

LED 모듈을 이용한 VLC(Visible Light Communication) 시스템의 성능향상 방안

Performance Improvement of VLC System using LED Module

조 현 묵*

Hyun-Mook Cho*

Abstract

In this paper, we implemented a VLC(Visible Light Communication) system capable of transmitting/receiving data on a 30MHz clock based on On/Off keying modulation/demodulation. The data rate of the implemented system can be verified by functional verification of VLC channel composed of LED/photodiode driver and VLC transmitting/receiving signal of Tx/Rx platform. But, In the experimental results with the VLC transmitting/receiving for combined module, the maximum transmission rate was measured at 15 MHz. Therefore, we describe the problems that can occur when implement the VLC system using the LED module with output power of 15W or more and propose ways to improve it.

요 약

본 연구에서는 온-오프 키잉 변조/복조를 기반으로 데이터의 전송속도를 30MHz 클럭 송신/수신할 수 있는 가시광 통신 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템의 데이터 속도는 발광 다이오드/포토 다이오드 드라이버로 구성된 VLC 채널과 송/수신 플랫폼의 VLC 신호의 전송 및 수신에 대한 기능 시험을 통해 확인할 수 있었다. 그러나, VLC 송/수신 통합모듈에 대한 실험에서는 최대 전송속도가 15MHz로 측정되었다. 따라서, 본 연구에서는 실제 조명으로 사용할 수 있는 출력 15W 이상의 LED 모듈을 이용하여 가시광통신 시스템을 구현할 때 근본적으로 발생할 수 있는 문제점에 대해서 기술하고 개선 방안을 제안한다.

Key words : VLC, FPGA, LED driver, Photodiode AFE, Modulation/Demodulation

1. 서론

최근 근거리 무선통신 기술의 하나로 부각되고 있는 LED(Light Emitted Diode) 기반 가시광 통신(Visible Light Communication)[1][2]기술은 빛의 꺼짐과 켜짐에 대해 디지털 신호를 적용하여 데이터를 전송하는 무선통신기술이다. 기존의 VLC 시스템의 구현을 위해서 사용된 LED는 1Watt 이하

의 LED를 사용함으로써 실제적인 조명으로써의 역할을 기대하기 어려우며, 따라서 연구방향도 데이터 전송속도의 개선을 위한 광원의 집광이나 광노이즈 제거 등에 한정되어 있었다.[3] 그러나, 본 논문에서 구현한 시스템에서는 100개 이상의 LED 소자를 하나의 통신 채널로 구성하여 온-오프 키잉 변/복조 가시광통신시스템을 구현하고, VLC 신호 전송 및 수신에 대한 기능적인 시험을 통해

* Div. of Electrical, Electronics and Control Engineering, Kongju National University

★ Corresponding author

E-mail : hmchov@kongju.ac.kr, Tel : +82-41-521-9184

Manuscript received Sep. 7, 2018; revised Sep. 21, 2018; accepted Sep. 21, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다. 포토다이오드 드라이버의 구현

VLC 포토다이오드 드라이버는 VLC 송신모듈에서 빛으로 전송한 가시광 신호를 변환하여 전기적 신호로 VLC 수신모듈로 전달하는 동작을 수행한다. VLC 포토다이오드 드라이버는 그림 4와 같이 VLC LED 드라이버에서 전송한 가시광통신 데이터를 감지하여 전기적신호로 변환시켜주는 포토다이오드와 포토다이오드에서 출력된 미약한 전류를 증폭시켜주는 트랜스 임피던스(TIA), LPF를 거쳐 고주파 성분의 잡음을 제거한 후 OPAMP를 통해 전압을 증폭하도록 설계하였다. HPF를 통하여 DC 성분이 제거되고 인버터를 통해 3.3V TTL 레벨의 구형파로 출력되도록 설계 하였다. 외부 인터페이스는 입력으로 구동에 필요한 전원공급 DC 5.0V 포트, 출력으로 VLC 수신플랫폼에 3.3V TTL 레벨 신호를 출력하는 SMA 커넥터로 구성하였다.

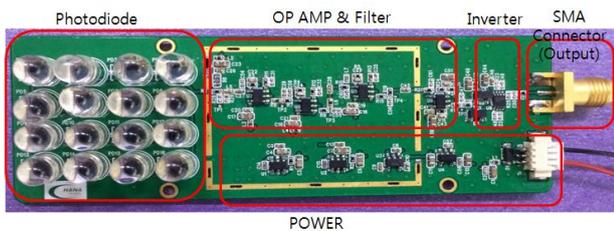


Fig. 4. VLC Photodiode Driver.
그림 4. VLC 포토다이오드 드라이버

2. VLC 시스템의 성능 실험

본 논문에서 구현한 VLC 시스템의 성능 검증은 3단계로 나누어 수행하였다. 먼저 가시광 통신채널에 대한 검증을 수행하였는데, LED 드라이버와 포토다이오드 드라이버의 가시광 무선 전송을 실험하였다. 또한, VLC 송/수신단의 유선 기반 MAC과 PHY 로직의 성능 검증을 수행하였으며, 마지막으로 VLC 송신단과 LED 드라이버를 연결하고 VLC 수신단과 포토다이오드 드라이버를 연결함으로써 가시광통신 통합시스템을 그림 5와 같이 구성하였으며 이를 이용하여 VLC 송신/수신 모듈 통합 실험을 수행하였다.

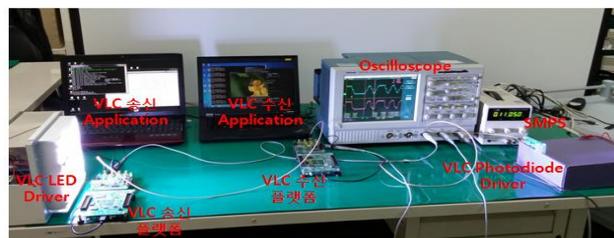


Fig. 5. VLC Tx/Rx Module Test System.
그림 5. VLC 송신/수신 모듈 통합검증 시스템

VLC 송신/수신 모듈 통합 실험을 위해서 LED 드라이버에서 LED 조명으로 빛 데이터를 전송하면 수신모듈인 포토다이오드 드라이버에서 이와 같은 빛 데이터를 전기적인 데이터로 변환 한후, 수신단으로 전달하게 된다. VLC 송신/수신 전체 시스템상의 최대 전송 속도를 측정하기 위해서, SMA 커넥터를 통해 LED 드라이버에 입력되는 신호와 VLC 수신단에 수신된 신호를 각각 Oscilloscope로 측정하여 그림 6에 결과를 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이, 최대 송/수신 데이터 전송 속도는 15MHz 임을 확인할 수 있었다. 이 결과는 앞서 LED 드라이버와 포토드라이버의 가시광통신 채널과 송신/수신단의 VLC 신호 송신 및 수신에 대한 검증을 통해서 얻은 데이터 전송속도인 30MHz와는 차이가 있음을 알 수 있다. 그 이유는 VLC 송신단과 LED 드라이버 사이에서 최적화된 신호전송이 이루어지지 않았고, 송신/수신된 신호를 증폭하는 과정에서 고주파 노이즈 성분까지 함께 증폭되어 신호 파형의 왜곡에 기인한 것으로 판단된다.

3. VLC 시스템의 성능 개선 방안

VLC 송신/수신 모듈 통합 실험을 통한 성능을 확인한 결과 클럭 전송속도가 설계사양의 50% 정도 밖에 나오지 않았다. 따라서, 실제조명으로 사용할 수 있는 출력 15W 이상의 LED모듈을 이용하여 가시광통신시스템을 구성할 때 발생할 수 있는 문제점과 개선방안에 대한 고찰이 필요하다.



Fig. 6. Test results of VLC Tx/Rx Module.
그림 6. VLC 송신/수신 모듈 검증 결과

가. LED 드라이버의 모듈 구동회로와 LED 소자
LED 드라이버에 입력되는 VLC 송신플랫폼의

VLC 신호가 3.3V 20mA 수준으로 출력 15W 이상의 LED 모듈을 30MHz 이상의 주파수로 구동하기 어렵기 때문에 증폭회로를 구성해야 한다. 이 과정에서 고주파 성분의 잡음신호가 증폭회로에 인가되고, VLC 신호와 함께 증폭되어 VLC 신호의 주파수 성분을 왜곡하게 된다. 다른 무선통신의 경우에는 사용하는 주파수의 범위가 제한적이어서 비교적 쉽게 잡음성분을 제거할 수 있다. 그러나, 30MHz 클럭을 사용하는 VLC 시스템의 경우 실제 데이터 전송 시 사용 주파수는 3.75MHz~30MHz 까지 광대역의 주파수를 사용하게 되므로, 주파수 성분과 고주파 잡음 성분을 고배율로 증폭하게 되면 필터링 범위가 넓어지게 되어 잡음제거에 어려움이 있다. 또한, 주파수 성분의 증폭으로 인해 주파수가 왜곡되는 지터가 발생할 수 있기 때문에 LED 구동모듈이 복잡해질 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 VLC 신호의 증폭을 최소화하는 방법이 있을 수 있는데, LED 모듈의 구동회로를 임계구동회로와 VLC 신호 증폭회로로 구성하면 임계구동회로에서 LED 모듈을 구동직전까지 만들어 주고, VLC 신호 증폭회로에서 나머지 LED 모듈을 구동하기 위해 필요한 전원을 공급하면 증폭율을 최소화 할 수 있다. 또한, 본 연구에서 사용한 15W 이상의 LED 모듈은 LED를 구동하기 위한 VLC 신호 증폭 회로에서 슬루레이트가 존재하게 되는데, 이와 같은 슬루레이트로 인한 지터를 없애기 위한 근본적인 해결방법은 LED 광원의 상승시간과 하강시간이 동일하고 짧은 특성을 갖는 고속 VLC 통신용 LED 소자의 개발이 유일하다.

나. 포토다이오드 드라이버

가시광통신시스템을 구성하는 포토다이오드의 파장대별 감도 및 고휘도 LED 파장분포[5]를 그림 7에 나타내었다. 그림 7의 (a)와 같이 100MHz 이상의 고속 샘플링이 가능한 포토다이오드의 최대 감도를 갖는 파장대는 약 950nm의 적외선 영역이다. 이에 반하여 고속 스위칭 특성이 좋은 고휘도 LED의 파장대 분포는 그림 7의(b)와 같이 450nm에 집중되어 있다.

본 연구에서 사용한 포토다이오드를 분석하면 최대감도인 950nm 대비 450nm에서는 약 30%의 감도를 갖기 때문에 포토다이오드 드라이버에서는 설계 사양 대비 수 십배의 신호를 증폭해서 사용해

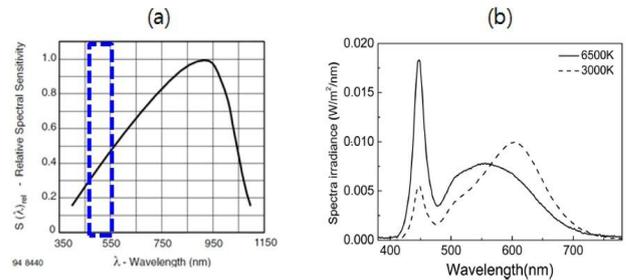


Fig. 7. (a) Sensitivity vs wavelength of High-speed sampling Photodiode (b) Power Distribution vs wavelength of High intensity LED.

그림 7. (a) 고속 샘플링 포토다이오드의 파장대별 감도 (b) 고휘도 LED의 파장대별 전력분포

야 한다. 이 과정에서 미세 전류와 잡음 성분이 같이 증폭되어 신호처리가 복잡해진다. 따라서, 이와 같은 근본적인 문제를 해결하기 위해서는 고속 VLC 통신에 최적화된 포토다이오드의 소자 개발이 절실히 요구된다. 본 연구를 통해 구성된 VLC 시스템에서 필연적으로 발생한 성능저하의 원인은 결국 최적화 되지 않은 소자인 LED, 포토다이오드 그리고 신호 증폭 소자들로 시스템을 구성함으로써 인해 발생하였음을 확인하였다.

III. 결론

본 연구는 LED 조명을 이용한 근거리 무선통신 VLC 시스템을 구현하였다. 15W 이상의 고출력 LED 조명기반의 VLC LED 드라이버로 30MHz이상의 클럭을 사용하였을 때, 가시광통신이 깜박거림 방지를 위해 8B10B RLL 코드[6]를 사용하는 특성상 동일 디지털 신호가 최대 4bit까지 연속해서 올 수 있는 특성 때문에 광대역 특성을 갖게 되어 통합 VLC 시스템에서 안정적으로 전송되는 속도는 15MHz로 제한됨을 확인하였다. 따라서, 15W 이상의 고출력 LED 조명기반 고속 VLC 시스템 구현을 위해 통신주파수 특성에 최적화된 LED 구동 전력 반도체 소자를 사용해야 하며 LED 소자의 켜짐과 꺼짐의 지연시간이 각각 2.4ns, 1.1ns이므로 VLC 국제 표준 IEEE 802.15.7 PHYII의 광클럭 60MHz 및 120MHz 기반의 고속 VLC 시스템 구현을 위해서는 고속 VLC 전용 LED 소자에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한, 고속 VLC 시스템 구현을 위해 사용되는 100MHz 이상의 고속 샘플링이 가능한 포토다이오드는 900nm 이상의 빛 파장대에서

최대감도를 가져 통신시스템 성능저하의 큰 요인 중에 하나이다. 따라서 LED 조명이 사용되는 가시 광파장대에서 최대감도를 갖는 100MHz 이상의 고속 샘플링이 가능한 포토다이오드에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] G. Pang, T. Kwan, H. Liu, and C.-H. Chan, "LED wireless— novel use of LEDs to transmit audio and digital signals," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol.8, no.1, pp.21 - 8, 2002.
DOI:10.1109/2943.974354
- [2] D. O'Brien, HL Minh, L. Zeng, G. Faulkner, K. Lee, D. Jung, Y. Oh, and ET Won, "Indoor visible light communications: challenges and prospects," *Proc. of SPIE*, vol.7091, 2008.
DOI:10.1117/12.799503
- [3] J. Vongkulbhisal, B. Chantaramolee, Y. Zhao, and W. S. Mohammed, "A fingerprinting-based indoor localization system using intensity modulation of light emitting diodes," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.54, pp.1218-1227, 2012.
DOI:10.1002/mop.26763
- [4] T. Komine, M. Nakagawa, "Integrated system of white LED visible-light communication and power-line communication," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol.49, no.1, 2003.
DOI:10.1109/TCE.2003.1205458
- [5] R. Murai, T. Sakai, H. Kawano, Y. Matsukawa, Y. Honda, K. Campbell, "A novel visible light communication system for enhanced control of autonomous delivery robots in a hospital," *Proceedings of the IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp.510-516, 2012. DOI:10.1109/SII.2012.6427311
- [6] A. Suban, P. Prabu, R. Manikandan, M. Pradeep, "Performance enhancement of data communication through visible light communication using on off keying" *Int. J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol. (IJARCET)*, 2(2) pp.559-563, 2013.

BIOGRAPHY

Hyun-Mook Cho (Member)



1989 : BS degree in Electronic Engineering, Korea University.
1991 : MS degree in Electronic Engineering, Korea University
1995 : PhD degree in Electronic Engineering, Korea University

1995~present : Professor, Kongju National University
2005~2006 : Visiting Professor, Georgia Institute of Technology.
2015~2016 : Visiting Professor, Georgia Institute of Technology.