

가시광 LED를 이용한 양방향 무선통신 시스템 연구 계광현¹ · 손경락[†]

(원고접수일 : 2010년 6월 10일, 원고수정일 : 2010년 7월 21일, 심사완료일 : 2010년 7월 22일)

A Study on the Duplex Wireless Communications Using LED Lighting

Gwang-Hyun Key¹ · Kyung-Rak Sohn[†]

요약 : 본 논문에서는 조명으로 사용되는 LED를 이용하여 실내 가시광 통신을 할 수 있는 시스템을 제안하고 있다. LED는 디지털 변조가 가능하므로 조명과 더불어 광무선 통신시스템으로 적용할 수 있다는 개념과 연구결과에 기인하여 기초연구를 수행하였다. LED는 고 휘도, 신뢰성, 저 전력 소비, 긴 수명의 장점을 가지므로 고 품질의 통신서비스를 제공하는 통신용 광원으로서도 적합하다. 본 연구에서는 오디오 전송을 위한 단방향 광무선 통신시스템과 텍스트 메시지를 전송하기 위한 양방향 통신시스템을 구현하여 통신 성능을 실험하였다. 이 실험결과는 실내 무선 환경을 지향하는 조명등의 내부회로로 설치될 수 있는 저가형 광통신 트랜시버의 구현이 가능함을 보여준다.

주제어 : LED; 가시광 통신; 실내무선통신; 무선네트워킹

Abstract: In this paper, we proposed and demonstrated an indoor visible-light communication system using an array of light-emitting diodes (LEDs). The main idea is based on that the LEDs can be used not only for lighting but also for free-space optical communications. Because LEDs offer advantageous properties such as high brightness, reliability, lower power consumption and long lifetime, the indoor visible-light communication systems are going to provide high quality of service by the high radiation power of the LED lighting. Prototype of simplex channel for audio and the full-duplex channel for text message were developed. Results indicates the viability of creating inexpensive free-space optical communication transceivers that might be embedded in commercial light products to supports indoor wireless networking.

Key words: LEDs; Visible light communications; indoor wireless communications; wireless networking

1. 서 론

발광다이오드(Light Emitting Diode: LED)는 백열등의 90% 이상의 절전 효과, 긴 수명, 편리한 제어성 및 저 탄소 배출 등의 장점으로 기존 조명의 대체기술로 부상하였다[1,2]. LED 조명의 보급 확대를 위해 정부는 1530 프로젝트를 발표하여 2015년까지 전체 조명의 30%를 LED로 대체

한다는 계획을 발표함에 따라 향후 LED에 대한 수요가 지속적으로 증가할 것으로 기대되며, LED 조명과 통신이 결합한 새로운 어플리케이션에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 가시광 LED는 780nm - 380nm의 파장을 가지며, 주파수로 환산하면 약 385 THz - 789 THz 로 매우 높은 주파수대역을 차지한다. 이 주파수영역은 기존의 무

[†] 교신저자(한국해양대학교 전자통신공학과, E-mail: krsohn@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4312)

¹ 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과

선 통신에 전혀 전자기적 영향을 미치지 않는 장점이 있다. 또한 LED는 디지털 소자로서 온-오프 스위칭을 통하여 디지털 펄스로서 표현이 가능하고 해당 주파수대역을 통한 고속변조가 가능하다. 특히 가시광의 경우는 적외선과는 다르게 조명의 기능으로서 동작을 할 수 가 있다. 즉 데이터를 온-오프 스위칭으로 나타내더라도 사람의 눈은 계속적으로 LED가 켜져 있는 상태로 인식을 하기 때문에 고속의 온-오프 스위칭을 통하여 조명의 기능과 동시에 데이터를 전송할 수 있는 링크로 사용될 수 있다[2-3]. 국내에서는 한국전자통신연구소에서 가시광 무선통신기술 개발을 주도하면서 원천기술 확보하고, 소자 및 모듈기술개발, 응용시스템 기술 개발을 추진하고 있다. 최근 조명용으로만 사용되고 있는 LED의 빛을 이용하여 조명뿐만 아니라 오디오 무선통신도 동시에 할 수 있는 LED 오디오 무선통신 기술 개발에 성공함에 따라 LED를 이용한 데이터전송에 대한 실현가능성을 입증하였다[4]. 해외의 경우 미국의 보스턴 대학에서는 LED 광통신 기술개발을 위해 2008년 NSF (National Science Foundation)으로부터 2년간 \$18,500,000의 연구비를 지원받아 Rensselaer Polytechnic Institute 및 뉴멕시코 대학 등과 공동연구중이며, 2008년 기술보고서에 따르면 실내 가시광 무선통신을 위해 단방향 통신과 양방향 통신 실험을 수행하였다고 발표하였다[5]. 일본의 경우 가시광 무선통신의 표준화를 위하여 케이오 대학을 중심으로 가시광 통신 컨소시엄(Visible Light Communications Consortium: VLCC)를 구성하였으며, NTT DoCoMo, KDDI, Matsushita, NEC, Casio, Sony, Toshiba, Toyoda 등의 업체들이 가입하여 활동하고 있다[6].

본 논문은 이러한 조명 인프라의 수요증가와 가시광 무선통신기술의 필요성에 맞추어 조명과 통신을 융합한 가시광 통신에 대한 기초적인 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 두 가지 연구수행 결과에 대해서 기술한다. 첫 번째는 서버와 호스트를 통하여 텍스트기반의 파일을 다양한 변조속도에서 양방향으로 송·수신하는 기본적인 데이터 전송에 대한 기초실험을 수행하였다. 두 번째는 디지털 음원 또는

컴퓨터상의 음성 메시지를 가시광을 통하여 송·수신하는 시스템을 직접 구현하여 가시광 조명통신에 대한 기초연구를 수행하였다. 특히, LED 조명과 수신기 간의 거리에 따라 수신 가능한 데이터 전송 속도를 비교하였다. 가시광 통신은 LED 조명과 더불어 주목 받기 시작한 기술인만큼 자동차, 실내 조명, LED TV, 교통신호등, 전광판 광고 등과 연계한 신규 산업 창출이 가능하여 큰 산업적 효과를 기대할 수 있다[7].

2. 동작원리 및 시스템 설계

Figure 1은 가시광 LED를 이용한 무선통신 시스템의 개략도이다. 아날로그 또는 디지털 입력 신호는 LED의 펄스신호로 직접 변조되어 통신을 하게 된다. 수신측에서는 LED의 펄스로 나타내어지는 데이터를 광 검출기를 통하여 해당 펄스를 복조하고 증폭기를 통하여 원래의 신호로 복원한다. Figure 1 (a)는 단방향 통신을 위한 시스템 개념도로서 본 연구에서는 오디오 음원 전송을 위해 적용하였다. 입력신호 세기에 의해 직접 변조된 전기적인 신호는 LED의 배열로 구성된 광원을 통해 자유공간으로 전송된다. 수신단은 광 검출기를 통해 전송된 빛을 받아 전기적인 신호로 복조하여 원 신호를 복원하는 과정을 거친다. Figure 1 (b)는 양방향 데이터 전송을 위하여 구성한 시스템 구성도이다. 각각의 단말기는 송수신을 동시에 할 수 있는 트랜시버로의 역할을 하게 된다.

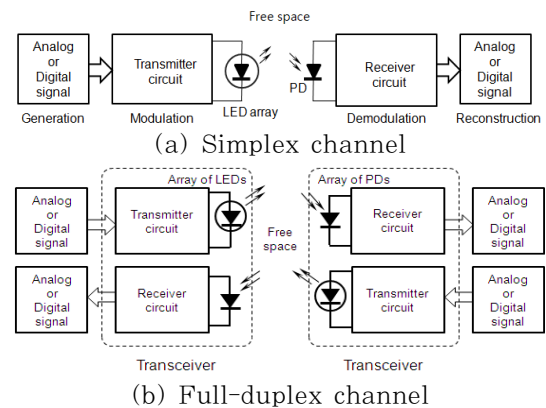


Figure 1: Basic diagram of free-space visible light communication system

Figure 3에 나타난 회로도는 텍스트파일 기반의 데이터 또는 음원기반의 음성신호를 선택적으로 하여 두 가지 기능에 대한 양방향 통신이 가능하도록 설계된 회로이다. 음성신호는 폰 잭을 통하여 입력되고 오디오 증폭기를 통해 증폭된 후 LED 구동전압으로 인가되고 직접변조방식을 통하여 가시광 전송이 이루어진다. 텍스트파일은 컴퓨터의 직렬포트와 연결된 MAX232를 통하여 5V의 TTL신호 레벨로 변환된다. 이 신호는 LM386의 Reference전압을 통하여 LED의 구동 인가전압으로 작용한다. 반대로 광 검출기는 가시광으로 전송된 데이터를 수광하여 전기적인 신호로 변환한다. 이 신호는 증폭기를 거쳐 음성신호로 복조되거나 MAX232를 통하여 TTL로 전환되어 수신 단말기에 입력된다.

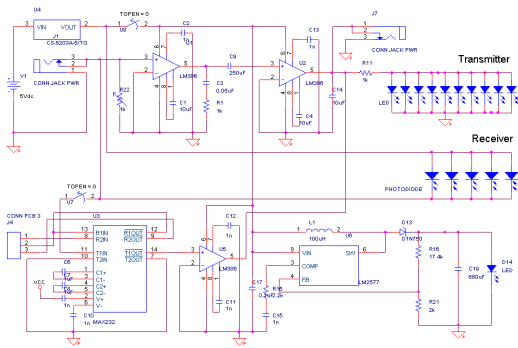


Figure 3: Schematic of a transceiver for full-duplex channel communication interface

텍스트 파일 전송과 음성 메시지 전송은 각각 독립적인 회로로 구성되었으며, 두 입력신호는 LED의 구동전압으로서 동시에 동작될 수 없다. 또한 텍스트 파일의 경우는 폰 잭에서 나오는 잡음의 영향으로 파형이 왜곡되며, 음성신호의 경우는 음성신호가 제대로 변복조가 되지 않기 때문에 스위치를 통하여 선택적인 동작을 수행하도록 하였다. 또한 본 회로에서는 LED의 구동전압과 시스템 구동 전압을 식별하기 위하여 다중출력 전압 레귤레이터로서 LM2577를 사용하였다. LM2577은 내부 발진기를 통하여 입력전압에 따라 펄스의 속도가 변하게 된다. 즉 전압의 변화를 펄스의 변화로서 나타나

기 때문에 LED 점멸 속도를 통하여 전압의 변화를 식별할 수 있다.

광원은 1 W의 고휘도 가시광 LED 10개를 병렬 연결하여 구현하였다. 광원의 방사각도를 제한하여 지향성을 높이고 효과적인 통신거리 확보를 위한 방법으로 LED 앞단에 렌즈를 설치하였다.

가시광 조명의 휘도가 높으면 광 검출기에 입사되는 광자수가 증가하여 광전변환 효율이 높아지므로 출력 전류가 커진다. 광 검출기의 개수를 늘릴 경우 광자를 받아들일 수 있는 영역이 넓어져 변환전류의 양을 증가시킬 수 있다. 본 연구에서는 스펙트럼상의 응답 파장영역은 870 nm이며 스위칭 시간은 5 nsec인 오스람사의 SFH213 광 검출기 5개를 사용하여 광 신호 검출단을 구성하였다.

3. 실험결과 및 고찰

가시광 조명통신에 대한 기초연구를 수행함에 있어서 두 가지 응용에 적용하는 실험을 수행하였다. 첫 번째는 직렬포트로 연결된 서버와 호스트상의 모니터링 프로그램을 구현하여 단말기상의 텍스트 기반 파일을 가시광을 통하여 양방향으로 데이터를 송수신할 수 있는 하드웨어적 구조에 대한 연구를 수행하였고, 두 번째는 오디오 메시지를 가시광 LED를 통해 전송하고 재생하는 연구를 수행하였다.

Figure 4는 양방향 통신을 위하여 제작한 트랜시버의 실물사진이다. Figure 4(a)에서 트랜시버는 10개의 LED와 5개의 광 검출기로 구성되어 있다. 양방향 통신과 거리에 대한 통신가능 속도를 측정하기 위하여 두 트랜시버는 Figure 4(b)와 같이 일정한 거리를 두고 마주보게 된다. 광 검출기의 경우 양방향 통신을 수행함에 있어서 송신측의 광 신호로 인한 간섭이 발생하지 않게 차단되어야 한다. 본 연구에서 사용한 결합형 LED 렌즈는 방사각을 줄이고 직진성을 높일 수 있는 구조로 되어 있어서 수신단으로 향하는 송신신호 간섭현상을 효과적으로 억제할 수 있다.

직렬포트기반의 가시광 통신을 수행하기 위해서 서버와 호스트를 그래픽 언어인 LabVIEW[®]를 이용하여 모니터링 프로그램을 구현하였다. 텍스트

파일은 ASCII 코드 값을 가지는 디지털 펄스로서 직렬통신라인으로 전송되기 때문에 LED의 온-오프 스위칭으로 쉽게 변조시킬 수 있고, 수신측에서는 ASCII값으로 쉽게 복조할 수 있다.

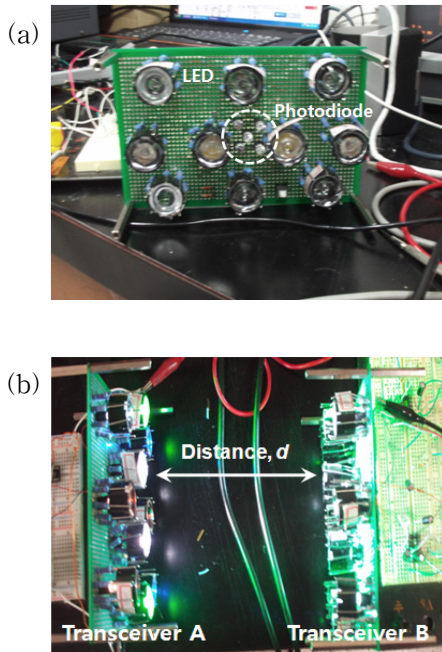


Figure 4: (a) A transceiver composed of LED and PD array, (b) Experimental setup for duplex light communications using two transceivers facing each other

Figure 5는 전송된 텍스트 파일의 전기적인 신호와 수신된 신호를 오실로스코프로 측정된 파형이다. 두 트랜시버 사이의 거리는 3 m, 데이터는 8비트이며 패리티 비트와 흐름제어는 없는 상태에서 전송속도는 9600bps이다. 광 검출기의 응답속도와 통신 환경으로 인한 과도응답이 발생함을 확인할 수 있으나 전송된 데이터를 복원하는 과정은 문제가 없음을 확인하였다.

Figure 6은 LabVIEW®기반으로 구현한 모니터링 프로그램에서 확인한 텍스트정보의 전송상태를 보여준다. Figure 5의 실험결과와 동일한 조건에서 양방향 데이터 전송을 시행한 결과 정보 손실 없이 데이터 전송이 이루어짐을 알 수 있다.

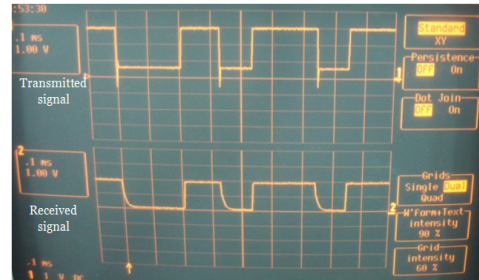


Figure 5: Transmitted and received waveform for text messages

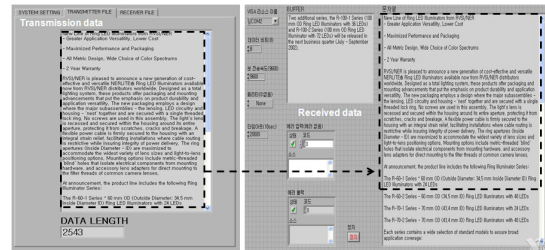


Figure 6: Experimental result of the bidirectional communications through text file transmission

Table 1은 보오율에 따른 최대 데이터 전송거리를 실험한 결과이다. 1200, 2400, 4800, 9600, 19200으로 보오율이 증가함에 따라 데이터 전송가능 거리가 짧아지는 것은 두 개의 디지털 준위 (0과 1)에 대한 광 세기의 차가 줄어들어 광 검출기에서 구분하지 못하는 신호인식의 한계 때문이다. 특정 조명의 조도에 대한 신호인식의 제한거리가 주어질야 함을 알 수 있다.

Table 1: Simplex performance

Baud rate	Max. distance for tolerable bit error(m)
1200	4.2
2400	4.1
4800	4.0
9600	3.8

오디오 신호 또한 광세기로 직접 변조되어 LED의 전류 제어를 통해 가시광으로 전송될 수 있다. 실험환경은 텍스트파일 전송과 달리 Figure 1(a)

와 같이 단방향 통신 시스템으로 구현된다. 제작된 통신시스템은 Figure 7에 나타내었다. 입력신호는 MP3의 출력단에서 나오는 아날로그 음성신호를 추출하여 연구를 수행하였다. MP3의 음성 신호 출력단에서 추출된 신호는 수 mV이하로 매우 미약하기 때문에 증폭기를 통하여 신호를 증폭한 후 LED의 입력단으로 인가된다. 인가된 전압의 변조에 의해서 만들어지는 LED의 펄스는 음성신호를 가시광으로 전환하여 자유공간으로 전송한다. 전송된 광 신호는 수신단의 광 검출기를 통하여 전기적인 신호로 변환되고 증폭기를 통하여 증폭된 후 스피커 등을 통하여 음성신호를 재생하게 된다. 본 실험에서는 3개의 광 검출기로 구성된 광무선 이어폰을 구현하였다.

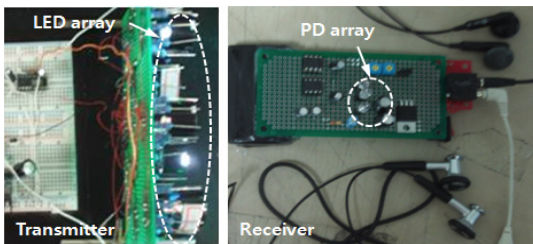


Figure 7: Photograph of Simplex channel communication system for audio system

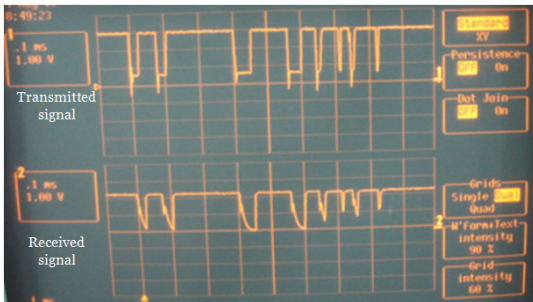


Figure 8: Waveform of modulated and demodulated signal for audio signal

Figure 8은 음성신호 전송에 따른 송신측과 수신측에서 측정된 오실로스코프의 펄스파형을 보여준다. 텍스트파일의 경우와 마찬가지로 가시광으로 전송되는 MP3의 음성신호를 약 4m 정도의 거리에서도 재생되는 것을 확인할 수 있었다. 만약 LED

의 휘도를 높이거나 광 검출기의 입사면적을 크게 한다면 더 먼 거리에서도 음성신호가 재생될 수 있는 시스템을 설계할 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 가시광 조명통신의 기초연구로서 텍스트 파일기반의 데이터를 서버와 호스트에 대하여 양방향통신이 가능한 시스템을 구현하여 LED조명통신의 적용가능성을 보여주었다. 또한 음성신호에 대한 가시광 조명통신에 대한 방법과 광무선 이어폰에 대한 기초 실험 결과를 제시하였다. 제안된 시스템의 가시광 조명통신의 최대통신거리는 4m로 제한적이지만 LED의 휘도와 광 검출기 성능의 개선을 통하여 통신거리 확보가 가능함을 제시하였다. LED 조명통신의 경우 아직 국내외에서 표준화를 위한 작업이 수행되고 있고 지속적인 LED조명 및 인프라 구축에 대한 활성화가 예상되는 만큼 산업전반에 걸쳐 적용 될 수 있는 분야가 무한하여 새로운 신규산업 창출에 따른 가치가 크다고 할 수 있다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0005454).

참고문헌

- [1] M.G. Craford, "LEDs challenge the incandescents", IEEE Circuits and Devices, pp. 24-29, September 1992.
- [2] 길경석, 최성국, 박대원, 김성욱, 천상규, "식물성 플랑크톤에 대한 UV-LED의 살균성능분석", 한국마린엔지니어링학회지, 제 33권, 제6호, pp. 959-964, 2009.
- [3] Grantham pang, Thomas Kwan, Chi-Ho Chan, Hugh Liu "LED traffic light as a communications device", IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems

Proceedings, Tokyo, Japan, pp. 788-793, 1999.

- [4] Y. Tanaka, et al., "Indoor visible communication utilizing plural white LEDs as lighting", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications on 12th IEEE International Symposium, pp. F81-F85, 2001.
- [5] <http://www.etri.re.kr/>
- [6] <http://smartlighting.bu.edu>
- [7] <http://www.vlcc.net>
- [8] M. Z. Afgani, et al., "Visible light communication using OFDM", IEEE TRENTCOM p. 134, 2006.

저 자 소 개



계광현(桂光賢)

2009년 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사), 2009년 -현재 한국해양대학교 전자통신공학과(석사과정). 관심분야: 임베디드프로그래밍, 가시광 LED 통신, CAN 통신



손경락(孫慶洛)

1992년 경북대학교 전자공학과 (공학사), 1995년 경북대학교 전자공학과(공학석사), 2002년 경북대학교 전자공학과(공학박사), 1995년 - 1999년 현대자동차(연구원), 2006년 - 2007년 UNSW 방문교수 2003년 -현재 한국해양대학교 전자통신 공학과(교수). 관심분야: 광센서, Optical wireless communications, 가시광 LED 통신, CAN 통신