

LED를 이용한 가시광 무선 통신 링크

Visible Light Wireless Communication Link Using LEDs

손 용 환*, 안 성 찬*, 김 현 승*, 원 용 옥*, 한 상 국**

Yong Hwan Son*, Sung Chan An*, Hyun Seung Kim*, Yong Yuk Won*,
Sang Kook Han**

Abstract

In this paper, We propose the visible light communication(VLC) link based on white light emitting diode (LED) and Photo detector(PD). The proposed architecture is demonstrated experimentally and its performance is verified through the experimental results of quality-factor(Q-factor) and eye pattern of 10Mb/s PRBS signal. The ambient light effect from a typical type fluorescent lamp source was also analyzed. when the distance between the LED and the PD is about 1m, error free wireless transmission of the LED was achieved up to 10Mb/s data rate. Under the condition with ambient light, low BER, data transmission of the VLC link is achieved up to 5Mb/s data rate at 1m. Also, when the PD is placed away from the center, low BER data transmission of the VLC link is achieved up to 1Mb/s at 10cm and 10Mb/s at 5cm.

요 약

본 논문에서는 백색 LED와 PD를 이용하여 가시광 무선 통신 링크를 제안하였다. 제안된 구조는 Q-factor와 eye pattern을 이용하여 실험을 통해 그 특성을 분석하였다. 또한, 일반적으로 사용되는 조명용 형광등을 이용하여 간섭광 잡음 환경에 대한 송, 수신 특성을 분석하였다. LED와 PD 모듈간의 거리가 1m일 경우, 10Mb/s 까지 비트 오류 없이 전송 가능함을 알 수 있었으며, 간섭광 잡음 환경 하에서는 5Mb/s 까지 낮은 비트오율로 전송 가능함을 알 수 있었다. 또한, 수신기의 위치가 중심축으로부터 5cm 와 10cm 떨어진 거리에 위치해 있는 경우 각각 10Mb/s와 1Mb/s 의 데이터까지 낮은 비트오율로 전송 가능함을 알 수 있었다.

Key words : VLC, LED, PD, Q-factor, wireless communication link

1. 서론

최근 반도체 발광기술의 급속한 발전에 따라, 디스플레이, 조명, 의료 및 자동차 등의 분야에서 Light Emitting Diode(LED)의 적용이 확산 되고 있다. LED는 형광등에 함유되어있는 수은이 함유되어있지 않으므로 친환경적이며, 백열등에 비해 전기적 효율이 우수하고, 일반적인 조명과 비교해 소형, 고속 응답 속도, 긴 수명 및 저 전력 등의 장점이 있다[1]. 또한 LED는 신호에 대한 고속 응답 특징을 가짐으로써 조

명과 동시에 통신으로도 사용할 수 있을 뿐만 아니라 광대역 전송이 가능하다. 무선통신 방식 중 적외선 무선 통신, RF 무선통신 등은 전자파 간섭의 문제와 보안성이 취약한 단점이 있으며 주파수 사용의 제한이 있다[2]. LED를 이용한 가시광 무선 광통신은 빛을 이용하므로 인체에 무해하며, 시스템의 주파수 사용의 규제를 받지 않고 설치가 수월하며 송, 수신기의 구조가 단순하고 시각적으로 통신 상태를 알 수 있으므로 결과적으로 높은 보안성을 가진다[3]. 이러한 가시광 무선 통신은 가정, 사무실 및 거리의 가로등 조명을 LED로 대체할 경우 노트북 컴퓨터 및 휴대용 개인 정보통신기기의 무선통신에 적용할 수 있으며 최근 보편화 되어있는 LED 기반 교통신호등에 의해 신호등과 차량 간 상호 정보교환에 응용될 수 있다.

본 논문에서는 백색 LED 및 PD(Photo Detector)를

*연세대학교 전기전자공학과

★교신저자 (Corresponding author)

※본 연구는 '서울시 산학연 협력사업(NT080505)'의 지원으로 수행되었음

接受日:2009年12月10日,修正完了日: 2009年 12月 29日

이용하여 가시광 무선 광통신 링크를 구성하고 송신부인 LED와 수신부인 PD 사이의 거리에 따른 특성과 PD의 위치에 따른 송, 수신 성능을 eye-pattern 및 Q(Quality)-factor를 이용하여 분석하였다. LED를 이용한 가시광 무선 통신의 타당성을 검증하기 위해 하나의 LED를 이용하여 무선 광통신의 성능을 분석한 기존의 연구에 대해 가시광 무선 통신과 실내, 외 조명으로의 동시 사용을 위한 어레이 형태의 LED 송신모듈을 구성하여 그 특성을 분석하였다. 또한 모의 실험에 국한되어있는 PD의 위치에 따른 커버리지 영역에 대한 특성과 일반적인 조명환경 하에서 간섭광의 효과에 대한 가시광 무선 통신 링크의 성능을 실험적으로 분석하였다. 송, 수신부의 구조 및 구성비용을 최소화 하기 위해 필터, 집광렌즈 및 등화기 등을 송신 및 수신부에 추가로 구성하지 않고 데이터율과 송, 수신 거리 및 커버리지 영역의 확대에 대한 가시광 무선 통신 링크의 특성을 분석하고 구현하였다.

II. 가시광 무선 통신 링크

그림 1은 가시광 무선 통신 링크를 구성하기 위해 사용된 LED와 PD를 나타낸 것이다. 무선 통신을 위한 송신부의 광원으로는 조명으로도 사용이 가능한 백색 7×7 LED 모듈을 사용하였고, LED의 직경은 5mm이다. 발산각은 30°, 스펙트럼 선폭은 20nm, 밝기는 4500mcd, LED 사이의 간격은 0.5cm 이며 광출력은 125mW이다. 수신부의 PD는 GaAsP 기반의 평판형 PD로 유효검출영역은 98mm², 스펙트럼 응답파장범위는 190nm~680nm, 감광도는 0.17A/W 이다.

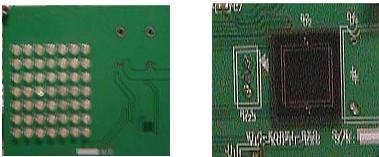


Fig. 1. 7×7 White LED array and PD module
그림 1. 7×7 백색 LED 어레이와 PD 모듈

가시광 무선 통신 링크에서 송신부로 사용된 LED와 인접한 LED 사이에서 방출되는 빛의 간섭에 대한 다중경로페이딩(multi-path fading) 효과는 크지 않으며, 또한 LED의 개수와 크기에 따른 송, 수신 거리는 광 경로(optical path)의 차이가 미미하여 큰 영향을 받지 않는다[4]. 그림 2는 가시광 무선 통신 링크의 실험도를 나타낸 것으로 PD의 수신 성능을 분석하기

위해 LED와 PD 사이의 거리는 10cm에서 100cm의 범위에서 측정하였다. 또한 회전 반경에 따른 PD의 성능 변화를 분석하기 위해 PD의 위치를 중심축으로부터 5cm에서 20cm의 범위에서 이동하여 측정하였다. 또한, 가시광 무선 통신 링크에서 간섭광(ambient light)에 의한 잡음 효과를 분석하기 위해 LED와 PD로 구성된 송, 수신 모듈 위쪽으로 실내에 설치되어 있는 일반적인 조명용 형광등 기구를 사용하였으며, 모듈과 형광등 기구 간의 거리는 1.8m 이다.

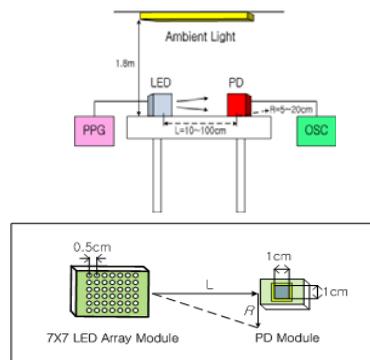


Fig. 2. Experimental setup for VLC link
그림 2. 가시광 무선 송, 수신 링크의 실험 구성

LED 모듈에 PPG(Pulse Pattern Generator)로부터 발생하는 1MHz~10MHz 범위의 구형파 펄스와 1Mb/s~10Mb/s 범위의 PRBS(Pseudorandom binary sequence) 패턴 신호를 입력하였다. 입력신호의 크기는 $1V_{P-P}$ 이다. 이 신호는 LED에 의해 빛으로 무선 전송되어 PD로 수신된다. PD로부터 수신된 신호는 오실로스코프로 펄스 신호의 파형과 PRBS 패턴 신호의 eye-diagram을 측정하고 Q-factor를 측정하여 그 성능을 분석하였다. 광 전송망에서의 Q-factor는 광 신호 레벨의 품질 척도를 나타내는 수신 신호에 대한 통계적 측정방식의 하나로써, 식 (1)에 나타낸 것처럼 펄스신호 '1'과 '0'에 대한 진폭의 변화를 측정하여 산출하며 전송매체상의 잡음, 광 증폭기상의 ASE (Amplified Spontaneous Emission) 잡음, 비선형광학효과, 편광 및 색분산 등과 같은 광 신호 왜곡 요인에 의해 발생하는 수신 성능에 대한 변화를 추정 가능한 인자이다[5].

$$Q = \frac{V - b_{off}}{\sigma_{off}} = \frac{b_{on} - V}{\sigma_{on}} \quad (1)$$

여기서, V 는 심볼 '1'에 대한 진폭이며 b_{on} , b_{off} 및

σ_{on} , σ_{off} 는 각각 심볼 '1' 과 '0'에 대한 가우시안 출력크기 및 그에 대한 변화량이며, 각 심볼에 대한 변화량의 값이 작을수록 Q 값이 커짐으로 비트오율(BER: Bit-error-rate)이 낮아지는 결과를 갖는다. 이는 수신기의 성능을 평가하기 위해 폭넓게 사용되는 값으로써 BER을 측정하기 위해 필요한 신호 대 잡음비(Signal-to-noise)와 관련된 값이다. 측정된 Q-factor의 값이 6일 때, 비트오율은 10^{-9} 과 같고, 4.93일 때 비트오율은 10^{-6} 이다[5]. 일반적인 무선 광통신 링크에서 낮은 비트오율에 대한 성능평가의 기준은 10^{-6} 이하이다[6].

III. 실험결과 및 분석

본 논문에서는 조명용 백색 LED와 PD를 이용하여 가시광 무선 통신 링크를 구현하고 무선 송, 수신 성능 및 그 특성을 Q-factor를 이용하여 분석하였다.

그림 3은 LED와 PD 모듈 간의 거리가 1m일 때, PPG로부터 발생된 1MHz에서 10MHz까지의 구형파 펄스를 LED로 입력하고 이를 무선 전송한 후 PD에 의해 수신된 파형을 나타낸 것이다. 그림의 결과로부터 10MHz까지의 신호 파형은 비교적 양호함을 알 수 있으며 간섭광이 존재하는 경우에 대한 수신 성능은 간섭광이 존재하지 않은 경우와 유사한 결과를 얻을 수 있다. 이는 입력 신호가 구형파 펄스 전송이고 또한, LED와 PD 모듈간의 거리가 멀지 않은 반면, 간섭광의 위치가 모듈과 인접해있지 않기 때문으로 판단된다. PD로부터 수신된 신호의 크기는 LED와 PD 모듈간의 거리에 따라 약 900mV~620mV의 범위를 나타내었으며 거리에 따른 신호의 크기는 감소되나 주파수의 변화에 따른 영향은 없었다.

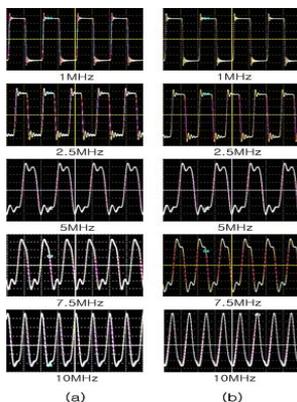


Fig. 3. Received Signal of PD versus frequency

- (a) without ambient light
- (b) with ambient light

그림 3. 주파수 변화에 따른 PD의 수신 신호

- (a) 간섭광이 존재하지 않을 때
- (b) 간섭광이 존재할 때

그림 4와 5는 LED와 PD 모듈간의 거리가 50cm 일 때, 그리고 10cm~100cm일 때 PPG로부터 발생된 5Mb/s와 10Mb/s의 PRBS 패턴 신호를 LED로 입력하고 이를 무선 전송한 후 간섭광이 존재할 때와 그렇지 않을 때 PD에 의해 수신된 eye pattern 및 Q-factor를 측정하여 나타낸 것이다. 그림 4의 결과로부터 10Mb/s까지 송, 수신 성능이 양호함을 알 수 있으며, 50cm까지의 거리에서는 간섭광의 잠음이 통신 성능에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

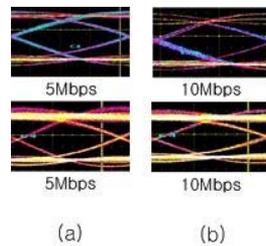


Fig. 4. Eye pattern of received signal versus data rate

- (a) without ambient light
- (b) with ambient light

그림 4. 데이터율에 따른 수신 신호의 eye pattern

- (a) 간섭광이 존재하지 않을 때
- (b) 간섭광이 존재할 때

그림 5의 결과로부터 LED와 PD 모듈간의 거리가 멀어질수록 Q-factor의 값이 감소함을 알 수 있으며, 모듈간의 거리가 1m일 경우 간섭광이 없을 때 10Mb/s 까지 낮은 비트오율로 전송 가능함을 알 수 있으나, 간섭광 존재 시, 무선 통신 링크에서 낮은 비트오율의 전송 기준인 $BER=10^{-6}$ ($Q\text{-factor}\cong 4.93$)에 대한 데이터 전송은 5Mb/s까지 전송 가능함을 알 수 있다. 또한 60cm 이후부터는 모듈간의 거리가 멀어질수록 간섭광이 존재하였을 때와 그렇지 않았을 때의 Q-factor 값의 차가 커짐으로 간섭광에 대한 잠음 효과가 커짐을 알 수 있다.

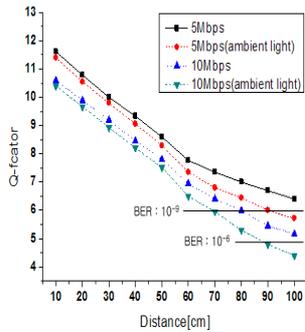


Fig. 5. Measured Q-factor versus distance between LED and PD

그림 5. LED와 PD의 거리 차에 따른 Q-factor의 변화

그림 6은 LED 모듈의 중심축으로부터 좌 또는 우측으로 PD의 위치가 이동하였을 때 수신된 신호의 Q-factor를 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림의 결과로부터 PD 모듈의 위치가 중심축으로부터 5cm 이동한 경우에는 10Mb/s 까지 낮은 비트오율로 전송 가능함을 알 수 있으나 10cm 이동한 경우에는 낮은 비트오율로 전송 가능한 데이터는 1Mb/s로 제한됨을 알 수 있으며, 그 이상의 거리에서는 데이터의 비트 오율이 커짐을 알 수 있다.

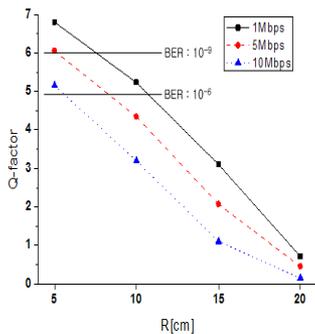


Fig. 6. Measured Q-factor versus position of PD
그림 6. PD의 위치에 따른 Q-factor의 변화

IV. 결론

본 논문에서는 백색 LED와 PD를 이용하여 가시광 무선 통신 링크를 제안하였다. 제안된 구조는 Q-factor와 eye pattern을 이용하여 실험을 통해 그

특성을 분석하였다. LED와 PD 모듈간의 거리와 위치에 따른 전송성능을 분석하였으며, 간섭광의 존재에 따른 잡음효과에 대해 그 특성을 분석하였다. LED와 PD 모듈간의 거리가 1m일 경우 간섭광이 없을 때 10Mb/s까지 낮은 비트오율로 전송 가능함을 알 수 있으나, 간섭광 존재 시 낮은 비트오율을 갖는 데이터 전송은 5Mb/s로 제한됨을 알 수 있었다. 또한, PD 모듈의 위치가 중심축으로부터 멀어질수록 Q-factor의 값이 작아지므로 전송데이터의 비트오율이 커져 신호의 오류가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 가시광 무선 통신 링크에서 LED와 PD간 전송거리와 위치에 대한 송, 수신 성능의 향상을 위해 수신 모듈에 LED로부터 전송되는 빛의 세기를 최대화하여 수신 할 수 있도록 집광 렌즈를 이용하거나 PD의 수광 성능 개선이 필요할 것으로 판단되며, 향후 간섭광의 잡음 효과를 보완할 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] C. P. Kno, R. M. Fletcher, T. D. Owentowski, M.C. Lardizabal and M. G. Craford, "High performance ALGaInP visible light-emitting diodes", *Applied Physics Lett.*, vol. 57, no. 27, pp. 2937-2939, 1990.
- [2] T. Komine and M. Nakagawa, "Integrated system of white LED visible-light communication and power-line communication", *IEEE Trans on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 1, pp. 71-79, 2003.
- [3] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, 2004.
- [4] J. Grubor, O.C. Gaete Jamett, J.W. Walewski, S. Randel, K.-D. Langer, "High-Speed Wireless Indoor Communication via Visible Light", ITG Fachbericht 193, pp. 193-200, 2006
- [5] G. Keiser, "Optical fiber communications", McGraw-Hill, 2000.
- [6] Hoa Le Minh, Dominic O'Brien, Grahame Faulkner, Lubin Zeng, Kyungwoo Lee, Daekwang Jung and YunJe Oh, "80 Mbit/s visible light communications using pre-equalized white LED", *ECOC*, vol. 5, pp.223-224, 2008

 저 자 소 개

손 용 환 (정회원)

1999년 : 호서대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 2001년 : 호서대학교 대학원 전자공과 (공학석사)
 2008년 : 호서대학교 대학원 전자공과 (공학박사)
 2008년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사 후 연구원
 <주관심분야> 가시광 무선통신, WDM 광통신, 집적광학

한 상 국 (정회원)

1986년 : 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1988년 : University of Florida (공학석사)
 1994년 : University of Florida (공학박사)
 1996년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수
 <주관심분야> Optical communication device & system, Microwave Photonics, Optical access networks

안 성 찬 (비회원)

2008년 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (공학사)
 2009년 현재: 연세대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정
 <주관심분야> 가시광통신, 광통신, 광네트워크

김 현 승 (비회원)

2007년 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (공학사)
 2009년 현재: 연세대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정
 <주관심분야> Radio over fiber, 가시광통신, optical OFDM, WDM-PON

원 용 욱 (정회원)

1997년 : 연세대학교 전파공학과 졸업 (공학사)
 1999년 : 연세대학교 대학원 전파공학과 (공학석사)
 2008년 : 연세대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)
 2008년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 연구교수

<주관심분야> Optical communication device & system, Microwave Photonics, Optical access networks