

다중 접속 가시광 통신을 위한 신호 검출 기법의 계인 조절

이선의*, 김진영*

Novel Gain Control Scheme of Efficient Signal Detection Technique for Multiple Access VLC Systems

Sun Yui Lee*, Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 LED(Light Emitting Diode)의 White 조명을 이용한 VLC(Visible Light Communication) 송·수신기를 구현하였다. 가시광 통신과 다양한 환경에서 고속 데이터 전송을 위한 무선 통신 방식의 차이점을 분석하였고 QAM 전송 기법을 이용하여 실제 채널을 통과한 심벌의 수신을 확인하였다. 그리고 가시광 통신의 높은 데이터 속도를 얻기 위해 실험을 통해서 고려해야 되는 변수를 찾았다. 또한 주파수 대역을 정하고 거리에 따른 송수신간의 최적의 계인을 찾았다. 효율적인 가시광 통신의 신호 전송 및 검출을 위하여 직교 시퀀스를 이용한 효율적인 신호 검출 기법의 성능을 랩뷰를 이용하여 보였다.

Key Words : Light Emitting Diode, Photo Diode, Visible Light Communication, Quadrature Amplitude Modulation, auto/cross correlation

ABSTRACT

In this paper, a transceiver of VLC (Visible Light Communication) using LED white lighting has been implemented. We analyzed differences between conventional wireless communication and VLC with high-speed data transmission in a variety of environments, and confirmed symbols which passed through a channel using QAM. In order to get a high data rate, we found some variables that should be considered essentially though experiments. In addition, we set a bandwidth and found an optimal gain according to the distance between transmitter and receiver. We analyzed proposed system model through Labview and finally showed a system performance and to efficient data transmission and detection for VLC, we apply the orthogonal sequences to VLC system.

I. 서론

최근 통신 시스템은 스몰셀을 구성하여 높아져만 가는 데이터 트래픽을 지원하려 하고 있다. 스몰셀안에서 많은 유저들이 충분한 데이터 서비스를 이용할 수 있기 위하여 빔포밍 기술 및 다중 접속 기술 등 다양한 방식이 제시되고 있다. 그러나 가시광 통신은 주파수 간섭이 없는 친환경적인 빛을 사용하기 때문에 LED가 사용되는 모든 곳에 스몰셀 기지국 역할을 수행할 수 있다[1]. 주변 셀과의 간섭도 빛의 직진하는 성질 때문에 스몰셀 구성에 유리한 장점을 가지고 있다. 또한 주파수 자원을 셀안에서 거의 무한정 이용할 수 있기 때

문에 유저에게 많은 주파수 대역을 할당하여 에너지 효율성을 증가시켜 단말기 사용 시간을 증가시킬 수 있다. 이와 같이 LED를 이용한 통신은 상용화에 상당히 접근하여 다양한 응용 분야를 적용하고 있다[2]. 그 중에서도 스몰셀의 다중 사용자를 지원하기 위하여 LED를 이용한 기지국에서 사용자 단말간의 주파수 분배를 시작하는 신호 검출이 중요하다. 본 논문에서는 다중 사용자를 지원하기 위하여 초기 단계에서 파워릿 신호를 받고 사용자에게 주파수 자원을 분배하는 과정에서 셀안의 사용자와 LED 기지국이 신호를 검출하기 위한 다양한 접근을 살펴본다.

* 본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년 중소기업 이천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2336045, 이기중 통신시스템 기반 친환경 스마트 조명 제어 기술 개발]

*광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실(sunyuil22@naver.com), (jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2016년 02월 18일, 수정완료일자 : 2016년 03월 23일, 최종 게재확정일자 : 2016년 03월 25일

II. 본론

그 동안 만들어진 가시광 통신 단말기는 고속의 데이터를 요구 하지 않아 무척 낮은 신호 반응 특성을 가져왔다[3]. 하지만 점점 요구되는 데이터 속도가 증가 하면서 가시광 통신 도 높은 속도가 필요해져 그에 맞는 소자의 사용이 필요하다.

전송을 위하여 주파수를 대역별로 출력해 낼 수 있는 USRP 2920을 이용하여 실험을 진행하였다. USRP 2920 장비는 전송과 송신이 동시에 수행가능하고 50mW~100mW의 출력의 신호를 50MHz~1.2GHz 대역에서 작동 가능하다. 실험을 위하여 50MHz 대역부터 대역을 증가 시켜 보면서 실제 가시광 실내 채널을 통과 시켜 결과를 얻는다.

그림 1은 실내에서 50cm 거리의 송수신 모듈을 구성한 것이다. 그림 2의 USRP 2920 장비와 연결하여 컴퓨터로 데이터 송수신을 수행하였다. 기존에 컴퓨터를 통한 데이터 송신을 위해서 시리얼 통신을 이용하는 경우가 많았는데 본 논문의 실험은 USRP장비를 통하여 캐리어 신호를 생성하여 높은 신호 응답 특성을 가지는 모듈을 실제 채널에 적용하여 결과를 얻는다.

완성한 모듈과 USRP 장비를 연결하기 위하여 매칭 회로를 구성한 입출력 단에 RF 동축 케이블 50Ω을 연결 하였다. 최대한 장비의 오작동을 방지하기 위하여 입출력 부분에도 동축 케이블 커넥터를 사용한다. USRP장비와 PC의 연결은 이더넷을 통하여 데이터를 주고받는다. 처음 최적의 파라미터를 찾기 위하여 대역을 50MHz에서 시작을 하였다. 또한 높은 데이터 전송 속도를 얻기 위하여 가시광 통신에 적합한 QAM 모듈레이션을 이용하여 16, 32, 64, 128, 256으로 높여 가면서 측정을 수행하였다[4]. 구성된 송수신 모듈은 100MHz 까지 앰프의 주파수 응답이 좋기 때문에 50~100MHz 대역을 먼저 사용하였다.

그 결과 50MHz에서 가장 QAM 모듈레이선의 신호가 가장 잘 보이는 것을 LabVIEW 환경에서 볼 수 있다[5]. 그림 3는 실제 신호가 송신되어 수신부로 받았을 시에 스펙트럼 특성을 나타낸 것이다.

USRP 2920을 통하여 16QAM으로 송신하기 위하여 그림 4의 창에 보이는 파라미터들을 개인을 제외하고 송수신부가 동일하게 한다. 전송 코드의 내용은 16QAM Symbol을 만들어 Symbol rate을250k/s으로 하고 시작하였다.

또 중요한 부분은 생성된 Symbol의 pulse shaping filter 인데 출력을 주는 파형의 부드러운 정도를 결정하게 된다. 이 필터로 인하여 출력으로 보내는 파형간의 판정을 더 어렵게 하지만 좀 더 옆으로 퍼진 파형이기 때문에 안테나 또는 실험에 사용한 LED, PD가 반응성능이 떨어질 경우 사용할 수 있다. 그림 6의 pulse shaping filter는 root raised cosine 필터를 사용하였고 기울기 값은 1을 가지고 필터 길이는 6으로 설정하여 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다.



그림 1. 송수신 모듈 실험구성.



그림 2. USRP 2920 장비.

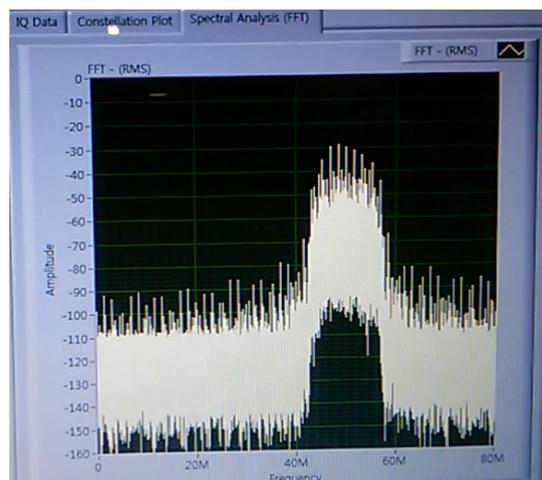


그림 3. 50MHz 대역의 스펙트럼 분석.

이로부터 사용한 송수신 모듈의 주파수 응답 특성이 50MHz~100MHz 구간에서 적합하여 심벌을 샤프한 파형으로 전송이 가능한 것을 확인했다. 그림 4의 오른쪽 constellation 그래프는 16QAM 심벌의 위상과 진폭 특성을 표시한 것이다. USRP 2920으로 계속 실시간으로 16QAM 심벌을 PN 코드를 통하여 생성하여 250k/s 속도로 송신모듈

로 전달한다. 또한 송신의 이득을 18dB로 설정한다. 처음 9dB부터 계속 출력을 증가 시켜본 결과 18dB에서 LED의 밝기가 높아 졌고 이후부터는 더 증가하지 않았다. 본 실험에 사용한 LED는 고휘도 밝기를 가지지만 배열로 배치할 경우 추가적인 이득을 기대할 수 있다. 하지만 현재 단계는 고정된 이득에서 가시광 통신에 변수가 되는 것을 찾고 최적의 파라미터를 정하는 실험이기 때문에 하나의 LED, PD로 실험하였다.

실시간으로 송신 파형을 변화 시키면서 수신 정도를 볼 수 있는 것은 constellation 그래프의 흰점은 심벌이 정해진 지점이고 Tx에서 점들이 모여 있는 16개 지점이 보내진 심벌의 오차 정도이다. 그리고 빨간색의 선들이 무수히 많이 그려지는데 이것은 심벌이 다른 심벌로 넘어가는 경로들을 그린 것이다. 이 실험을 통하여 실제 가시광 통신 채널에서의 16QAM 전송 방식을 사용했을 시의 최적 파라미터들을 찾을 수 있었다. 이를 이용하여 다중 사용자의 신호를 좀 더 효율적으로 검출하여 채널을 분배할 수 있는 시스템 모델을 제안하고자 한다.

III. 시스템 모델

이번 장에서는 가시광 통신 시스템의 시스템 모델과 본 논문에서 고려한 신호 검출 기법에 대해서 설명한다.

먼저 각 송신부는 랜덤한 bit를 생성한 후 각 시스템이 원하는 전송 data를 형성한다. 이 때, 보내고자 하는 frame에 직교 시퀀스를 삽입한다. 즉, 보내고자 하는 frame의 data frame과 control frame 사이에 직교 시퀀스를 삽입한다. 이 때, 삽입되는 직교 시퀀스는 시스템의 성능, 즉 데이터 속도 및 기타 성능을 크게 저하 시키지 않는 범위에서 직교 시퀀스의 크기가 결정된다. 그 후 각 data는 전송하고자 하는 Visible light channel에 알맞은 형태의 data로 치환된다. 수신부에서는 우선 시스템의 성능을 높이기 위하여, 본 논문에서는 송 수신단 사이에 발생하는 간섭은 실제 채널에서 찾아낸 파라미터를 찾아내어 오차를 최소화하여 시퀀스의 차이만을 가지고 실험하였다. 그 후, data를 복구하고 송신단에서 삽입된 직교 시퀀스를 이용하여 각 송신단의 신호를 검출한다. 본 논문에서는 실제 실험에서 사용한 50MHz 대역의 가시광 채널을 이용한 VLC AWGN (additive white Gaussian noise) 채널 모델을 이용하였으며, 채널을 통과한 직교 시퀀스가 삽입된 수신 신호 $r(n)$ 은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$r(n) = h'(n) \otimes x(n) + n(n), \quad (1)$$

여기서 $h'(n)$ 는 각 송신 데이터가 통과하는 채널을 나타내고, $x(n)$ 은 직교 시퀀스가 삽입된 송신 데이터를, 마지막으로 $n(n)$ 은 VLC AWGN를 나타낸다.

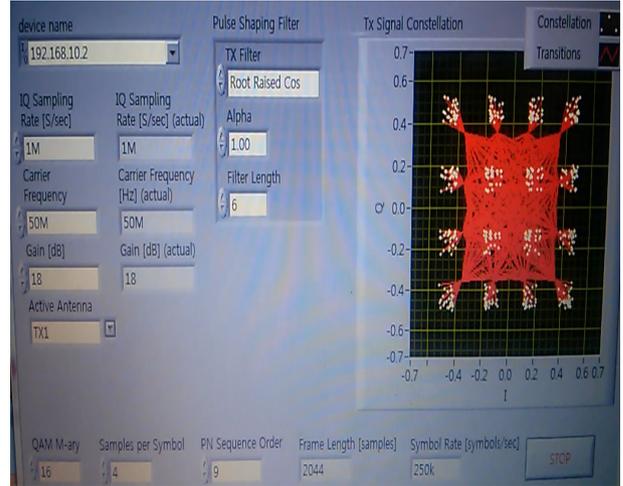


그림 4. LabVIEW 16QAM 전송.

수신단의 detection data frame 블록에서, 삽입된 원래의 직교 시퀀스를 이용한 자기 상관 함수를 이용한 log-likelihood 함수를 이용하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$L(S) = \ln p(r(n)) \quad (2)$$

여기서 $p(r(n))$ 은 수신신호의 PDF(power spectrum density)를 나타낸다.

위의 식 (2)로부터, 삽입된 직교 시퀀스를 이용한 다음과 같은 ML (maximum likelihood)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{S} &= \arg \left\{ \max_S L(S) \right\} \\ &= \arg \left\{ \max_S \sum_{n=0}^{i-1} \ln(p(r(n))) \right\} \\ &= \arg \left\{ \max_S \sum_{n=0}^{2i-1} r(n) w(\tau-n) \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $w(n)$ 은 송신부에서 삽입되었던 직교 시퀀스를 나타낸다. 최종적으로 삽입되었던 직교 시퀀스를 제거 한 후, 원래의 random bit로 변환 시킨다.

IV. 모의 실험 및 결과

본 논문에서 고려한 노이즈 모델은 백색 잡음 (AWGN, additive white Gaussian noise)으로 설정하였다. 또한 본 논문에서 사용한 직교 sequence로는 Kasami sequence, M-sequence, 그리고 PN sequence를 이용하였다. 각 sequence의 길이는 총 500 bit로, 각 100bit 씩 나누어서 5개의 data frame에 삽입하였다. 수신단에서는 5개의 프레임을 수신한 후 각 프레임의 직교시퀀스를 추출하여 자기 상관 함

수를 이용해 송신 신호를 추출한다. 그림 5은 PN sequence를 이용한 수신단의 신호 검출 성능이다. 신호 검출 성능은 자기 상관 값으로 표현된다. 그림 8의 PN sequence의 경우, 자기 상관 peak와 주위의 side-lobe 값의 차이가 심하지 않다. 즉, 다시말해, main peak에 비해 side-lobe 값 또한 많이 커서, 효율적인 신호 검출이 이루어지지 않을 수 있다.

표 1. 모의 실험 파라미터

| Parameters | Value |
|---------------------|--|
| Orthogonal sequence | Kasami sequence, M-sequence, PN sequence |
| Sequence length | 500 |
| Noise model | AWGN |
| Receive gain | 3 dB |
| Transmit gain | 18 dB |

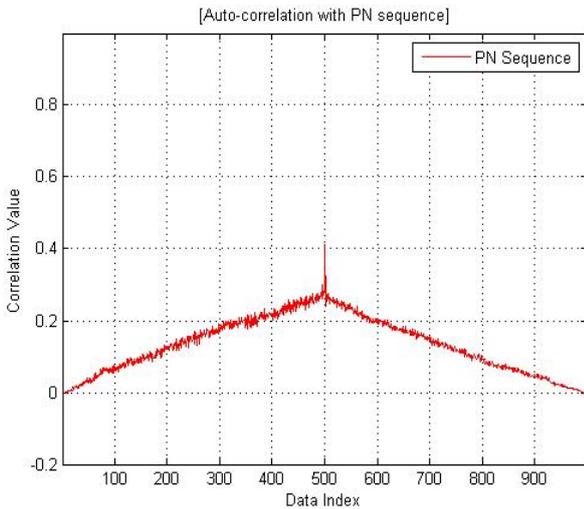


그림 5. PN sequence를 이용한 신호 검출 성능.

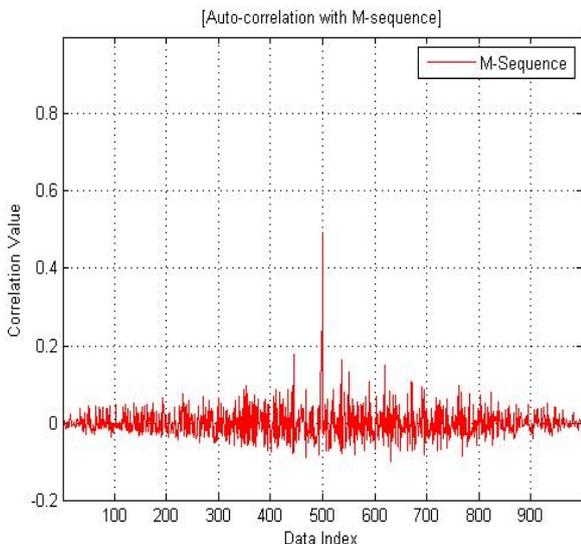


그림 6. M-sequence를 이용한 신호 검출 성능.

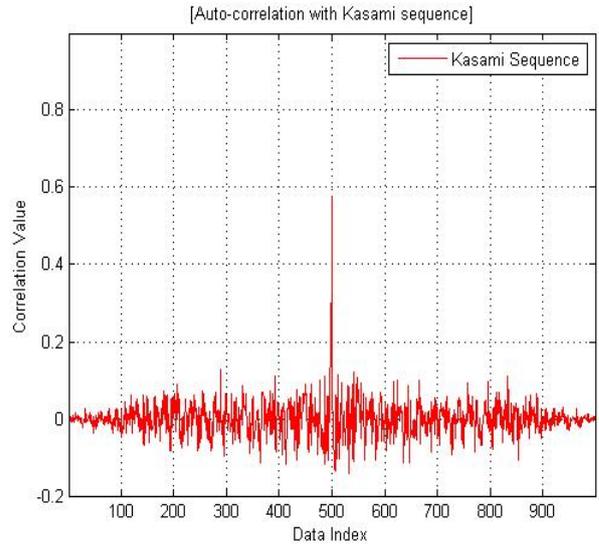


그림 7. Kasami sequence를 이용한 신호 검출 성능.

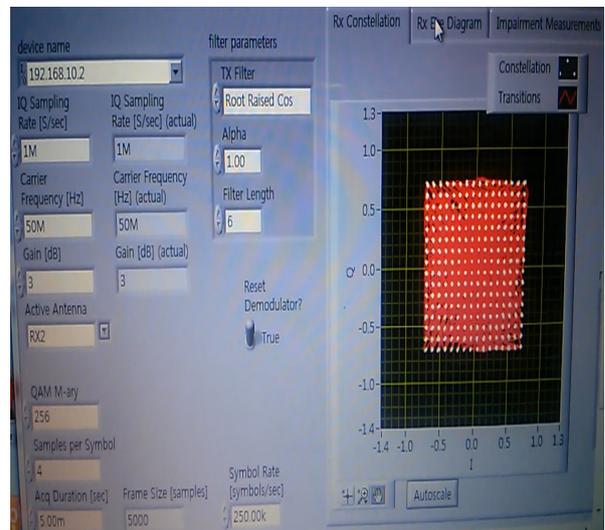


그림 8. Kasami sequence 256QAM 송신파워 18dB 수신.

이러한 단점을 해결하기 위해 그림 6와 그림 7은 M-sequence와 Kasami sequence를 이용한 신호 검출 성능을 보여준다. 실험 환경은 그림 5과 동일하다. 그림 6와 7에서 보이듯이, main peak 값이 0.5를 상회하는 성능을 보일 뿐만 아니라, main peak와 side-lobe의 차이도 상당히 큰 것을 알 수 있다.

QAM 신호의 검출 성능을 증가시키기 위하여 위 시퀀스를 적용하여 실제 신호가 검출되는 것을 램프를 통하여 확인하였다. Kasami sequence를 적용하여 QAM 신호가 검출되는 성능을 실제 가시광 통신 채널을 통하여 확인하였다. 최대 전송 속도를 알아보기 위하여 그림 8은 256QAM으로 송신을 실행한 것이다. 본 환경에서 점들의 간격이 굉장히 좁은 만큼 판정에 어려움이 생길 것으로 예상 되었지만 실험 결과 Kasami sequence를 이용하여 정확하게 각 심벌들을 판정한 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 고속 데이터 통신을 위하여 고려해야 되는 변수들을 찾아보았다. 고속의 데이터 전송에 반응 할 수 있는 송수신 모듈을 만들어서 LabVIEW USRP 2920 장비를 이용하여 주파수 대역과 계인을 변화시켜 최적의 포인트를 찾아내었다. 거리와 주파수 대역, 송수신 계인은 가시광 통신의 중요한 변수 인 것으로 보인다. 실험 결과를 통해서 최적의 계인을 찾아 전송하면 높은 성능의 전송이 가능하다. 원치 않는 가시광 대역의 신호는 필터를 통해서 차폐 할 수 있으므로 가시광 통신을 이용한 높은 전송속도를 얻을 수 있다. 또한 앞으로 무선 통신의 마이크로 셀이 큰 이슈가 되는데 본 논문의 실험으로 가시광 셀을 구현했을 시에 각 단말기의 동시 서비스를 위해서 신호 검출 성능을 증가시키기 위하여 각 Sequence의 검출 성능을 분석하였다. LED 스몰셀 내에서 다중 가시광 통신 사용자들의 초기 신호 검출의 성능을 증가시켜 가시광 통신의 응답시간을 줄였다.

참 고 문 헌

- [1] 김진영, LED 가시광 통신시스템, 홍릉과학출판사, 2009.
- [2] IEEE 802.15 Working Group for WPAN.
<http://ieee802.org/15/index.html>
- [3] Kaiyun Cui, Gang Chen, Zhengyuan Xu, and Richard D.Roberts, "Line-of-sight Visible Light Communication System Design and Demonstration", Proc. of Communication Systems Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), 2010 7th International Symposium on, pp.621 - 625, 2010.
- [4] Beril Inan, "Impact of the Light Emitting Diode Nonlinearity on Visible-Light Wireless Communication With Discrete Multitone Modulation", Optical Communications and Networking, IEEE/OSA Journal of, pp. 439 - 451, 2009.
- [5] National Instruments. <http://www.ni.com>

저자

이 선 의(Sun Yui Lee)



- 2013년 2월 : 광운대학교 전과공학과 졸업
- 2013년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전과공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 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