

광무선통신 시스템의 송수신기 구현

이선의*, 김진영*

Implementation of Transceiver for Optical Wireless Communication System

Sun Yui Lee* and Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 LED(Light Emitting Diode)의 White 조명을 이용한 VLC(Visible Light Communication) 송·수신기를 구현하였다. LED의 송신파형과 PD의 수신파형을 VLC 데이터를 복원하기 위하여 분석하였다. 가시광 무선 통신 시스템의 가능성을 보이기 위해서 오디오 신호를 성공적으로 전송하였고, 아두이노, 랩뷰, RS232 직렬 포트를 사용하여 이미지 데이터를 송수신 하는 시스템을 만들었다. 다양한 모듈레이션 기법들의 성능을 다양한 채널 조건에서 평가와 비교를 해 보았다.

Key Words : Light Emitting Diode, Photo Diode, Visible Light Communication,

ABSTRACT

In this paper, a transceiver of VLC (Visible Light Communication) using LED white lighting has been implemented. The transmitted waveforms of LED and PD (Photo Diode) of the received signal are analyze to restore VLC data. Audio signal was successfully transmitted to demonstrate possibility and potential of optical wireless communication systems. Various modulation formats are considered to evaluate and compare performance in diverse channel conditions.

I. 서론

IT 기술의 발전으로 오늘날 누구나 통신기기를 이용하고 다양한 서비스를 원하고 있다. 하지만 무선자원의 한정성과 소비자의 더 많은 데이터 소비로 인해 많은 고속 전송기술이 연구 되어져 왔다. 그 중에서 LED 조명을 이용한 가시광 통신 기술은 조명이 있는 곳 어디서나 무선 통신을 할 수 있게 해주어 활발한 연구가 진행 되고 있다. 가시광 통신이란 눈에 보이는 빛을 이용하여 LED를 점멸시켜 데이터를 전송하는 방식이다 [1]. 최초의 LED(Light Emitting Diode)가 개발된 이후 LED는 전자기기의 전원 상태를 표시하거나 장비의 동작 상태를 표시하는 간단한 기능만을 제공해 왔다. 하지만 청색 LED가 개발되면서 LED는 기존의 적색과 녹색 LED와 함께 빛의 3원색을 모두 가지게 되어 총천연색 표현이 가능해지기 시작했다. 1993년 이러한 청색 LED의 개발은 LED의 가치 증대에 불을 지폈다. 이후로 1996년에 청색 LED에 노란색 형광체를 사용하여 백색 LED가 등장하게 되고, LED를 이용한 Full-color LED 전광판, LED 교통신호등, LED 간판,

LCD BLU(Back Light Unit)에 이르기까지 다양한 응용이 생겨나기 시작했다 [2].

이러한 LED를 이용한 가시광 통신 기술은 LED의 성능이 급격하게 증가하면서 새롭게 관심을 가지게 되었고, 특히 LED를 이용한 조명기술이 발전되고 보급이 점차 확대되면서 LED 조명과 융합한 가시광 무선통신 기술로 다시금 주목 받기 시작했다. 본 논문에서는 LED를 이용한 송신단과 PD를 이용한 수신단의 수신파형을 분석하고 이를 이용한 가시광 통신 구현의 접근 방법을 소개한다. Audio 음성을 증폭하여 아날로그 신호를 LED를 통하여 눈에 보이지 않게 점멸시키고 PD를 통한 수신단에서 음성 신호를 복원하여 스피커로 출력 시켜본다. 또한 OOK 방식으로 아두이노(Arduino) 보드를 이용하여 텍스트 파일을 송수신 해본다. 더 높은 데이터 전송 속도를 구현하기 위하여 전송방식을 OOK보다 가시광 통신방식에 적합한 QAM 기법을 사용할 수 있는 랩뷰(LabVIEW) 시스템으로 이미지 파일을 이진 데이터로 분할시켜 16QAM 모듈레이션 방식으로 전송하고 수신단에서 다시 이진데이터를 복원하고 이미지파일로 표시하는 시스템을

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2012-0007025) 광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 (*mesunny777@gmail.com), (*yoonhyun@kw.ac.kr), (*jinyoung@kw.ac.kr) 접수일자 : 2013년 2월 19일, 수정완료일자 : 2013년 2월 28일, 최종 게재확정일자 : 2013년 3월 8일

구성하였다.

II. 가시광 통신 송수신 설계

1. 무선 오디오 전송 단말기

반도체 소자인 LED는 전류를 흘리면 소자에 해당하는 빛을 발생 시킨다. 이때 그 빛은 파장이 가시광영역인 400nm에서 700nm을 말한다. LED에 전류를 흘려 데이터를 전송시키면 수신단인 PD에서 그 빛을 받아서 다시 전류로 바꾸어 준다. 이때 LED의 파장과 PD의 파장 감도가 비슷해야 데이터를 수신할 수 있다. 본 논문의 실험에서는 가시광의 파위가 약 550nm에서 가장 강한 PD와 고효율 LED를 사용하였다 [3]. 회로 구성에는 증폭기 설계를 통해서 오디오 신호를 신호 증폭기를 통해서 1차 증폭 시키고 높은 파워로 전송을 위해서 강한 오디오 증폭기를 통해서 LED로 전달한다. LED의 빛이 오디오 신호를 무선으로 전송하고 수신단의 PD에서 빛을 오디오 신호로 복원하고 신호 증폭기로 전송한다. 오디오 신호를 증폭하기 위해서 오디오 증폭기를 통해 스피커로 전달한다. 그림 1은 본 논문에서 사용한 PD와 LED의 전달 특성을 나타낸 오실로스코프 그림이다. PD는 Vishay사의 TEPT5700과 LED는 Cree사의 XLamp White를 사용하였다. 신호의 세기를 높이기 위하여 LED의 전용 렌즈를 장착하였고 PD에 반사경을 사용하였다. LED에 신호발생기를 이용하여 5Vpp, 1KHz의 신호를 가하였고 50cm 거리에서 PD의 신호 복원 상태를 연구하였다. 다음과 같은 주파수에서는 사각펄스를 거의 완전하게 복원하는 것을 볼 수 있었다. 첫 번째 파형이 PD에서 복원한 파형이고 두 번째 파형은 신호발생기에서 발생시킨 원본 파형이다.

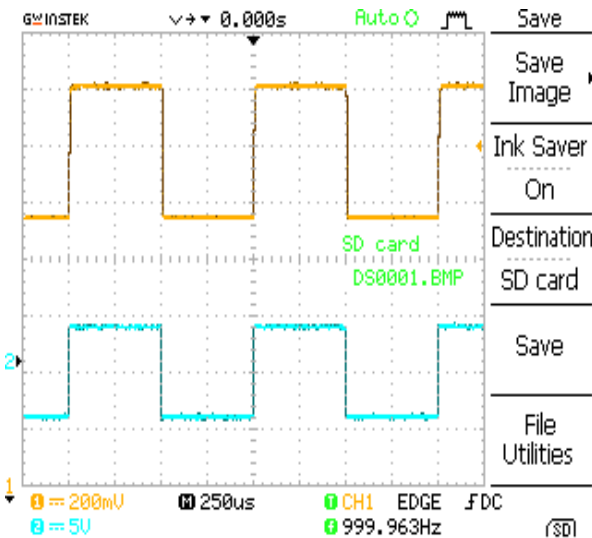


그림 1. 1KHz일때 PD의 응답특성

다음 실험으로 주파수를 높여서 실험을 계속한 결과 그림 2를 보면 10KHz부터 조금씩 PD의 신호응답특성이 따라가지 못함을 알 수 있다. 오디오 신호를 전선이 아닌 무선 채널을 통하여 전송하기 위해서 LED와 PD로 구성된 회로를 제작 하였다.

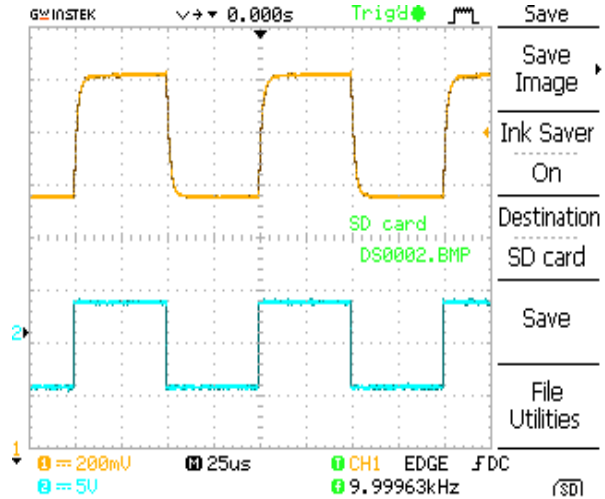


그림 2. 10KHz일때 PD의 응답특성

그림 1을 보면 음성 입력에서 오디오 신호를 입력 받고 증폭기를 통해 신호의 세기를 증폭하고 그 증폭된 신호를 문턱 전압을 넘어서 빛을 발하고 있는 LED로 보낸다. 직접 증폭된 신호를 넣지 않고 일정한 전압을 걸어준 LED에 넣는 이유는 문턱 전압을 넘는데 딜레이가 발생하여 고속전송에 문제가 발생하기 때문이다 [4]. 그리고 LED에서 데이터가 무선 채널을 통하여 방사 되면 그 빛을 PD에서 다시 전류로 바꾸어 준다. 이때 LED의 빛의 방사 패턴은 중심에서 가장 강하기 때문에 서로 각도가 point-to-point 가 아닐 경우 신호의 세기가 약해 질 수 있다. 그래서 송신 LED에는 빛의 조사 면적을 좁히게 반사경을 달아 주고, 수신 PD에서는 렌즈를 통해서 PD에 오는 빛을 모아서 더 강한 신호를 얻을 수 있다. 그림 3은 무선 오디오 전송 단말기의 구성도이다. 오디오 신호 차체를 LED에 실어 무선채널을 통과 시키고 PD를 통하여 복원하여 오디오로 음성을 듣는 구성으로 되어 있다. 그림 4 와 5는 직접 구성한 무선 가시광 오디오 전송 회로도이다. 그림에서 보는 바와 같이 OP 앰프와 트랜지스터 앰프를 설계하여 LED를 통하여 무선 오디오 신호를 전송하고 PD를 통하여 무선 오디오 신호를 복원하여 음악을 수신하는 시스템 구성이다. 실제 구동을 하여 실험한 결과 50cm에서 실험한 오실로스코프의 그림과 같이 짧은 거리에서는 거의 잡음이 없이 높은 음량의 음악을 듣는 것이 가능 하였다. 하지만 거리가 멀어질수록 PD 출력으로 복원해야 하는데 1.5M 이상 떨어졌을 시에는 앰프자체의 노이즈가 발생하여 더 높여도 소리를 깨끗하게 복원하기는 어려움이 있었다. 하지만 오실리스코프로 관찰해 보면 신호가 형태는 거의 원본과 동일하게 나오는 것을 관찰해 낼 수 있었다.

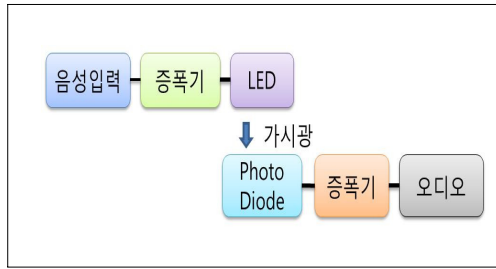


그림 3. 단말기 구성도

(발광부)

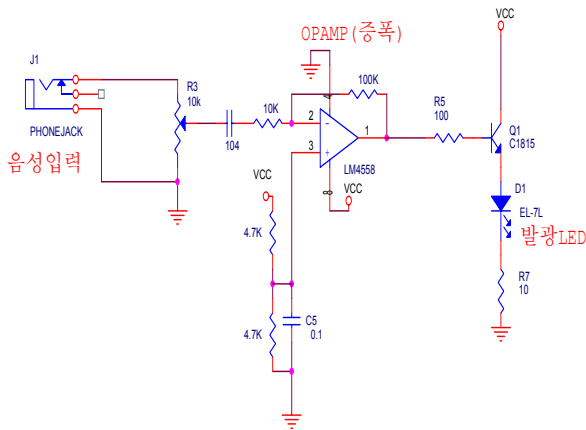


그림 4. 무선 오디오 발광부 회로도

(수광부)

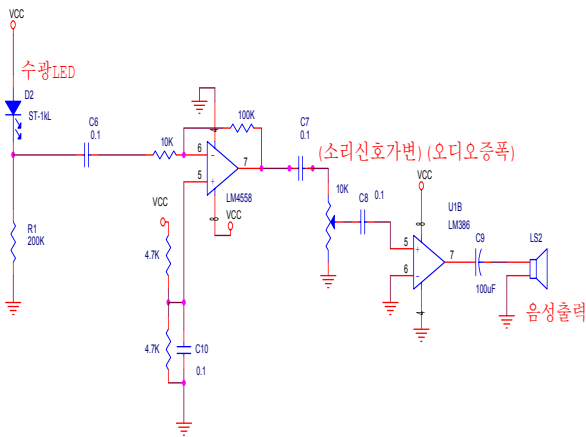


그림 5. 무선 오디오 수광부 회로도.

그림 6은 설계한 가시광 무선 전송 단말기 신호와 수신부의 복원된 오디오 신호의 파형을 오실로스코프로 비교한 것이다. 반전 앰프를 통과한 신호로 원본과 반대로 반전된 아날로그 신호를 볼 수 있다. 신호의 주파수 대역이 1KHz 전후로 계속 변하지만 PD의 신호응답특성 영역안에 위치하여 무리없이 복원이 가능함을 볼 수 있다. 이를 바탕으로 신호 응답 특성이 더욱 빠른 PD를 사용하면 높은 주파수 대역의 아날로그 신호도 복원이 가능함을 알 수 있다. 따라서 OOK 뿐만 아니라 다른 모뎀레이션 방법도 충분히 사용이 가능함을 알 수 있었다.

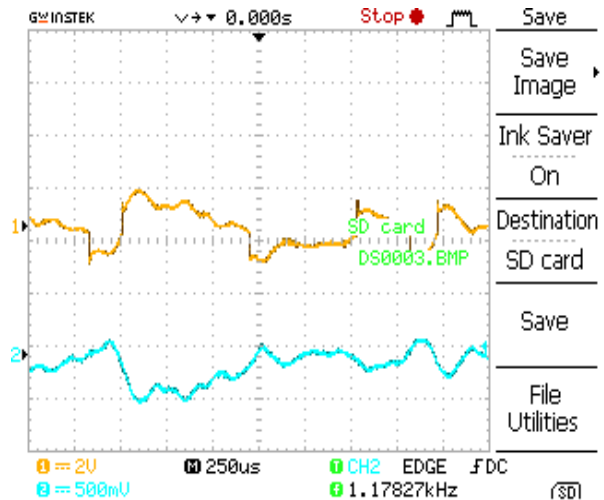


그림 6. PD를 통하여 복원한 오디오 신호.

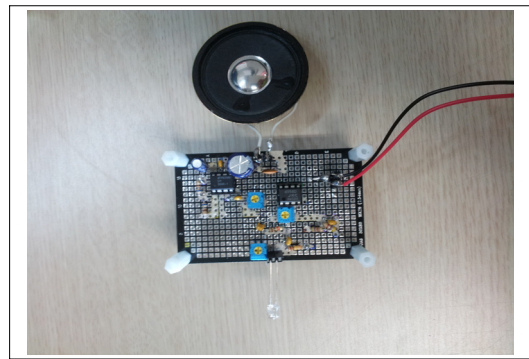


그림 7. 오디오 수신부.

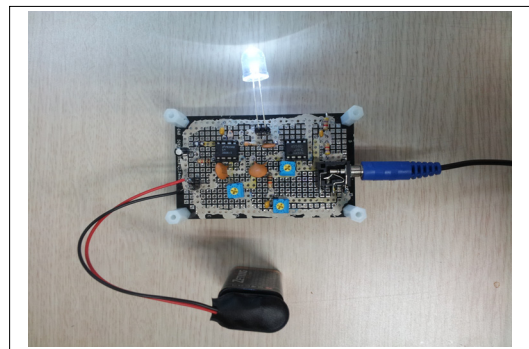


그림 8. 오디오 송신부.

2. 아두이노를 이용한 텍스트 전송

랩뷰를 통하여 아두이노를 제어해 텍스트 이진데이터로 변환하고 이를 오로지 디지털 시그널 출력으로 전송하고 디지털 입력으로 받아서 원본 데이터를 복원하는 연구를 하였다 [5]. 먼저 랩뷰의 아두이노 설정을 하고 사용할 보드 종류와 입력 방식 그리고 입력데이터를 넣어줄 시리얼 통신 속도를 설정한다. 랩뷰를 이용한 코딩 방법은 그래픽 기반의 프로그램 언어이기 때문에 실제 다이어그램 구조를 그대로 옮기는 것과 같다. 그래서 해당하는 입력과 출력을 설정하고

그 데이터의 흐름이 거치는 함수에 해당하는 그림을 가져와 데이터를 연결해 주는 것으로 코딩을 해준다. 그림 9는 아두이노를 이용한 텍스트 전송 알고리즘의 흐름을 나타낸 것이다. 랩뷰에 사용한 코딩과 일치한다. 내부의 함수의 설정 값은 현재 실내 빛이 들어오면 그 값을 H라 하면 $H/2+35$ 값을 현재 센터값으로 잡고 알고리즘을 시작한다. 아두이노의 아날로그 입력단은 값을 0부터 1024로 나누어서 전송 받기 때문에 시작값을 설정하는 것이다. 그림 10과 11은 각각 송신부와 수신부를 구성하는 랩뷰의 그래픽 코드이다. 실제 작동 결과 텍스트 파일을 배열에 담아서 송신하고 복원하는데 걸리는 시간은 1.5Kbyte 텍스트 파일을 약 10 동안 전송하여 1.2Kbps 속도를 보였다.

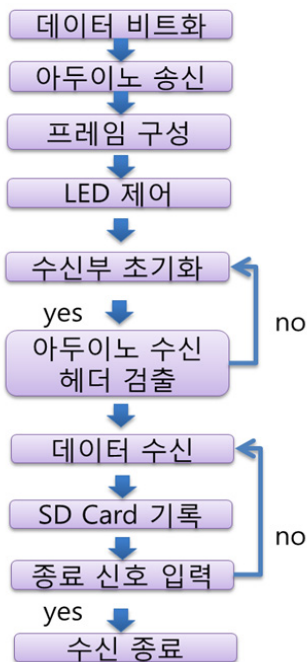


그림 9. 아두이노 텍스트 파일 전송 알고리즘.

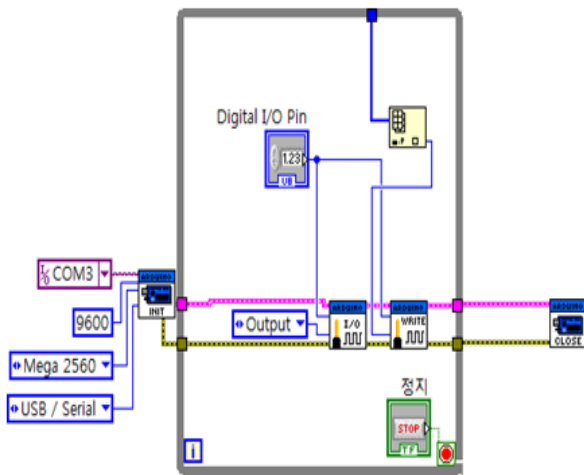


그림 10. 아두이노 송신부

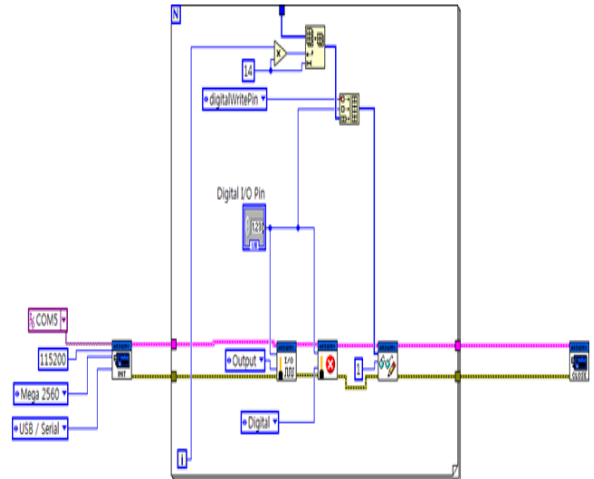


그림 11. 아두이노 수신부

아두이노 보드의 컴퓨터와의 데이터 송수신 자체는 시리얼 통신이기 때문에 115.2Kbps 속도가 한계이지만 실제 우리가 파일을 가시광으로 전송시켜보니 보드의 최대 점멸속도가 시리얼 통신 속도를 따라가지 못하였다 [6]. 따라서 보드를 통한 OOK 전송 방식은 속도의 한계가 있는 것으로 결론을 내렸다. 이 속도는 PD의 최대 신호응답특성이 10KHz에 못 미치는 속도이기 때문에 데이터 전송 효율이 낮은 것을 알 수 있었다. 또한 거리가 멀어져서 생기는 멀티 패스로 인한 빛의 간섭을 고려하지 않았기 때문에 실제로는 실내에서 최대 2M 이상 작동해야 실질적인 가치가 있다.

3. 시리얼 포트를 이용한 텍스트 전송

다양한 논문에서 가시광 통신의 가능성을 확인하기 위하여 시리얼 데이터를 송수신하는 RS232 포트를 통하여 가시광 통신을 구현하였다. 본 논문에서도 실험적인 데이터를 얻기 위하여 RS232포트를 통한 가시광 통신 구현을 다루어 보았다. 원리는 가시광 LED에 앰프로 증폭된 시리얼 신호를 흘리면 수신부의 PD에서 시리얼 신호를 복원한다. 이 시리얼 신호는 PD의 신호응답특성 범위에 있기 때문에 구현에 적합하다. 그림 12는 실험에 사용한 RS232포트를 사용한 인터페이스 회로도이다. 포트는 총 9개의 핀으로 이루어져 있고 RS232 인터페이스 신호는 Tx 3, Rx 2, GND 5 총 3개의 핀만을 사용한다. MAX232 인터페이스 칩을 통과하면 컴퓨터에서 출력된 COM1 포트의 신호가 5V의 TTL 신호로 변화 되어 LED가 연결되어 있는 앰프로 전달이 된다. 수신단에서도 마찬가지로 PD에서 신호를 복원하고 다시 증폭을 한 후 MAX232 칩의 Rx로 전송이 되고 컴퓨터가 신호를 받게 된다. 그림 13은 시리얼 통신을 통해서 COM1 포트에 신호를 수신 받는 통신속도 조절 인터페이스 모습이다. 속도를 높이기 위해서는 시리얼 통신은 Tx와 Rx의 페어쌍으로 총 4개의 선을 이용하여 오류를 줄여 RS422 인터페이스로 전환하여 10M이상의 데이터 속도를 구현한다. 하지만 RS422 인

터페이스는 송수신단이 각각 두 개로 이루어져 있고 신호가 서로 반전된 상태로 흘러가 오르는 줄이는 방식이기 때문에 구현을 위해서는 LED와 PD를 수신단 1번 파장과 수신단 2번 파장을 서로 다르게 해서 간섭이 적게 해서 보내야 하기 때문에 서로 다른 색의 LED를 사용해야 하는 어려움이 있다 [7]. 이는 시각적으로 문제가 된다.

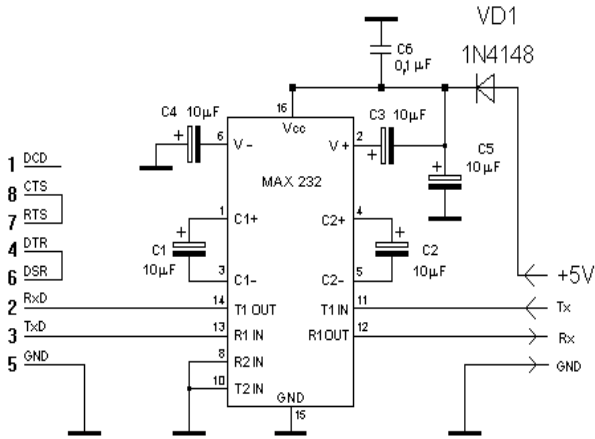


그림 12. RS232 인터페이스 회로도.



그림 13. RS232 데이터 수신 인터페이스.

4. 랩뷰를 이용한 QAM 방식의 가시광 통신구현.

위 실험에서 랩뷰로 제어된 아두이노 보드로 OOK 방식으로 데이터를 송수신한 것을 보였다. 랩뷰를 이용하여 QAM 방식으로 이미지 데이터를 송수신한 방식을 보인다 [8]. 먼저 랩뷰를 이용하여 시스템을 작동시킬 블록다이어그램을 그린다. 현재 입력으로 넣을 이미지를 파일을 불러올 입력으로 만들고 다시 이미지 파일을 이진데이터로 배열에 작성하게 구성하고 만들어진 이진데이터를 3차원 배열에 정리하고 QAM 모듈방식에 전송한다. 이때 앞에 실험에서 PD의 신호 응답특성이 10KHz에서 정확하였고, 500KHz까지 사인 파형을 복원을 한다. 랩뷰 코딩에서 QAM 수치를 센터 주파수를 300KHz로 잡고 16QAM 방식으로 데이터를 송수신하였다. 랩뷰를 이용한 통신 방식 코딩은 대단히 직관적이라 데이터의 흐름을 직접 보면서 확인을 할 수 있는 것이 장점이다. 시

스템의 흐름은 앞에서 3차원 배열에 담은 이진데이터를 16QAM 모듈레이션 코드가 받아서 4개씩 짝고 가드 비트를 넣고 심벌을 만들어 AWGN 채널로 전송한다. 수신부에서 받은 심벌을 판정하고 비트로 바꾸어 다시 3차원 배열로 담는다. 그런 후에 다시 이미지 복원 코드로 전송하여 이미지를 출력한다. 이 모든 데이터의 흐름을 천천히 관찰하면서 통신 시스템의 흐름을 관찰 할 수 있고 우리는 LED와 PD를 사용하기 때문에 이 심벌을 관찰할 때 파형의 위쪽 마루만을 사용한다. 전송파형의 세기는 50cm 기준을 삼고 위의 실험에서 보았듯이 이 간격에서는 신호를 PD가 잘 복원해 내는 것을 이용하여 실험을 진행하였다. 각 신호가 비트를 표현하고 있고 비트는 한비트의 가드 비트로 나누어져 있다. 랩뷰를 통한 설명은 핵심 코드 다이어그램을 이용하여 설명하겠다. 채널을 통과한 후 필터는 라이즈 코사인 필터를 사용하였고, 전체 코드는 ms 단위로 동작한다. 그림 14는 Tx 부분의 소스 코드이고 그림 15는 Rx 부분의 소스 코드이다.

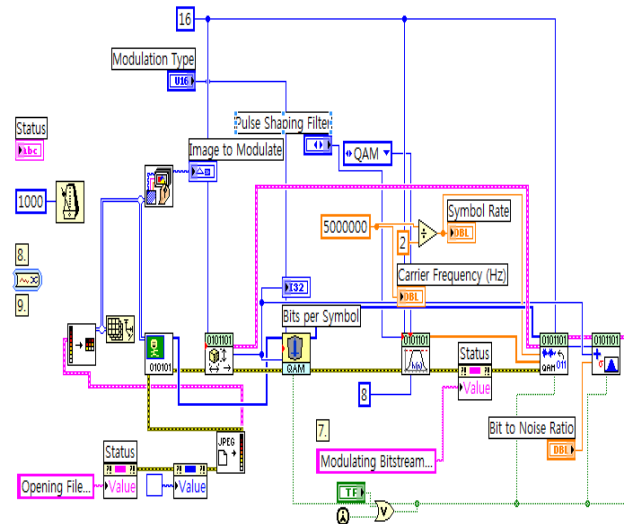


그림 14. 랩뷰 16QAM 송신부.

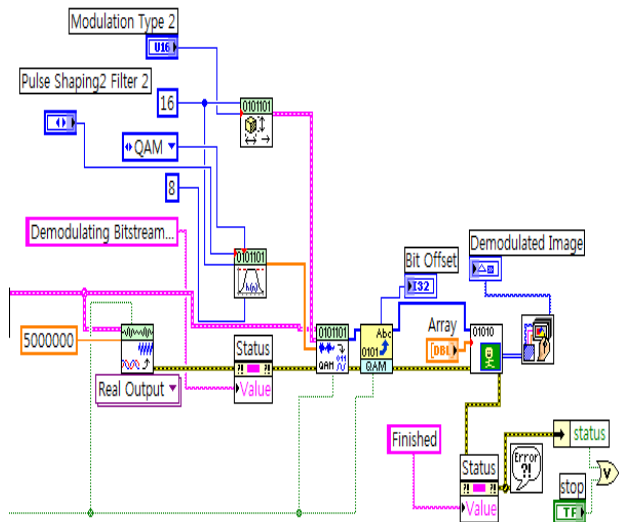


그림 15. 랩뷰 16QAM 수신부.

실제 랩뷰를 통하여 시뮬레이션 한 결과 650KB 이미지를 전송하는데 7초가 걸려 850Kbps의 전송속도가 나온 것을 볼 수 있었다. 이는 사용한 PD의 신호응답속도가 MHz단위를 넘어가면 복원이 힘들기 때문에 KHz 단위에 맞추어 시뮬레이션 한 결과 실제 데이터 전송속도가 많이 나오지 않는 것을 알게 되었다.

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 가시광 통신을 구현하는 많은 방법에 대하여 연구하였다. 현재까지 가시광통신은 LED의 점멸만으로 즉 OOK 방식으로 전송한다고 많이 알고 있지만 실제 데이터 전송속도를 높이기 위해서는 좀더 빠른 모듈레이션 기법을 사용할 필요가 있다는 것을 보였다. 실제로 현재까지 나온 논문들은 OOK로 라인코딩기법을 효율적이게 하는 부분에 대해서 많이 다루어 다른 방식의 모듈레이션 방법을 다양하게 다루고자 하였다. 그래서 가시광 통신을 QAM 방식과 아날로그 시그널의 직접 전송으로 시도를 해보았다. 결과적으로 다른 방식으로 시도한 것보다 높은 데이터 전송속도를 얻을 수 있었다. 좀더 가시광통신이 사용자의 적합한 거리에서 높은 데이터 전송속도를 얻을 수 있다면 사용자에게 필요한 서비스를 제공할 수 있을 것이다. 앞으로는 5G를 가는 길목에서 모바일 셀의 크기를 좀더 작게 많이 만들고 안테나 빔포밍 기술을 이용하여 샤프한 빔을 여러 각도로 방사하여 사용자에게 빠른 데이터를 제공하는 것이 이슈인데 건물 내부에서 많은 조명을 이용하여 가시광 셀을 구성한다면 새로운 모바일 셀 기지국의 설치비용을 절약하고 조명인프라를 이용하는 일석이조의 효과를 얻을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 산학협동재단 연구비 지원에 의한 결과임.

참 고 문 헌

[1] 김진영, LED 가시광 통신시스템, 홍릉과학출판사, 2009.
 [2] 황명근, LED 조명 산업 기술 동향, LED 조명산업과 통신 산업 융합 가시광 무선통신 표준 기술 워크숍, pp.21-36 2007. 12. 18.
 [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] Michael Margolis, Arduino Cookbook, O'REILLY, 2011.
 [6] IEEE 802.15 Working Group for WPAN. <http://ieee802.org/15/index.html>
 [7] J. K. Sheu, S. J. Chang, C. H. Kuo, Y. K. Su, Senior Member, IEEE, L. W. Wu, Y. C. Lin, W. C. Lai, J. M. Tsai, G. C. Chi, and R. K. Wu, "White-Light Emission From Near UV InGaN - GaN LED Chip Precoated With Blue/Green/Red Phosphors", Proc. of Photonics Technology Letters, IEEE , pp. 18 - 20, 2003.
 [8] National Instruments. <http://www.ni.com>

저자

이 선 의(Sun Yui Lee)



- 2013년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
- 2013년 2월~현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

김 진 영(Jin Young Kim)

중신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크연구소 책임연구원
- 2001년 3월~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신