간 간섭이 발생하여 가시광 통신 시스템의 성능을 저하 시킨다.

둘째, 가시광 통신 시스템의 LOS인 Direct light 성분들이 실내 채널 환경과 장애물의 틈을 통과 하면서 빛의 직선 성분이 파동과 같이 휘어지는 회절현상으로 인해서 LOS의 Direct light 성분 간에 간섭이 발생하게 된다. Fig. 3은 빛의 회절과 간섭현상에 대해서 나타낸 것이다. 이처럼 빛이 실내 채널 환경과 장애물 틈 사이를 지나면서 휘어지는 성질이 발생하여 LOS의 Direct light 간 간섭을 일으키게 된다. 이러한 간섭은 가시광 통신 시스템의 성능을 저하시키게 된다.

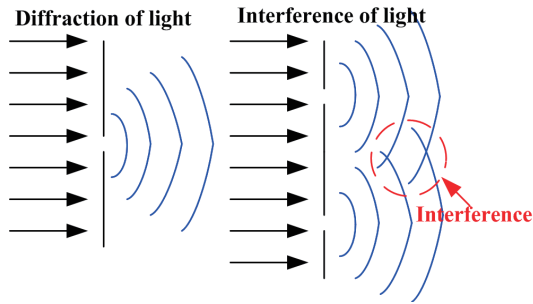


Fig. 3. Diffraction and interference of light

셋째, LED 조명은 빛을 발산하면서 LOS나 NLOS에서의 경로에서는 나타나지는 않지만, LED 조명 송신기 근처에서 공기 중의 질소, 산소, 먼지 등과 같은 작은 입자들과 부딪치면서 빛이 사방으로 재방출 되는 현상이 나타난다. 이러한 현상을 빛의 산란이라고 한다. 빛의 산란으로 인해서 서로 다른 빛의 성분으로 보이게 된다. 예를 들면, 맑게 갠 날 하늘이 푸르게 보이고, 해뜨기 전 동쪽 하늘이나 해진 후의 서쪽 하늘이 붉게 보이는 현상이다. 이러한 빛의 산란 현상으로 인해서 빛의 송신 파워가 달라진다. 가시광 통신 시스템의 실내 채널 환경에 따라서 다양한 빛의 산란 현상이 나타나게 된다. 이러한 빛의 산란으로 광원들은 서로 다른 송신 파워를 가지게 되며 송수신기 간의 도달 시간을 다르게 하며, 광원 간 간섭이 발생하게 된다. 광원 간 간섭으로 인해서 가시광 통신 시

스템의 성능은 저하 된다.

넷째, 실내에 설치된 LED 조명들은 실내 빛의 밝기를 유지하기 위해서 서로 간 FOV가 중첩된 상태로 설치가 된다. Fig. 4는 서로 다른 LED 간의 FOV 중첩 현상을 나타내게 된 것이다. FOV 중첩이 되는 지역에서는 같은 데이터를 전송하는 경우엔 FOV superposition 다이버시티 이득을 얻어 성능을 향상시킬 수 있지만 서로 다른 데이터를 전송하는 경우엔 LED 간 간섭을 일으키게 된다. 이러한 간섭은 가시광 통신 시스템의 성능을 저하한다.

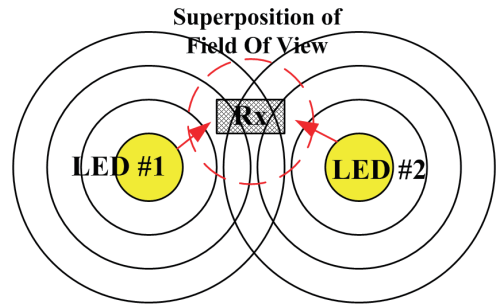


Fig. 4. Superposition of Field Of View

4가지의 대표적인 빛의 성질들로 인하여 전송되는 데이터가 다양한 간섭으로 인해서 복원하는 데이터가 손상이 될 수 있으며, 손상된 데이터로 인해 수신된 데이터는 burst error가 발생하게 된다. Burst error가 발생한 데이터들은 복원이 불가능하여 시스템의 BER 성능 열화를 일으키게 된다[9].

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문은 가변적인 RGB 인터리빙 기법을 제안하고자 한다. 빛의 성질로 인해 발생하는 Burst error를 완화하기 위해서 빛의 기반이 되는 3원색 RGB를 활용한 인터리빙 기법을 적용한다. LED를 활용한 가시광 통신 시스템에서 LED의 RGB 파장에 각각 데이터를 전송한다. 이때 RGB의 파장별로 인터리빙을 적용하여 발생하는 Burst error를 줄일 수 있다. 또한, 데이터의 중요도나 사용자가 요구하는 데이터의 종류에 따라 데이터의 크기 및 요구하는 BER 성능이 다르다. 예를 들어, SVC 비디오 신호는 계층 별로 중요도가 다르다. 그리고 사용자가 요구하는 데이터는 가장 기본적인 텍스트나 보이스 데이터부터 고품질의 멀티미디어 데이터까지 서로 다른 중요도와 서로 다른 BER 성능을 가진 데이터들이다[10].

서로 다른 중요도와 BER 성능 및 가시광 통신 채널

환경에 따라 가시광 통신의 RGB 파장을 서로 다른 인터리빙 길이와 종류를 적용하여 기존의 가시광 통신 시스템 및 주파수를 활용한 무선 통신 시스템 보다 효율적인 데이터 전송을 할 수 있도록 한다[11].

2. 가변적인 RGB 인터리빙

2.1 RGB 인터리빙

Fig. 5는 RGB 채널 간 인터리빙 기법을 적용한 것이다. 기존 RGB 채널에서는 빛의 성질로 인해 발생하는 burst error로 데이터 손상 및 가시광 통신 시스템 성능을 저하시킨다. 하지만 RGB 인터리빙 기법이 적용된 제안 시스템은 기존 시스템과 달리 RGB가 뭉쳐있지 않고 다양하게 펼쳐져 있어서 데이터가 손상되더라도 Burst error가 발생하지 않고 부분적인 Error만 발생하게 된다. RGB 인터리빙 기법을 통해서 기존 시스템에서 발생하는 Burst error를 완화하고 LED 기반의 가시광 통신 시스템에서 빛의 성질 때문에 성능이 열화되는 단점을 보완할 수 있다[12].

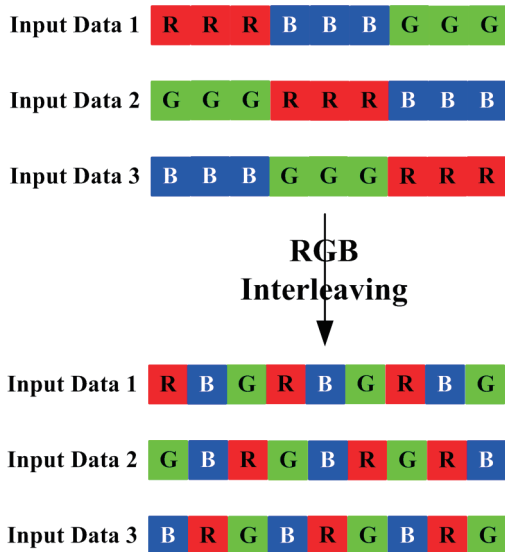


Fig. 5. RGB Interleaving method

2.2 가변적인 RGB 인터리빙

Fig. 6은 RGB 채널 간 가변적인 인터리빙 기법을 적용하였다. 제안 시스템의 RGB 인터리빙 기법에서 각각 데이터들의 종류, 중요도, 사용자의 요구하는 BER 성능

및 가시광 통신 시스템의 채널 환경에 따라 서로 다른 전송 우선순위를 갖게 된다. 우선순위에 따라 RGB 인터리빙의 길이를 다르게 하여 각각의 데이터들의 성능을 보장해주게 된다. 예를 들어, 우선순위가 가장 높은 데이터는 인터리빙 길이를 가장 길게 하고 우선순위가 가장 낮은 데이터는 인터리빙 길이를 가장 짧게 하여 서로 다르게 데이터들을 보호하며 데이터 전송의 효율성을 높게 된다. 이와 반대로, 반대로 우선순위가 가장 높은 데이터의 인터리빙 길이를 가장 짧게, 우선순위가 가장 낮은 데이터의 인터리빙 길이를 가장 길게 하여 균등하게 성능을 가질 수 있도록 한다. 가변적인 RGB 인터리빙 기법은 데이터의 종류, 중요도, 요구하는 BER 성능 및 채널 환경에 따라서 서로 다른 인터리빙 기법을 적용하여 효율적인 데이터 전송이 가능하다.

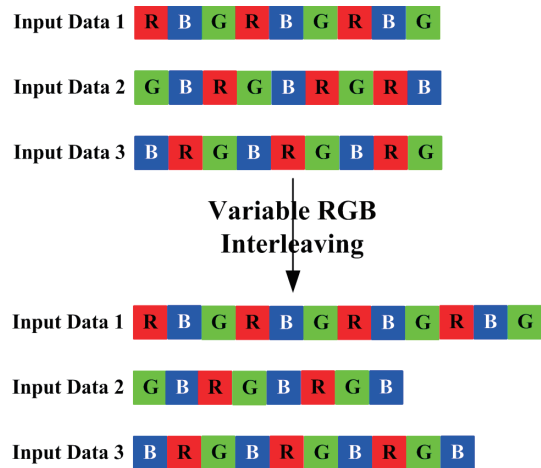


Fig. 6. Variable RGB interleaving method

3. 결과

국내 및 해외에서는 LED 조명 보급 정책을 진행 중이며, 2013년 15%에서 7년 후인 2020년엔 75% 이상 확대될 것으로 전망하고 있다[13]. 이처럼 LED 기반의 가시광 통신 시장은 연평균 87% 이상 성장을 하고 있으며, 2020년 93억 달러라는 시장규모가 형성 될 것으로 예측하고 있다[14]. 국내 및 해외에서 LED 조명 보급 정책에 따른 LED조명의 인프라 및 테스트 베드의 구축은 가시광 통신 발전에 큰 영향을 끼치게 될 것이다. 이에 따라 실내에 설치된 LED 조명들이 빛의 성질로 인하여 발생

하는 간섭으로 인해 가시광 통신 시스템 성능이 저하하는 현상이 큰 이슈로 다가 올 것이며, 이에 대한 해결책도 마련해야한다[15]. 본 논문은 가변적인 RGB 인터리빙을 제안하여, LED 조명을 활용한 가시광 통신 시스템의 간섭 문제 및 Burst error를 완화할 수 있도록 한다. 그래서 기존 가시광 통신 시스템에서 필터나 렌즈를 활용하여 간섭 및 Burst error를 완화하는 부가적인 장치 설치 없이 제안 기법을 활용한 성능향상을 기대할 수 있다.

또한, 전송하고자 하는 데이터의 종류나 중요도 및 사용자가 요구하는 QoS에 따라 서로 다른 인터리빙 길이 및 인터리빙 패턴을 적용하여 서로 다른 성능을 제공하여 사용자에게 보다 만족하는 QoS를 제공하고 데이터의 종류나 중요도에 따라서 서로 다른 효율성을 향상 시킬 수 있다. 그리고 가시광 통신 채널 환경 및 실내 구조에 따라서 가변적인 RGB 인터리빙 기법을 활용하여 효율적인 데이터 전송 및 성능을 향상 시킬 수 있어 사용자에게 만족하는 QoS를 제공할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 가변적인 RGB 인터리빙을 활용한 LED 기반의 가시광 통신 시스템에서 효율적인 데이터 전송 기법을 제안하였다. 제안 시스템은 빛의 성질로 인해 발생하는 Burst error로 인해 가시광 통신 시스템의 BER 성능이 저하되는 것을 보완함으로써 기존의 가시광 통신 시스템 보다 성능을 향상 시킬 수 있다. 또한, 가변적인 RGB 인터리빙 기법을 적용하여 데이터의 종류, 중요도, 요구하는 BER 성능 및 통신 채널 환경에 따라 서로 다른 인터리빙 기법을 적용하여 각각 데이터들의 성능도 보완하며 효율적인 전송이 가능하다. 그리고 가변적인 RGB 인터리빙 기법을 통하여 사용자 간의 향상 된 QoS를 제공할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 성과는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017017812).

REFERENCES

- [1] D. G. Kim. (2014). Current status and direction of 5G mobile communication. *R&D Information and Communication*, 23-28.
- [2] M. G. Craford. (1992). LEDs challenge the incandescents. *IEEE Circuits and Devices Magazine*, 8(5), 24-29.
DOI : 10.1109/101.158509
- [3] M. Nakagawa. (1999). Wireless home link. *IEICE Transactions on Communications*, 82(12), 1893-1896.
- [4] T. G. Kang. (2008). Visible Light Communications : Tutorials. *IEEE 802.15 VLC SG. USA : IEEE*.
- [5] T. G. Kang. (2008). A vehicle applications on Visible Light Communications. *IEEE 802.15 VLC SG. USA : IEEE*.
- [6] S. Nakamura. (1997). Present performance of InGaN based blue/green/yellow LEDs. *In Proc. of SPIE Conf on Light-Emitting Diodes : Research, Manufacturing, and Applications 3002*, 24-29.
- [7] B. C. Jeffrey & M. K. Joseph. (1997). Modeling of nondirected wireless infrared channels. *IEEE transactions on communications*, 45(10), 1260-1268.
USA : IEEE.
DOI : 10.1109/26.634690
- [8] Y. Tanaka, S. Haruyama & M. Nakagawa. (2000). Wireless optical transmissions with white colored LED for wireless home links. *In Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2000. PIMRC 2000. The 11th IEEE International Symposium*, 2, 1325-1329. USA : IEEE.
DOI : 10.1109/pimrc.2000.881634
- [9] G. P. John & M. Salehi. (2008). *Digital Communications. 5th edition McGraw-Hill*. USA : McGraw-Hill College.
- [10] H. D. Seo & K. J. Lee. (2015). Effective scalable video streaming transmission with TBS algorithm in an MC-CDMA system. *Information Systems*, 48, 313-319.
DOI : 10.2016/j.is.2014.05.010
- [11] Li Ping, Lihai Liu, Keying Wu & W. K. Leung (2006). Interleave-Division Multiple-Access. *IEEE Transaction on wireless Communications*. 5(4), 938-947.
DOI : 10.1109/TWC.2006.1618943
- [12] J. H. Lee, H. D. Seo, D. H. Han, K. J. Lee & K. S. Lee. (2015). To improve the performance of BER using the 2-step interleaver for Visible Light Communication with LEDs. *Journal of Satellite, Information and Communications*, 10(2), 46-53.

- [13] D. G. Oh. (2011.) Trends and Prospects of LED Visible Light Communication (VLC) Technology. *KEIT PD Issue*, 11(7), 49-67.
- [14] T. G. Kang, T. W. Kim, M. A. Chung & S. W. Sohn. (2008). The Convergence of LED illumination and Visible Light Communications. *Electronic Telecommunications Trend Analysis*, 23(5), 32-39.
- [15] D. K. Karunatilaka, F. Zafar, V. Kalavally & R. Parthiban. (2015). LED Based Indoor Visible Light Communications : State of the Art. *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, 17(3), 1649-1678
DOI : 10.1109/comst.2015.2417576

저 자 소 개

서 효 덕(Hyo-duck Seo)

[정회원]



- 2011년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학사
- 2013년 2월 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사
- 2013년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 전자·전파공학과 박사수료

<관심분야> : 가시광 통신, 차세대 무선통신, SVC 신호할당, 고속전송 기술

이 규 진(Kyu-jin Lee)

[종신회원]



- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학사
- 2007년 2월 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사
- 2011년 2월 : 경희대학교 전자·전파공학과 공학박사

- 2013년 2월 : 경희대학교 전자·전파공학과 학술연구교수
 - 2013년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수
- <관심분야> : 가시광 통신, 차세대 무선통신, 자원할당 기법, 간섭제거 기술