

LED 기반 가시광 통신 단말기 구현

황유민*, 김윤현*, 김진영* 정회원

Implementation of Visible Light Communication Based on LED

Yu Min Hwang*, Yoon Hyun Kim*, Jin Young Kim* RegularMembers

요약

LED 기반 가시광 통신 시스템은 RF통신과 달리 인체에 무해하며, 주파수 허가를 받을 필요가 없고, 주파수 간섭이 없으며, 넓은 가시광 대역을 사용할 수 있는 시스템이다. 또한 물리적 보안 기능을 제공하며, 고속 멀티미디어 데이터 전송이 가능한 장점을 지니고 있어 본 논문에서 가시광 통신 단말기를 구현하기 위한 적합한 변조기법을 제시하였고 구현하였다.

Key Words : Visible light communication, LED, Photo diode, Ubiquitous, Arduino

ABSTRACT

Visible light communication is a novel way of green communication. In this paper, we present the novel idea of wireless communication services such as indoor navigation systems, where users can tell where they are by detecting a signal from LED lights.

I. 서론

가시광 통신은 인간이 가시적으로 확인할 수 있는 주파수 대역 400THz(780nm)~800THz(375nm)을 사용하는 무선통신 기술이다. 통신의 매개로서 가시광을 이용하는 개념은 1880년에 Alexander Graham Bell이 최초로 발상한 것이다. 그 후로 무선통신 시스템 포럼이 있는 아시아와 유럽에서 가시광 통신에 대한 관심이 급속도로 높아졌다. 또한 현재 가시광 통신에 대한 표준화가 IEEE에서 진행되고 있고 최근 LED분야가 활발하게 연구되고 있기 때문에 LED 발광 효율이 증가하고 비용은 감소되어 언제 어디서나 LED를 발견할 수 있고 사용할 수 있다. 그중에서 백색광 LED는 LED 조명 시장의 성장에 따라 가장 대중적이고 효율적인 광원으로 쓰이고 있다. 또 가시광 LED는 LCD를 비롯한 여러 가지 기기에 배면광으로 응용된다. 가시광 통신을 RF통신과 비교하였을 때 가장 큰 장점은 LED를 이용하는 가시광 통신은 인간에게 무해하고 정부의 특별한 규제 없이 가시광 주파수 대역을 사용할 수 있다는 점이다. 또한 가시광통신은 규제가 없기 때문에 새로운 상품을 도입하기도 쉽다. 그리고 LED 기반 가시광 통신용 단말기는 RFID와 달리 넓은 가시광 대역을 사용할 수 있고, 통신 여부를 눈으로 확인할 수 있어서 물

리적 보안 기능을 제공하며, 고속 멀티미디어 데이터 전송이 가능한 장점을 지닌다[1]. 현재 가전기기, 이동통신기기, 조명분야, 광고 분야, 의료 분야, 환경 분야, 농수산 분야 등에 급속하게 적용되고 있는 가시광선 LED 기반 시설물들에 LED 기반 가시광 통신용 단말기를 적용할 수 있으며, 새로운 응용 분야로서 보안 Point-to-Point 통신, 보안 Point-to-multipoint 통신, 실내 LBS(Location Based Service), Information Broadcast 등에 적용할 수 있는 장점도 지니고 있다.

가시광 통신에 조명용 LED를 이용 시 국소지역에 국한된

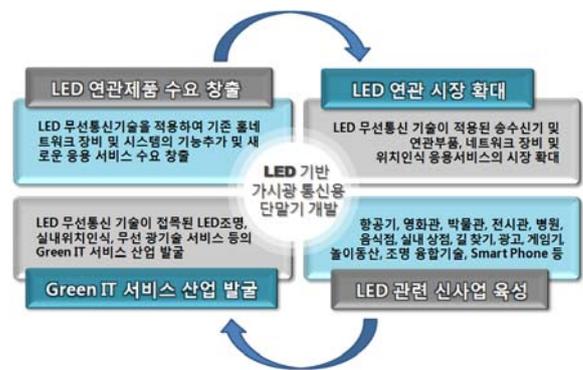


그림 1. 가시광 통신용 단말기 개발의 기대효과

※ 본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연공동기술개발사업(No. 0046504)의 연구수행으로 인한 결과물임.

*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스시스템연구실 (yumin@kw.ac.kr, ultrayh1873@kw.ac.kr),

접수일자: 2012년 4월 23일, 수정완료일자: 2012년 5월 22일, 최종 게재확정일자: 2012년 6월 25일

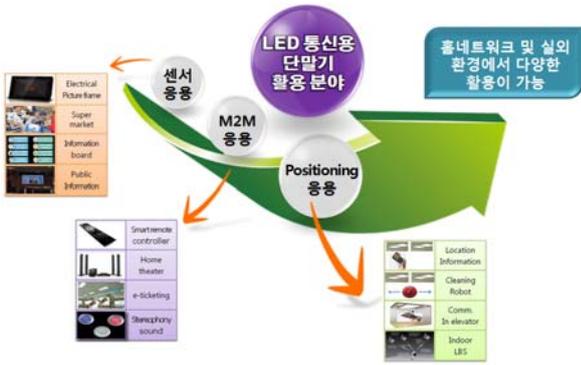


그림 2. LED 기반 가시광 통신용 단말기의 활용분야

서비스가 가능한 보안성이 뛰어난 기술이며, 전력선 기술 또는 기존 실내 네트워크 기술과의 연동이 용이하여 융합서비스 범위의 확장이 용이하다. 가시광 통신 단말기는 조명산업과의 연계를 통해 통신뿐만 아니라 기존의 조명, 디스플레이, 휴대용기기, 복지, 정보서비스 등에 새로운 가치 창출 및 파급효과가 큰 차세대 실내 네트워크 기술이며, 이에 대한 국내/국제 표준화가 시급히 요구되는 전략 제품이다. 또한 LED 기반 가시광 통신용 단말기 기술의 예상 효과로서 시장성의 측면으로 LED 기반 그린 홈 인프라를 활용한 다양한 응용 개발로 신규시장 창출, 고속 통신, 콘텐츠 전달, 실내 유비쿼터스 시장 창출, Home용 Security& Healthcare& Automation 시장 등 창출을 기대할 수 있고 기술성의 측면으로 가시광 통신용 단말기 기술 분야 국내 기술 축적 및 보급, 낮은 복잡도를 갖는 Tx/Rx tracking 알고리즘 도출, 마지막으로 국책성의 측면으로 LED 기반 송·수신기 구현에 대한 자료 제공, LED 기반 그린 홈 컨버전스 네트워크 시스템 구현 방향 제시, 관련 기술 기업, 연구소의 참고자료로 활용 및 차후 관련 기술 개발의 방향 제시를 기대할 수 있다[2]. 그러나 국내외적으로 아직 활발하게 연구가 이루어지고 있지 않으므로, 현 시점에서 본 기술을 적극 개발하는 것은 향후 관련 분야 기술 선점 및 경제적 부가가치 창출 효과가 클 것으로 기대된다.

II. 관련 연구

2.1 Line Coding 기법

2.1.1 NRZ-OOK

NRZ란 1 또는 0을 나타내는 하나의 펄스파형 시간간격을 하나의 주기와 같게한 부호화 방식(선로부호)을 말한다. OOK는 반송파를 1(On)과 0(Off)하여 정보를 전송하는 Binary ASK 변조 방식을 말한다. NRZ-OOK는 통상 수신측에서 신호의 전이가 일어나는 순간에 동기를 취하게 되므로 수신 동기에 유리하다. 또한 전송 대역폭이 RZ(Return to

Zero) 방식의 1/2만 소요된다.

2.1.2 8B10B

8B/10B 코드는 각각 8 비트 정보 단위를 10 비트의 코드로 변환하는 블록 코딩방식으로 비트 동기화 등에 많이 사용되는 부호화(선로부호) 방식이다. 4B5B보다 오류탐지에 있어서 우수하고 연속되는 0,1의 signal element를 방지한다.

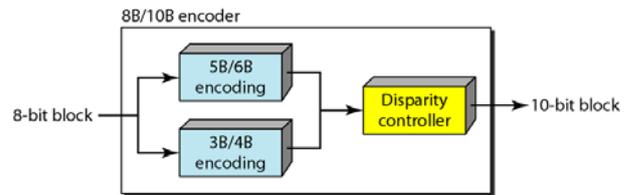


그림 3. 블록 코딩 방식 8B10B의 블록도

2.1.3 PPM – Pulse Position Modulation(펄스 위치 변조)

아날로그 신호를 전화국의 T1 회로에 널리 사용하는 디지털 형식으로 변환하는 기술이다. 고속 도시 간 트렁크를 통한 전송을 위해 모뎀을 통한 데이터 전송뿐만 아니라 수백만 전화 대화가 PCM을 통해 디지털로 변환된다. 북미와 일본에서는 PCM이 아날로그 파형을 초당 8,000번 표본 추출하고 각 샘플을 8비트 숫자로 변환하여 64Kbps 데이터 스트림(단일 DS0 채널)을 만들어낸다. 표본 추출 속도는 유료 품질 대화에 필요한 4kHz 대역폭의 두 배이다[3].

2.1.4 Reed-solomon code

Reed-Solomon Code는 block에 기반하여 에러를 보정하는 기법으로 현재 디지털 통신과 storage 분야 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다. 일반적으로 Tape, Compact Disk, DVD, 바코드 등 저장장치에 사용되며 그 외에 무선통신, 위성통신, 디지털 TV, 초고속 모뎀 ADSL과 같은 분야에서 Reed-Solomon Code가 많이 사용된다. Reed-Solomon code의 기본적인 개념도는 그림 2와 같다. Reed-Solomon encoder는 디지털 데이터를 block 단위로 받아들여 별도의 “중복” 비트를 추가한다. 데이터를 전송하거나 저장하는 과정에서 에러는 늘 발생할 수 있다. 예를 들면 전송 중의 노이즈의 발생이라 던지 CD에 생기는 스크래치 등으로 에러가 발생할 수 있다. 이렇게 에러가 추가된 데이터를 Reed-Solomon decoder는 각 block에 대해 에러를 보정하여 원래의 데이터를 복원시키게 된다. Reed-Solomon code는 처음에 데이터 심벌을 이용해 polynomial을 생성하고 원본 데이터에 polynomial로부터 샘플링 된 코드를 추가하여 전송하게 된다. 이렇게 추가된 중복된 정보를 통해 원래의 polynomial을 재구성하고 에러를 제거하여 원본 데이터를 복구하게 된다[4].

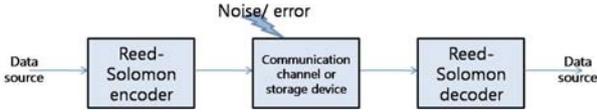


그림 4. Reed-Solomon code의 기본적 개념도

2.2 LED 조명 융합 가시광 무선통신 요구사항

인간의 눈이 물체에서 반사된 빛을 통해 사물을 인지할 수 있도록 빛을 방사한다는 의미에서 LED 조명의 범위는 매우 포괄적일 수 있지만, 본 연구에서 의미하는 LED 조명은 우선 일상적인 실내 생활에 필요한 조도를 확보하기 위해 켜게 되는 실내조명으로 한정하기로 한다.

실내 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신 환경의 구성을 나타내면 그림 3과 같다. 일반적으로 LED 광원을 이용한 조명 기기들은 LED 조명의 밝기 조절과 다양한 색상 구현에 필요한 제어 신호 및 필요 전원을 안정적으로 공급받기 위해 LED 드라이버라고 하는 구동 회로를 갖고 있으며, 가시광 무선통신을 위한 통신 신호가 LED 조명에 인가되면 세기 변조된 빛이 LED 조명으로부터 방사된다. 결국 LED 조명을 이용하여 가시광 무선통신 환경을 구성할 때 조명 기능을 위해 설치되는 LED 조명은 그림 3에서와 같이 가시광 무선통신용 송신기로서의 기능도 함께 수행하는데, 이 때 송신기로서의 기능 수행도 중요하겠지만 더욱 중요한 것은 조명으로서의 기본 기능과 LED 조명의 장점을 훼손하지 않아야 한다는 점이다.

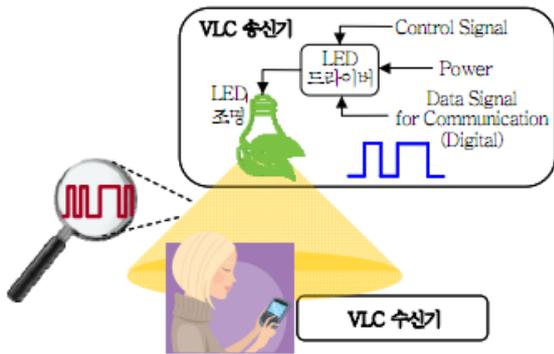


그림 5. 실내 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신 환경의 구성

가시광 무선통신 기능 부과에 따라 LED 조명 특성과 LED 조명의 장점들이 훼손되는 것을 방지하기 위한 요구사항들은 <표 1>와 같다. 먼저 <표 1>에서 플리커(깜박거림)란 인간의 눈이 감지할 수 있는 광원의 밝기 변화를 말하는데, 가시광 무선통신이 결합되어 세기 변조된 빛을 방사하는 LED 조명에서는 이러한 플리커 현상이 나타날 수 있다. 그러나 플리커 현상은 인체의 눈에 직접적으로 해를 올 뿐만 아니라 정신적 손상도 일으킬 수 있으므로 플리커 방지는 반드시 충족되어야 하는 조명의 기본 기능이다.

표 1. LED 조명을 이용한 가시광 무선통신 요구사항

플리커(깜박거림) 방지
조명의 밝기 조절
조명의 최대 밝기 제공
LED 광원의 보호
조명의 색 변이 방지

2.2.1 Manchester-OOK

변조기법 Manchester-OOK은 OOK 변조 방법에서 신호의 진폭을 변화시킴으로써 광원의 밝기를 조절하는 방법으로서, 송신부에 적용되었을 경우 LED 조명에서 출력되는 광 파형과 이에 대응하는 평균 광 출력을 DC 신호를 인가한 것과 동일한 효과를 얻는 것으로 하여 플리커 방지를 한다. 변조 방식은 그림 5에서와 같이 비트 1에 해당하는 출력을 On에서 Off로하고 비트 2에 해당하는 출력 파형을 Off에서 On으로 함으로써 두 개의 비트 모두 전력을 공급한다[5]. 또한 그림 6은 그림 5의 신호에 DC전압을 인가한 것으로 더 효율적인 플리커 방지를 도모하고 있다.

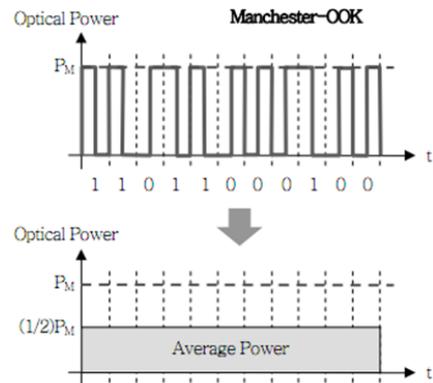


그림 6. Manchester-OOK

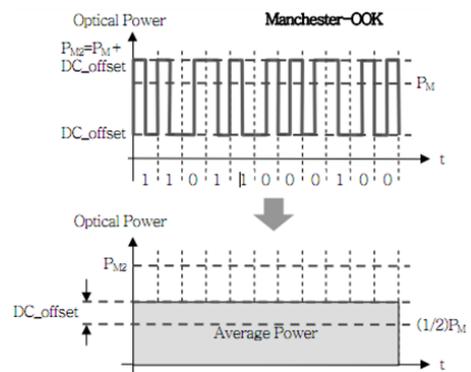


그림 7. DC전압을 인가한 Manchester-OOK

Ⅲ. 시스템 개발 환경

3.1 Arduino

아두이노(Arduino)는 오픈소스를 기반으로 한 피지컬 컴퓨팅 플랫폼으로, AVR을 기반으로 한 보드와 소프트웨어 개발을 위한 통합 환경(IDE)를 제공한다. 아두이노는 많은 스위치나 센서로부터 값을 받아들이며, LED나 모터와 같은 것들을 통제함으로써 환경과 상호작용이 가능한 물건을 만들어낼 수 있다. 또한 플래시, 프로세싱 Max/MSP와 같은 소프트웨어를 연동할 수 있다. 아두이노의 가장 큰 장점은 마이크로컨트롤러를 쉽게 동작시킬 수 있다는 것이다. 일반적으로 AVR 프로그래밍이 WinAVR로 컴파일하여, ISP장치를 통해 업로드를 해야하는 등 번거로운 과정을 거쳐야하는데 비해, 아두이노는 USB를 통해 컴파일 및 업로드를 쉽게 할 수 있다. 또한 아두이노는 다른 모듈에 비해 비교적 저렴하고, 윈도를 비롯해 맥 OS X, 리눅스와 같은 여러 OS를 모두 지원한다.



그림 8. Embedded board Arduino

3.2 Photo diode

포토다이오드는 빛에너지를 전기에너지로 변환하는 광센서의 한 종류이다. 이것은 반도체의 PN 접합부에 광검출 기능을 추가한 것으로 그 회로기호는 다음과 같다.

빛이 다이오드에 닿으면 전자와 양의 전하 정공이 생겨서 전류가 흐르며, 전압의 크기는 빛의 강도에 거의 비례한다. 이처럼 광전 효과의 결과 반도체의 접합부에 전압이 나타나는 현상을 광기전력 효과라고 한다. 포토다이오드는 응답속도가 빠르고, 감도 파장이 넓으며, 광전류의 직진성이 양호하다는 특징이 있다. 주로 CD 플레이어나 화재경보기, 텔레비전의 리모컨 수신부와 같은 전자제품 소자에 사용되며, 빛의 세기를 정확하게 측정하기 위하여 활용되기도 한다. 포토다이오드는 발광다이오드(LED: light emitting diode)와 유사하게 생겼으나 반대의 기능을 한다. 포토다이오드는 빛에너지를 전기에너지로 전환하지만, 발광다이오드는 전기에너지를 빛에너지를 전환한다. 회로기호 역시 유사한 모양이지만, 포토다이오드는 화살표가 안으로 들어오는 모양이고, 발광다이오드는 화살표가 밖으로 나가는 모양을 한다.

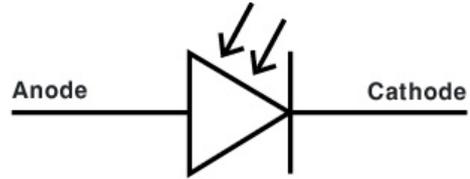


그림 9. Photo diode의 회로 기호

Ⅳ. 모의실험

가시광 통신 단말기를 구현하기 앞서 변조기법 ASK, OOK, FSK, BPSK에 대하여 구현에 가장 적용 가능한 찾기 위해 변조기법의 성능을 모의실험 하였다. 3m 거리에서 10의 7승개의 비트를 송신했을 때 변조기법 FSK와 OOK를 적용한 경우 데이터 처리율이 Eb/No가 8dB에서 목표 처리율 10Mbps에 근접하였다. 그림 10에서 8dB에서 통신가능한 BER 수치를 얻은 것을 확인 할 수 있다. 따라서 네 가지 변조기법 중 FSK와 OOK가 최소 8dB에서 목표치를 달성하였기 때문에 구현에 적용 가능하다. 하지만 가시광 통신의 특성에 의하여 빛의 세기로서 데이터를 판별하는 것이 시스템 복잡도를 최소화하는 입장에서 고려했을 때 가장 좋으므로 결론적으로 변조기법 OOK를 적용한다.

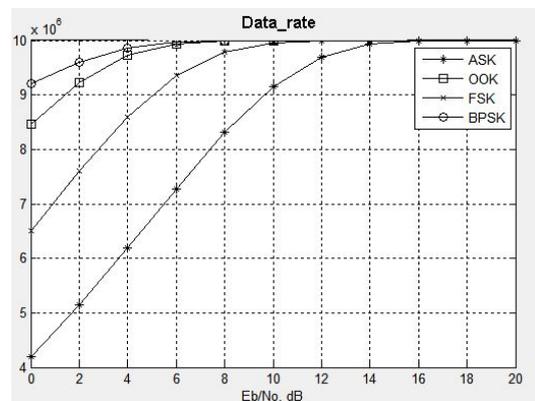


그림 9. 3m 거리에서 Eb/No에 따른 전송속도

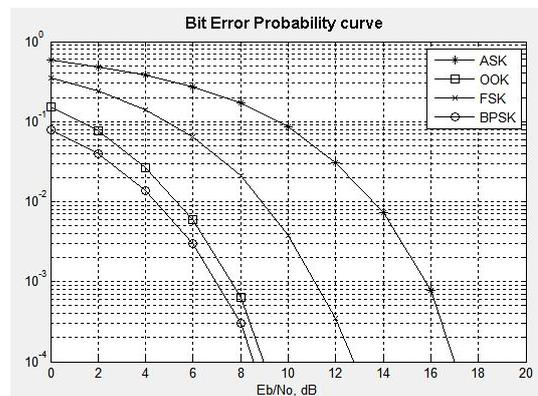


그림 10. 3m 거리에서 Eb/No에 따른 BER

V. 구현

구현에 사용된 시스템은 오픈소스를 기반으로 한 피지컬 컴퓨팅 플랫폼으로, AVR을 기반으로 한 Arduino Embedded 보드이다. Arduino 보드는 C/C++ 언어를 지원하고 SD카드가 이용 가능한 보드를 추가적으로 지원한다. 모의실험에서의 결론을 고려하여 가시광 통신 시스템을 구현 할 때 변조 기법 OOK을 적용하였다. 가시광 통신 단말기는 현대의 무선통신 시스템에서 송신기로 LED를 사용한다는 점과 수신기로 PD(Photo Diode)를 사용한다는 점을 제외하고 동일하다. 텍스트전송 및 음성, 이미지 전송이 가능하고 LED를 사용하는 모든 제품에 가시광 통신 시스템을 적용 할 수 있다.



그림 11. 가시광 통신 단말기 송신부

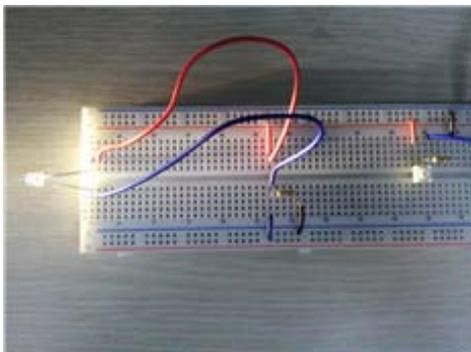


그림 14 가시광 통신 단말기 수신부

VI. 결론 및 향후 연구 방향

언제 어디서나 찾아볼 수 있는 LED를 매체로 하여 통신하는 가시광 통신시스템은 RF시스템과 비교하여 인체에 무해하고 line of sight통신이기 때문에 제 3 자에 의한 인터셉트가 불가능한 안전한 통신 시스템이다. 도로의 자동차 신호등이나, 보행자 신호등에 적용하여 사용자에게 쉽고 편리하게 신호등의 빛에 의하여 자동차가 자동으로 신호를 감지하여 주행하는 시스템을 개발할 수 있으며, 브레이크를 밟을 때 나오는 적색등에 적용하여 급정지시 뒤 차로 하역금 운전자의 반응속도에 상관없이 자동으로 자동차가 감속하는 시

스템을 제공할 수 있다. 또 RF신호와 비교하여 수중에서 RF신호의 높은 감쇠율에 의해 통신이 불가능한 상황에서 LED기반 가시광 통신 단말기를 무선통신의 대안으로 적용한다면 수중에서의 통신도 가능하다. 또한 LED 기반 가시광 통신 단말기는 그린 인프라로서 다양한 응용개발로 신규시장을 창출할 수 있으며 현재 시점에서 기술 연구는 선도적이다. 하지만 일부 출시된 제품을 제외하고 국내에서 가시광 통신 시스템 기술의 연구는 활발하지 못하기 때문에 상용화의 단계에 아직 다다르지 못하고 있다. 가시광 통신 시스템 기술의 개발은 무선 통신 시스템으로서 현대의 무선통신 시스템 기술을 접목시키되 가시광 통신의 친환경적인 특성을 부각시켜 전반적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. Y. Kim, LED Visible Light Communication Systems, Hongreung Science Publishers, Seoul, Korea, 2009.
- [2] M. Ishida, "InGaN based LEDs and their application," OPTRONICS, vol.19, no.228, pp. 120-125, 2000.
- [3] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental communication system using LED lights," IEEE Trans. on Consumer Elec., vol. 50, pp. 100-107, Feb. 2004.
- [4] Rick Roberts, "VLC frame flicker", IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-09-0297-00-0007.
- [5] T. Tamura, T. Setomoto and T. Taguchi, "Fundamental characteristics of the illuminating light source using white LED based on InGaNse miconductors," Trans. IEE Japan, vol. 120-4 no. 2, pp. 244-249,2000.

저자

황 유 민(Yu Min Hwang)



- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
- 2012년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정
- <관심분야> : VLC, 재난 통신, 디지털 통신

김 윤 현(Yoon Hyun Kim)



- 2006년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
- 2008년 2월 : 광운대학교 전파공학과 석사
- 2008년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신

김진영(Jin Young Kim)

정회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신