

CAN 기반 LED 가시광 통신 시스템 구현 손 경 략†

(원고접수일 : 2010년 11월 29일, 원고수정일 : 2010년 12월 30일, 심사완료일 : 2011년 1월 20일)

Implementation of CAN-based Visible LED Communication Systems

Kyung-Rak Sohn†

요 약 : 에너지 절감을 위한 백색 LED 기반 조명은 자유공간상의 광 무선통신 분야를 개척하는 기회를 제공하였다. 가시광 통신을 위한 트랜시버는 LED와 포토다이오드로 구성되므로 높은 대역폭과 신뢰성, 저 전력 등의 장점이 있어 기존의 무선통신과 양립할 수 있는 기술로 주목받고 있다. 그러나 기존의 건축물이나 배와 자동차와 같은 구조물에 조명을 이용한 통신 네트워크를 설치한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 연구에서는 자동차 또는 선박의 통신망으로 갖춰진 CAN 기반의 LED 통신시스템을 제안한다. 실내 무선 네트워크를 위한 CAN 인터페이스 모듈과 트랜시버를 조명 시스템에 적용 가능성을 보였다.

주제어 : LED 조명; 조명통신; 가시광 통신; 캔 네트워크; 캔 프로토콜

Abstract: LED-based lighting motivated by significant energy savings provides an opportunistic development of widespread free-space optical communications. Their transceivers have a variety of competitive advantages over RF including high bandwidth density, reliability, lower energy consumption, and long lifetime. But, it is difficult for existing buildings and structures such as ships and vehicles to install the communication cable to the ceiling. In this paper, controller area network (CAN)-based LED lighting communication systems were proposed. Results indicate the viability of developing inexpensive CAN interface modules and transceivers might be embedded in lighting products to support the indoor wireless networking.

Key words: LED lighting; Lighting communications; Visible light communications; CAN network, CAN protocol

1. 서 론

광대역 무선 통신 접속 기술의 비약적인 발전은 휴대용 통신기기의 인터넷 접속을 가능하게 하였다 [1]. 무선 통신 시스템은 주로 라디오 주파수 (Radio frequency; RF) 및 마이크로파 영역의 주파수가 활용되고 있는데 그 이유는 고감도 특성을 가진 수신단의 개발과 더불어, 저주파 영역에서 넓은 전송 유효범위를 제공하며 고주파 영역에서 가시거리 범위내의 우수한 전송능력 때문이다. 또한 대용량 데이터 전송을 위한 이동 통신망이 광섬

유 통신기술과 연동됨으로서 무선통신의 다중 접속에 대한 대역폭 한계를 극복하고 있다. 그러나 현재의 무선주파수 영역은 활용 가능한 스펙트럼이 한정되어 있고, 인접 채널 간 간섭 문제로 인한 대역폭이 제한되므로 새로운 주파수 영역을 개척해야 할 필요성에 당면하였다.

자유공간을 이용한 데이터 전송 방안으로 테라헤르츠파 통신과 가시광 LED(Light emitting diode)를 이용한 근거리 통신이 주목받고 있다. 테라헤르츠파 통신의 경우 발진소자, 믹서, 주파수

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

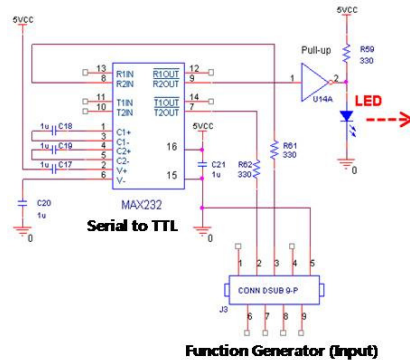
채배기 등의 능동소자, 안테나 기술, 소형화를 위한 MMIC 기술 (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 등 많은 기술적인 발전이 이루어지고 있지만 상용화를 위해서는 해결해야 할 과제들이 많이 있다[2]. 한편 가시광 통신의 경우 백색 LED 조명기술의 상용화에 편승하여 기존의 무선통신 환경을 보완하면서 통신환경을 획기적으로 바꿀 수 있는 자유공간 전송 기술의 장점을 가지고 있다[3-4]. 가시광 통신은 2001년 일본의 케이오대학에서 처음 제안한 통신 시스템이며 2003년 가시광 통신 컨소시엄을 결성하여 서비스 모델 개발에 많은 진전을 이루고 있다. 이후 유럽과 미국 등지에서도 백색 LED를 조명과 무선통신이 융합된 통신 모델을 개발하는 대열에 뛰어들었으며 [5-6], 우리나라의 경우 한국전자통신연구원을 중심으로 학계와 업계에서 관심을 보이고 있다[7-8]. 가시광 무선통신 관련 국제 표준화는 2008년 IEEE 802.15.7 산하에 연구그룹이 결성되어 진행하고 있다. 물리계층에 대한 표준화 작업은 상당한 진척을 보이고 있는 반면, 표준화된 통신 프로토콜은 아직 진전을 이루지 못하고 있다[9].

본 논문에서는 자동차, 선박 및 자동화의 통신 표준으로 자리 잡고 있는 CAN(Controller Area Network)프로토콜[10]을 기반으로 구현한 가시광 무선통신 시스템의 연구 결과를 소개하고자 한다. 시스템 구성을 위한 하드웨어와 통신 알고리즘을 개발하였으며 OOK(On-off keying) 변조방식으로 보오율(Baud rate) 50kbps에서 통신이 성공적으로 수행됨을 보였다. 본 연구의 결과는 향후 자동차 및 선박의 LED 조명 기반 통신 또는 안전운행을 위한 자동차 간 통신, 선박간 통신에도 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

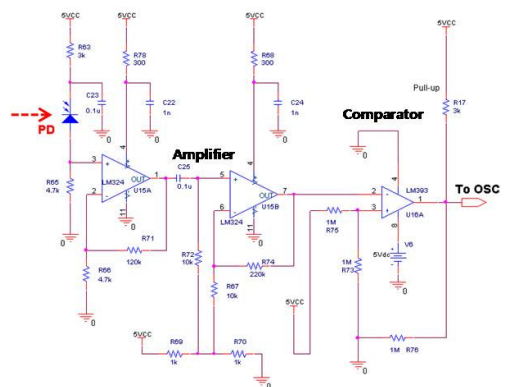
2. 동작원리 및 주파수 특성

광통신 시스템에서 최대 데이터 전송 속도는 광원, 수광부, 채널의 특성에 의해 결정되지만 전송 매질이 자유공간이라면 주로 광원의 주파수 대역폭에 의존한다. 본 연구에서는 안정적인 데이터 전송 속도를 결정하기 위하여 발광부와 수광부의 응답특성을 조사하였다.

Figure 1은 발광소자로 백색 LED, 수광소자로 PIN PD (PIN photodiode)를 이용하여 최대 데이터 전송이 가능한 대역폭을 측정하기 위한 회로도이다. Figure 1(a)에서 송신단의 백색 LED는 HB10P-White(Ningbo Bright사)를 사용하였다. HB10P-White의 경우 460nm 파장에서 최대 광 전력을 보이지만 녹색과 적색의 가시광 영역에도 최대 광 전력 대비 20% 이상의 광 전력이 스펙트럼 상에 나타나며 이러한 색들이 혼합되어 백색광원이 된다. 그러나 통신용 광원이 아니므로 본 연구에서는 구동회로를 설계하여 변조 가능한 최대 주파수 대역폭을 측정하였다. 신호발생기의 구형파를 MAX232에 인가하여 신호레벨로 전환하고 인



(a) LED driver



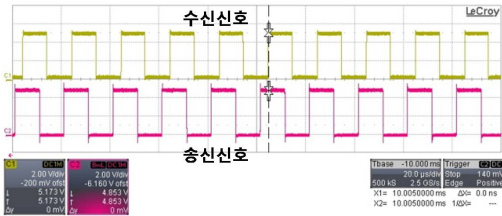
(b) Receiver circuit

Figure 1: Schematic of simplex VLC (visible light communication) channel for measuring the maximum modulation bandwidth.

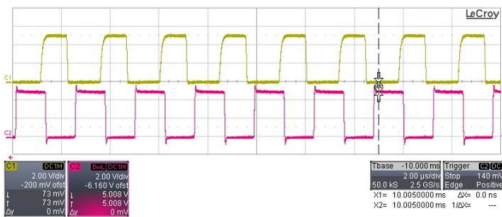
버터를 통해 백색 LED를 구동하면 LED를 통해 자유공간으로 전송된 빛 신호는 반대편에 위치한 수신단의 포토다이오드로 입사되고 광전 변환된 미약한 전기적 신호는 op-amp에 의해서 증폭되며 비교기를 통해 TTL 레벨의 신호로 재생되어 오실로스코프에서 확인한다. Figure 1(b)의 수신단 PD로 SFH213(OSRAM사)를 선택하였으며, 입력신호에 대한 응답신호 상승시간은 5ns 정도로 최대 200MHz의 대역폭을 제공한다.

Figure 2는 LED를 구동한 입력 신호파형과 수신단에서 복조한 신호파형을 보여준다. 각각 입력 신호 주파수가 50kHz, 400kHz, 500kHz의 출력 신호 파형을 관측하였고 신호왜곡이 일어나는 주파수 영역을 찾고자 하였다. Figure 2(a)는 50kHz 입력신호에 대하여 수신단에서 완벽한 신호 재생이 가능함을 보여준다. 송수신간 시간지연은 $\sim 4\mu s$ 정

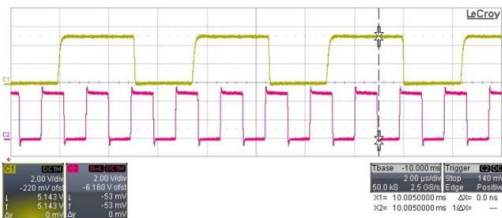
도이다. 400kHz의 입력신호에 대한 결과는 Figure 2(b)에서 나타냈으며, 구형파의 상승에지에서 신호 왜곡이 발생하였다. 그러나 원 신호파형을 복조하는 데는 문제가 없다. 송수신간 시간지연은 $\sim 0.3\mu s$ 이다. Figure 2(C)는 500 kHz 입력신호에 대한 출력 신호파형의 비교이다. 입력 신호의 빠른 스위칭에 대하여 LED 광 출력이 충분이 따라가지 못하여 복조된 파형과 입력 신호 간 차이가 발생하고 완벽한 데이터 전송이 이루어질 수 없게 된다. 600 kHz 이상에서는 입력신호 변화에 대한 LED 출력이 비교기의 기준 전압에 미치지 못하여 high 신호만 출력된다. 이는 LED 동작 특성이 신호의 온-오프 스위칭에 따라가는데 한계가 있는 것으로 판단되며 구현한 LED 구동회로의 최대 주파수 대역폭은 400 kHz 부근임을 발견하였다. 이는 가시광 통신의 데이터 속도를 설정하는 근거로 사용된다. 가시광 통신을 고려한 조명용 LED 개발 시 스위칭 속도 또한 고려되어야 함을 의미한다.



(a) 50kHz



(b) 400kHz



(c) 500kHz

Figure 2: Waveform captured at the input terminal of LED and the end of comparator.

3. CAN 기반 가시광 조명통신

Figure 3은 제안된 CAN 기반 LED 통신 시스템의 기본 블록 다이어그램이다. CAN 프로토콜을 이용하여 데이터 통신이 가능하도록 설계하였다. 상세 회로설계와 동작원리는 Figure 4에서 보여준다.

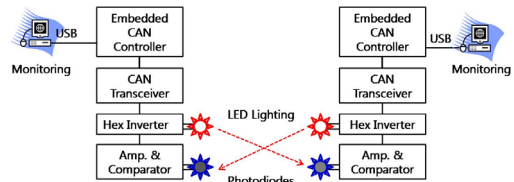


Figure 3: Block diagram of CAN-based visible light communications.

Figure 4는 CAN 제어기인 AT90CAN128 프로세서 모듈과 CAN 트랜시버를 이용하여 구현한 백색 LED 통신 시스템의 회로도를 보여준다. Figure 4(a)의 송신단에서 CAN 트랜시버의 CAN_H 핀은 인버터를 통해 LED에 연결된다. 인

버터는 LED가 조명통신용으로 사용된다고 보면 입력신호가 없을 때 항상 ON 된 상태를 유지할 수 있게 반전된 신호를 만들고 LED 구동에 필요한 충분한 전류를 공급한다. Figure 4(b)의 수신단은 PD에서 광전 변환된 전류를 op-amp에서 증폭한 후 CAN 트랜시버의 CAN_H 핀에 연결되고 RxD 핀은 AT90CAN128의 포트 D 6번 핀에 연결된다. CAN_H 핀과 CAN_L 핀 사이에 CAN 버스의 종단용 저항으로 330Ω 저항을 연결하였다. 여기서 CAN_L을 접지시키게 되면 TTL 입력 신호를 CAN 트랜시버에서 인식하여 CAN 프로세서의 RxD로 전달한다.

Figure 5는 CAN 프로토콜 기반 데이터 송수신을 위한 프로그램의 흐름도를 보여준다. 송신단

에서 전송할 데이터를 입력받게 되면 CAN_TX()를 통해 데이터 신호를 가시광 LED를 통해 자유 공간으로 보내게 되고, 수신단에서는 인터럽트가 발생하여 서비스루틴을 수행한다. 데이터 전송속도는 50kbps로 설정하였다.

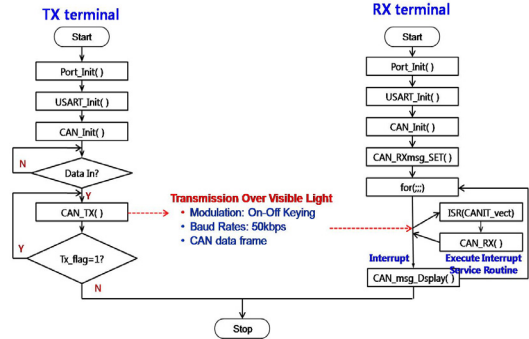
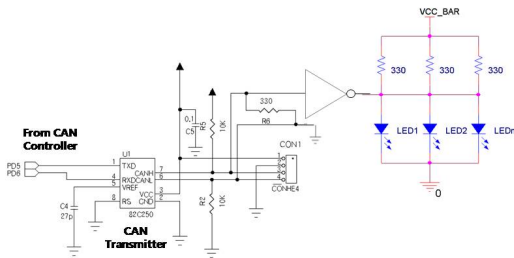


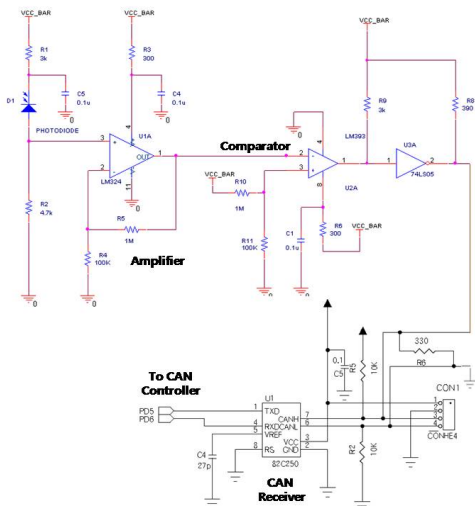
Figure 5: Flow chart

4. 실험결과 및 고찰

실험장치도의 실물사진은 Figure 6에서 보여준다. 실험의 편의를 위하여 한 개의 LED와 PD만 부착된 상태이다. 모니터링 컴퓨터는 USB 포트를 통해 CAN 프로세서와 시리얼 통신을 하며 데이터 전송 및 수신 상태를 관찰할 수 있게 하였다.



(a) transmitter



(b)receiver circuit

Figure 4: Schematics of transmitter and receiver circuit

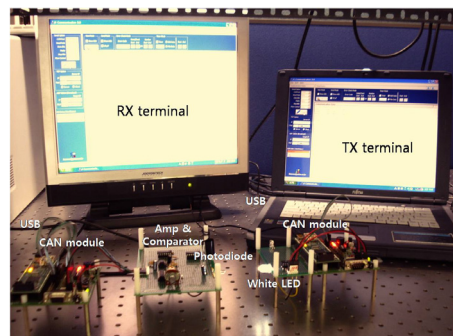
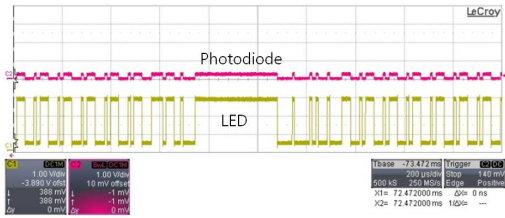


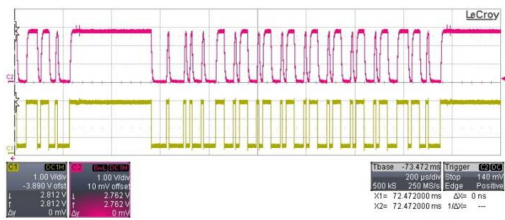
Figure 6: Photograph of experimental setup

Figure 7은 CAN 기반 백색 LED 광 무선통신 시스템의 실험결과 파형이다. CAN 프로토콜에 따라 8 바이트의 데이터(여기서는 편의상 알파벳 A~H의 8개 문자 사용함)를 전송할 수 있다. Figure 7(a)는 LED의 출력 광 신호에 대한 수신

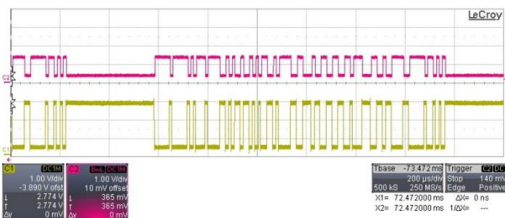
단 PD에서 검출된 신호레벨이다. 2.5V 송신신호 레벨에 대하여 200mV의 수신신호를 나타낸다. 송·수신간 거리가 멀어짐에 따라 수신신호레벨은 낮아진다. 본 실험에서는 50cm 이상 거리에서 통신은 이루어지지 않았으며 최대 통신 가능 거리는 40cm 정도였다. 본 실험에서는 안정적인 데이터 전송을 위해 송수신간 거리를 20cm로 설정하였다. op-amp로 이득이 10인 증폭회로를 구성하여 수신신호를 증폭하였으며 출력파형은 Figure 7(b)와 같다. 신호 레벨은 2.5V 정도로 송신신호와 같은 수준으로 회복되었지만 상승에지에서 신호왜곡이 발생함을 알 수 있다. 인버터를 통과한 후 CAN 트랜시버에서 측정된 파형은 Figure 7(C)와 같다. 유선의 CAN 버스를 자유공간 채널로 전환하였지만 신호의 왜곡이나 손실 없이 잘 전달됨을 알 수 있다.



(a) PD



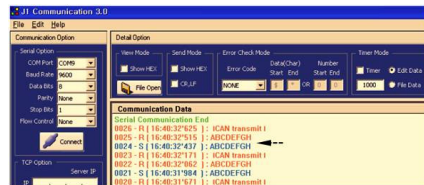
(b) Amplifier



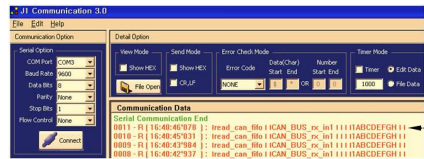
(c) CAN transceiver

Figure 7: Waveform captured at PD, amplifier, and CAN transceiver

Figure 8은 데이터 전송상태를 관찰한 모니터링 화면을 캡처한 것이다. CAN 프로세서의 직렬통신 단자는 CP2101 (USB-to-UART bridge controller)을 통해 모니터링 컴퓨터의 USB 포트 로 연결된다. 컴퓨터를 통한 데이터 입력이 있으면 CAN 프로세서에 인터럽트가 발생하고 서비스 루틴을 수행한다. 여기서 송신단 컴퓨터와 CAN 프로세서 간 직렬 데이터 전송 속도는 9600bps이다. Figure 8(a)와 같이 송신단에서 8개의 영문자 입력되어 CAN 데이터 프레임 형식으로 전송되면 대기 중 상태에 있던 수신단에서는 인터럽트에 의해 Figure8(b)와 같이 신호를 복원하여 원래의 문자를 보여준다. 백색 LED를 이용한 CAN 기반 무선통신이 성공적으로 수행됨을 알 수 있다.



(a) RX terminal



(b) TX terminal

Figure 8: Monitoring screen captured at TX and RX terminal

그러나 자동차, 선박 또는 실내조명용 통신으로 응용되기 위해서는 더 많은 연구가 진행되어야 한다. 통신 가능 거리가 최소 수 m 이상 보장 되어야 하는데 높은 광 출력을 위해서 여러 개의 LED가 병렬로 연결되어야 하고, 수신단에서는 수신 광 효율을 높이기 위해 다수개의 PD가 사용된다면 다중 입력신호에 대한 다중 출력단에 따르는 신호지연과 분산문제를 검토해야할 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 가시광 조명통신을 위한 CAN기

반 LED 무선통신 모델을 제안하고 CAN 프로토콜을 이용하여 자유공간 통신 실험을 수행하였다. LED 응답특성과 LED 구동 드라이버 회로의 대역폭 제한으로 최대 400kHz의 주파수 응답 특성을 얻었으며, 이로부터 본 연구에서 사용한 LED의 응답 시간은 $\sim 1\mu\text{s}$ 임을 확인하였다. CAN 기반 LED 통신 시스템에서는 CAN 트랜시버를 이용한 백색 LED와의 인터페이스 회로를 설계하였고 OOK 변조방식과 50kbps의 보율로 성공적인 통신을 수행하였다. PD를 이용한 수신단은 증폭기와 비교기를 이용하여 간단하게 구현할 수 있음을 보였다. 현재 두 개의 CAN 모듈 간 통신만 수행된 상태이지만 향후 LED 조명을 이용한 다중 광 무선통신 시스템을 개발할 계획이다. 본 연구의 결과가 LED 조명과 기존의 통신 인프라가 융합되어 새로운 통신시장을 개척하는데 기여할 수 있기를 기대한다.

후 기

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

참고문헌

- [1] T. D. C. Little, P. Dib, K. Shah, N. Barraford, and B. Gallagher, "Using LED lighting ubiquitous indoor wireless networking", MCL Technical Report, No. TR-05-20-2008, pp.1-13, 2008.
- [2] 정태진, 이원희, 윤대영, 김종호, "테라헤르츠 대역의 주파수를 이용한 근거리 무선통신시스템 응용기술 동향", 한국전자통신연구원 전자통신동향분석, 제24권, 제6호, pp. 99-109, 2009.
- [3] 김대호, 임상규, 강태규, "LED 조명통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델", 정보와 통신, pp. 3-9, 2009.
- [4] T. Komine and M. Nakagawa, "Integrated system of white LED

visible-light communication and power-line communication", IEEE Trans. Consum. Electron, vol. 49, no. 1, pp. 71-79, 2003.

- [5] <http://www.bu.edu/smartlighting>
- [6] <http://www.uclight.ucr.edu>
- [7] 계광현, 손경락, "가시광 LED를 이용한 양방향 무선통신 시스템 연구", 한국마린엔지니어링학회지, 제34권, 제6호, pp. 852-857, 2010.
- [8] 김종원, 강태규, 정명애, "가시광 통신 표준 및 기술 동향," 정보통신연구진흥원 주간기술동향, 통권 1400호, pp. 1-11, 2009.
- [9] 신흥석, 최정석, 이경우, 박성범, 정대광, 이영민, 박진우, "무선가시광 통신을 위한 MAC Protocol에 대한 연구," 정보와 통신, pp. 30-35, 2009.
- [10] S. Corrigan, "Introduction to the controller area network (CAN)," SLOA 101 App. Report, Texas Inst, 2002.

저 자 소 개



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 - 2010년 현재 한국해양대학교 전자통신공학과(부교수). 관심분야: 광센서, 가시광 통신, 수중광통신