

# LED 통신 시스템의 데이터 전송 알고리즘

김경호\*, 황유민\*, 김진영\*

## Data Transmission Algorithm for LED Communication Systems

Kyung Ho Kim\*, Yu Min Hwang\*, Jin Young Kim\*

### 요 약

LED 통신은 LED(Light Emitting Diode)에서 나오는 가시광선을 이용해 정보를 전송하는 무선통신기술로 RF(Radio Frequency) 통신의 문제점인 주파수 할당, 인체 내 유해성, 보안의 취약성, 전자기기 간 간섭 등을 극복할 수 있는 기술이다. LED를 이용하여 조명과 통신을 동시에 사용할 수 있는 융합 기술로 유비쿼터스 환경에 적합하다. 본 논문에서는 LED, PD(Photodiode) 및 MCU(Micro Controller Unit)를 이용한 LED 통신 시스템의 데이터 전송 알고리즘을 개발하였고 구현하는 과정을 소개한다.

**Key Words** : LED Communication, Visible Light Communication, Light Emitting Diode, Photodiode, Micro Controller Unit

### ABSTRACT

LED communication is a wireless communication technology to transmit information using visible light coming out from the LED(Light Emitting Diode). It is a technique that can overcome RF(Radio Frequency) communication problems that are frequency allocations, human body hazards, security vulnerabilities, and interference between electronic devices. As a technique that can be used as lighting and communications with using LED, LED communication is suitable for ubiquitous environment. This paper introduces the process of data transmission algorithm for LED communication systems algorithm using LED, PD(Photodiode), and MCU(Micro Controller Unit).

## I. 서 론

최근 IT 기술은 언제 어디서나 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경을 구축하기 위해 발전하고 있다. 이런 통신 환경을 구축하기 위해서는 유선보다는 무선으로 네트워크를 연결하는 것이 유리하다. 현재 가장 많이 사용되는 무선통신은 RF(Radio Frequency) 통신이다. RF 통신은 3,000GHz 이하 주파수의 전자기파를 이용하여 각종 정보를 전달할 수 있는 통신 방식으로 휴대 전화, WLAN(Wireless Local Area Network), DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 등의 서비스에 사용된다. 하지만 RF 통신은 주파수 할당, 전자기기 간 간섭, 인체 내 유해성, 보안의 취약성 등의 문제점들이 있다. 이러한 RF 통신의 문제점들을 해결하기 위한 연구가 여러 방향으로 진행되었고, 다양한 기술들이 개발되었다. LED(Light Emitting Diode)를 이용한 LED 통신도 이러한 기술들 중 하나이다.

LED 통신은 LED에서 나오는 가시광선을 이용해 정보를 전달하는 무선통신기술이다. LED 통신은 그런 IT에 적합한 친환경기술로 주파수 할당에 대한 전파법 규제가 없고, 전자기기 간의 간섭이 없어 항공기, 병원 등의 전자파 사용이 제한된 장소에서 사용될 수 있으며, 인체에 무해하며, 데이터의 전송 가능 범위를 육안으로 인식이 가능하고, 벽을 통과하지 못하는 가시광선의 특성으로 실내 보안에 강한 장점이 있다. 특히 LED 통신에서 사용되는 LED는 저 전력을 사용하기 때문에 에너지를 절약할 수 있고, LED 조명 시장의 급성장과 더불어 조명과 통신을 융합한 기술로 발전할 수 있기 때문에 유비쿼터스 환경에 적합한 기술이라 할 수 있다 [1].

본 논문에서는 LED 통신 시스템의 데이터 전송 알고리즘을 제시하고, LED, PD(Photodiode) 및 MCU(Micro Controller Unit)를 사용하여 문자 및 파일을 송수신할 수 있는 OOK(On-Off Keying) 방식의 LED 통신 시스템을 직접 구현하는 과정을 소개한다.

\* 본 연구는 MKE/KEIT의 IT R&D 프로그램의 지원으로 만들어진 결과임” (10035362, Development of Home Network Tech. based on LED-ID)  
\*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 시스템 연구실 (gentle@kw.ac.kr, yumin@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)  
접수일자 : 2013년 5월 7일, 수정완료일자 : 2013년 6월 7일, 최종게재확정일자 : 2013년 6월 17일

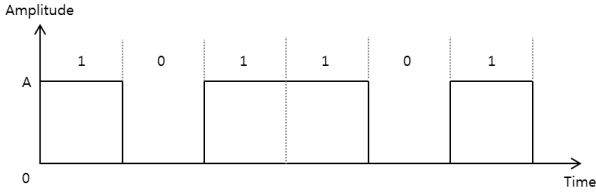


그림 1. Unipolar NRZ의 펄스 파형

## II. 관련 이론

### 1. Unipolar NRZ

Unipolar는 단극 신호로 식 1에 나타난 기저대역 직교 신호로 설명할 수 있다.

$$\begin{cases} s_1(t) = A & 0 \leq t \leq T & \text{for binary 1} \\ s_2(t) = 0 & 0 \leq t \leq T & \text{for binary 0} \end{cases} \quad (1)$$

신호  $s_1(t)$ 의 진폭은 A이고, 신호  $s_2(t)$ 의 진폭은 0이며  $A > 0$ 이다. 두 신호  $s_1(t)$ 와  $s_2(t)$ 는 각각의 지속 시간동안 상관관계를 가지지 않으며, 이는 식 2로 설명된다 [2].

$$\int_0^T s_1(t)s_2(t) dt = 0 \quad (2)$$

NRZ(Non Return to Zero)란 디지털 통신에서 1 또는 0을 나타내는 하나의 펄스 파형 시간 간격을 하나의 주기와 같게 한 부호화 방식을 말한다. 신호의 전송 대역폭은 하나의 펄스 파형 시간 간격을 한주기의 절반만 사용하고 0으로 돌아가는 부호화 방식인 RZ(Return to Zero) 방식의 절반만 소요된다. 데이터를 전송할 때, 신호의 유무를 구분하여 전송하는 방식으로 디지털 통신에서는 OOK(On-Off Keying)이라고도 한다. OOK는 반송파를 1(On)과 0(Off)으로 정보를 전송하는 Binary ASK(Amplitude Shift Keying) 변조 방식이다. 그림 1은 Unipolar NRZ의 펄스 파형을 보여준다.

일반적으로 Unipolar NRZ는 구현 구조가 매우 간단하며 수신측에서 신호의 전이가 일어나는 순간에 동기를 취하게 되므로 신호의 전이가 있는 경우에는 수신 동기에 용이한 장점이 있으나, 같은 값이 계속 유지되는 경우에는 수신 동기에 불리한 단점이 있다. 이 방식은 광통신의 IM/DD(Intensity Modulation/Direct Detection) 전송의 대표적인 변조방식으로 사용되어 왔다.

### 2. RS-232

RS-232는 직렬 통신 인터페이스의 한 종류로 1962년 미국 전자공업협회(EIA, Electronic Industries Association)에서 EIA-232라는 명칭으로 처음 발표되어 표준화되었다. 현

재는 IBM사가 만든 9핀 직렬 포트 규격이 널리 보급되어 사용되고 있으며, Tx, Rx, GND 3개의 신호선을 연결하여 송수신을 한다. RS-232는  $-5V \sim -15V$ 와  $+5V \sim +15V$ 의 신호레벨을 사용하여,  $-5V \sim -15V$ 는 디지털 논리 값으로 1을 나타내고,  $+5V \sim +15V$ 는 디지털 논리 값으로 0을 나타낸다. 기본적으로 1:1 통신이고, 한 케이블로 10m ~ 15m의 거리까지 통신할 수 있으며, 최대 19.2kbps의 저속 통신이다. 일반적으로 Baud rate는 115,200까지 사용하며, 그 이상의 Baud rate를 사용하면 오류발생확률이 높아진다.

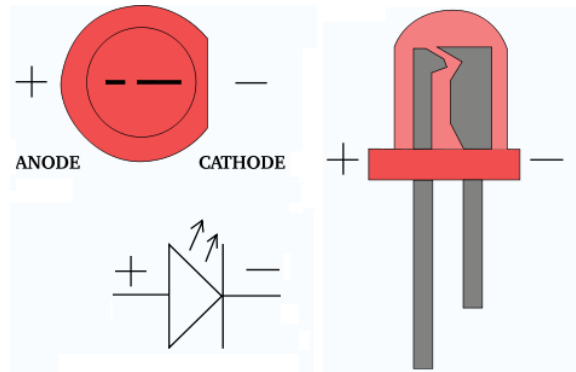


그림 2. LED 다이어그램

접지를 사용하기 때문에 다른 직렬 통신 방식보다 외부 잡음에 약한 특성이 있다. 본 논문에서 제시한 LED 통신 시스템에서 사용하는 MCU(Micro Controller Unit)와 PC를 연결하는 직렬 통신인 UART(Universal Asynchronous serial Receiver and Transmitter) 통신에 이용된다[3].

### 3. LED(Light Emitting Diode)

LED는 순방향 전류를 빛으로 변환한다. 순방향으로 바이어스된 pn 접합에서 소수 캐리어들은 접합을 지나서 주입되고 p와 n영역으로 확산된다. 확산되는 소수 캐리어들은 다수 캐리어들과 재결합되고 빛을 발산하게 된다. LED에 의하여 발광되는 빛은 재결합되는 양에 따라서 비례하고 그 재결합되는 양은 다이오드의 순방향 전류에 비례한다. LED는 매우 인기 있는 소자로 다양한 분야에 응용될 수 있다. LED 통신에서는 송신부에서 신호를 가시광선으로 전송할 때 사용된다[4].

### 4. PD(Photodiode)

PD는 LED와 반대되는 기능을 하는 소자로 광신호를 전기적 신호로 변환한다. 만약 역 바이어스된 pn 접합에 입사광을 노출하면 접합에 충돌하는 광자들이 자유 결합을 깨뜨리고 전자(Electron)-정공(Hole) 쌍들이 공핍층에서 생성된다. 공핍층에서 전계는 자유 전자를 n 쪽으로 정공을 p 쪽으로 이동시키고 접합을 통과하는 역전류를 일으킨다. 광전류로 알려진 이 전류는 입사광의 강도에 비례하고, PD는 광신

호를 전기적 신호로 변환한다. LED 통신에서는 수신부에서 송신부에서 전송한 가시광 신호를 전기적 신호로 변환하기 위해 사용된다 [4].

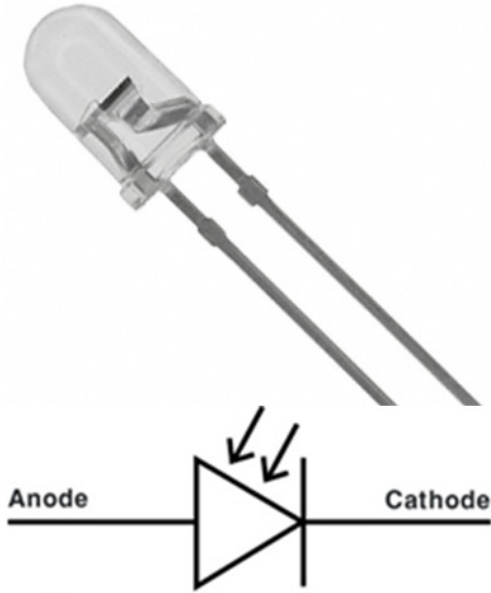


그림 3. PD 다이어그램

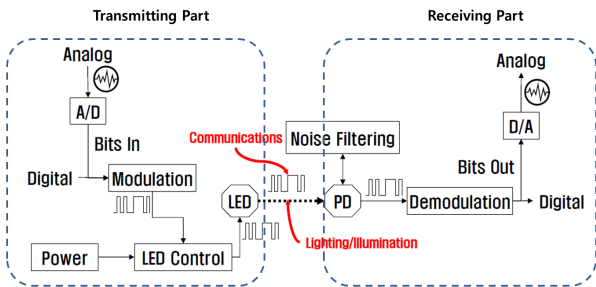


그림 4. LED 통신 시스템의 데이터 전송 알고리즘

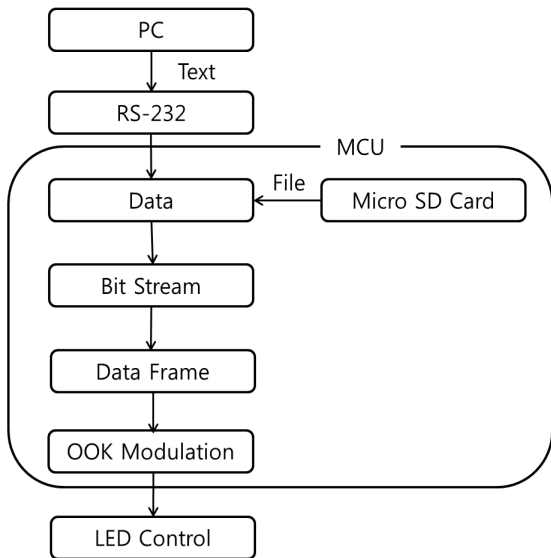


그림 5. LED 통신 시스템의 문자 및 파일 송신 알고리즘

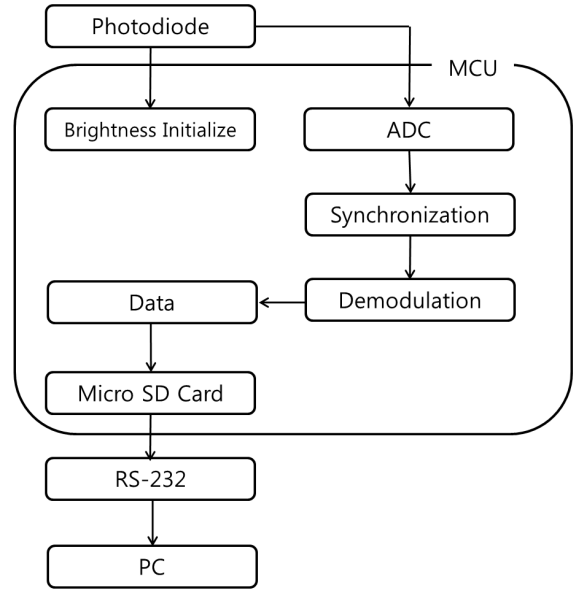


그림 6. LED 통신 시스템의 문자 및 파일 수신 알고리즘

### III. 시스템 알고리즘

본 논문에서 제안하는 LED 통신 시스템 알고리즘은 다음과 같다. 문자 및 파일을 LED 통신을 통해 송수신할 수 있는 시스템으로 LED, PD 및 MCU를 사용한다. LED 통신 시스템의 전체 알고리즘은 그림 4와 같고, 송신과 수신 시스템으로 나누어 설명하겠다.

#### 1. LED 통신 시스템의 문자 및 파일 송신 알고리즘

그림 5는 LED 통신 시스템의 문자 및 파일 송신 알고리즘이다. 문자를 송신할 때는 PC에서 키보드를 통해 문자를 입력받아 RS-232 방식으로 직렬 연결된 MCU로 데이터를 전달해 비트스트림으로 변환한 후, 데이터프레임을 만들고 OOK 변조를 통해 LED를 이용하여 문자를 전송한다. 파일을 송신할 때는 MCU의 Micro SD 카드에서 파일의 데이터를 읽어와 문자를 송신할 때와 동일한 과정으로 파일을 전송한다.

#### 2. LED 통신 시스템의 문자 및 파일 수신 알고리즘

그림 6은 LED 통신 시스템의 문자 및 파일 수신 알고리즘이다. 우선 PD를 통해 실내 밝기를 초기화한 후, 수신한 빛의 신호를 MCU에서 ADC를 통해 디지털 신호로 변환한 후, 동기화를 한다. 그리고 복조과정을 통해 데이터를 복원한 후에 Micro SD 카드에 저장하고 RS-232 직렬 통신을 통해 PC로 문자 및 파일을 전송해 모니터로 출력한다.

## IV. 시스템 구현 환경

본 논문에서는 LED 통신 시스템을 구현하기 위해 MCU(Micro Controller Unit)의 한 종류인 아두이노 플랫폼 환경에 LED, PD를 사용했다. 아두이노는 오픈소스 피지컬 컴퓨팅 플랫폼으로 하드웨어인 아두이노 보드와 소프트웨어인 아두이노 IDE(Integrated Development Environment, 통합 개발 환경)로 구성되어 있다. Windows, Linux 등 운영체제에 상관없이 실행 가능한 멀티 플랫폼 환경이고, 시리얼 케이블이 아닌 USB 케이블을 통해 프로그래밍할 수 있으며, 하드웨어와 소프트웨어 모두 오픈소스이다 [5].

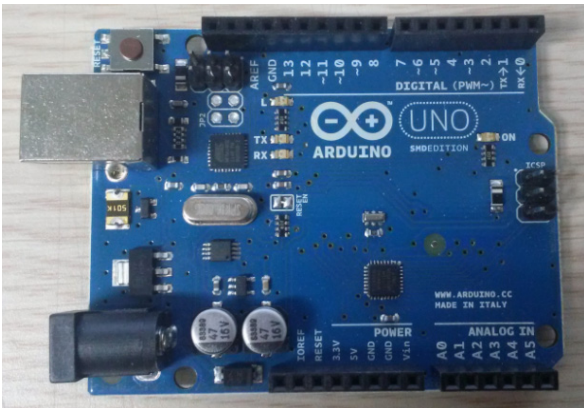


그림 7. 아두이노 UNO R3 보드

그림 7은 아두이노 보드의 일종인 아두이노 UNO R3 보드이다. 아두이노 UNO R3 보드는 8비트 MCU(Micro Controller Unit) 보드로 ATmega328 칩을 사용하고, 아날로그 입력 핀, 아날로그 출력 핀, 디지털 입출력 핀을 통해 신호의 입출력을 제어하고, USB 포트 또는 9볼트 AC 어댑터를 통해 전원을 공급받아 사용한다.

그림 8은 아두이노 IDE Toolkit의 실행 화면이다. 아두이노 IDE는 프로그래밍 언어에 기반을 둔 프로그래밍 언어로 아두이노 보드에서 구동되는 스케치 코드를 작성할 수 있고, 작성한 코드는 C언어로 번역되어, avr-gcc 컴파일러에 전달되고, 컴파일러는 프로그래밍 언어를 MCU가 처리할 수 있는 기계어로 변환하는 작업을 수행한다 [5].

아두이노는 교육 환경으로 개발된 플랫폼이기 때문에 시스템 구현이 쉽고 가격이 저렴한 장점이 있지만, MCU의 한계로 복잡한 연산 및 처리를 필요로 하는 시스템 구현에는 적합하지 않다.

## V. 시스템 구현

본 논문에서 소개한 LED 통신 시스템은 LED, PD, 아두이노 플랫폼 및 Ethernet Shield를 사용하여 구현하였고, 문자 및 파일을 송수신할 수 있다.

### 1. LED 통신 문자 송신 시스템

문자 송신 시스템에서는 송신측 컴퓨터에서 전송할 단어 또는 문장을 키보드로 아두이노 IDE Toolkit의 시리얼 모니터에 입력한다. 입력된 단어 또는 문장은 RS-232 시리얼 통신으로 아두이노 보드에 2바이트 문자 단위 아스키 코드로 전달된다. 전달받은 아스키코드는 8비트의 비트 스트림으로 변환된다. 변환된 비트 스트림과 5비트의 헤더, 4비트의 리던던시가 합쳐져 17비트의 데이터 프레임이 된다. 변환된 데이터 프레임들은 LED가 점등된 상태에서 밝기만 변화시키는 OOK 방식의 변조를 통해 전송된다.

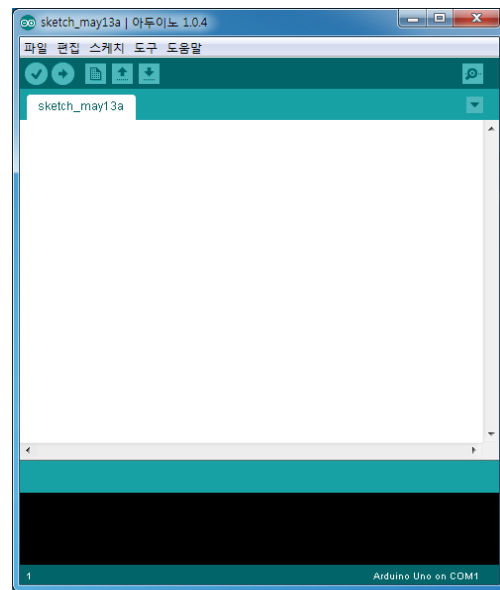


그림 8. 아두이노 IDE Toolkit 실행 화면

### 2. LED 통신 파일 송신 시스템

파일 송신 시스템에서는 아두이노 보드와 Ethernet Shield를 결합하여 Micro SD 카드에서 파일을 읽어올 수 있도록 하였다. 파일의 데이터를 2바이트 단위로 바이너리 모드로 읽어 8비트의 비트 스트림으로 변환한 후, 앞서 설명한 문자 송신 시스템의 17비트의 데이터 프레임과 동일하게 만든다. 이후 전송과정도 문자 송신 시스템과 동일한 과정을 거치게 된다.



그림 9. LED 통신 문자 송신기



그림 10. LED 통신 파일 송신기

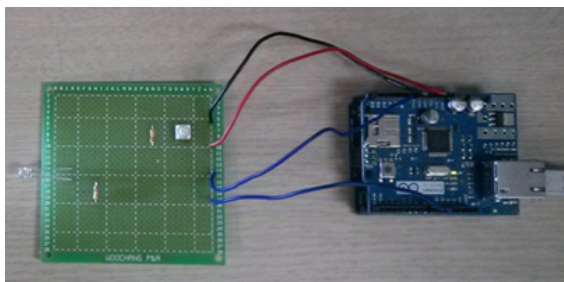


그림 11. LED 통신 문자 및 파일 수신기

### 3. LED 통신 문자 및 파일 수신 시스템

문자 및 파일 수신 시스템에서는 아두이노 보드와 Ethernet Shield가 결합되어 있고, 저항과 PD로 구성된 회로를 연결하여 송신 시스템에서 LED로 전송한 비트스트림을 받아 복조 과정을 거쳐 Micro SD 카드에 파일로 저장한다. 수신 시스템은 우선 실내 환경 조명의 밝기를 PD로 아날로그 입력을 받아 기준 값을 정한 후, 송신 측에서 OOK로 전송되는 LED의 밝기를 구분하여 비트 스트림으로 저장하고 복조를 하여 전송 데이터를 복원하고 파일로 저장한다.

### 4. 시스템 구현 결과

그림 13은 LED 통신으로 문장을 정상적으로 송수신하는 것을 보여준다. 송신 측에서 문장을 입력하면 문자 단위로 데이터 프레임을 만들어 OOK 변조 과정을 거쳐 LED를 이용해 신호를 무선으로 전송한다. 수신 측의 PD에서 데이터 프레임을 수신한 후 복조를 하여, 송신 측에서 보낸 문장을 정상적으로 출력하였다.

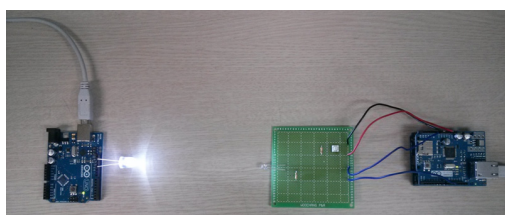


그림 12. LED 통신 문자 송수신 시스템 구현

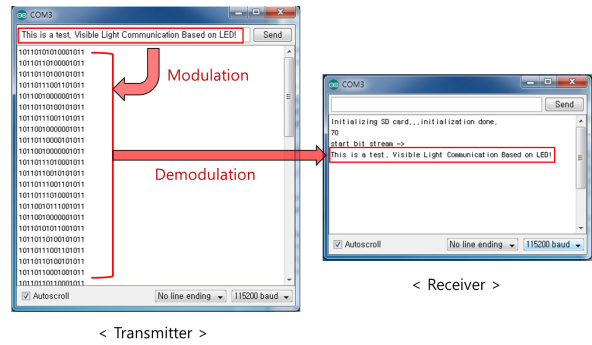


그림 13. LED 통신 문자 송수신 구현 결과

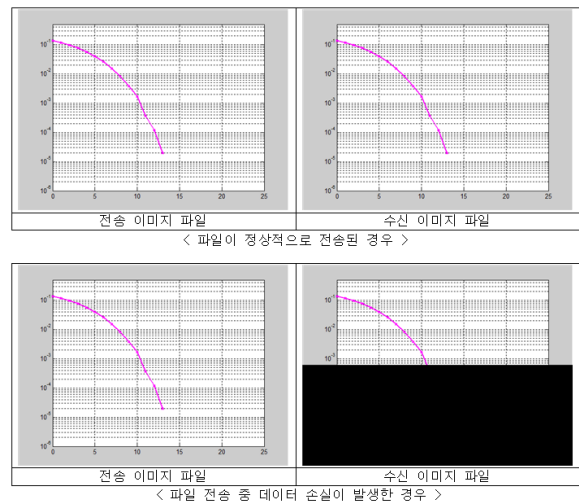


그림 14. LED 통신 파일 송수신 구현 결과

그림 14는 파일을 전송했을 때의 결과화면이다. 파일 송수신 결과를 시각적으로 확인하기 위해 이미지 파일을 전송했다. 파일의 경우는 문장보다는 데이터가 크기 때문에 전송 중에 데이터 손실 오류가 일어날 수도 있다. 이미지 파일의 경우에는 헤더부분만 완전하게 전송되면 원본 파일과 비교해 손상된 파일이 전송되지만 수신 파일을 확인할 수 있다. 하지만 파일의 헤더부분의 전송 오류가 생긴다면 파일 자체를 확인할 수 없다. 그렇기 때문에 파일의 헤더부분을 정확하게 전송하기 위한 대책이 필요하다.

## VI. 결론

LED 통신은 가시광선을 이용한 무선통신기술로 LED 조명기술과 통신기술을 융합하여 사용할 수 있어 언제 어디서나 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 유비쿼터스 환경에 적합한 기술이다. 또한 RF 통신의 문제점인 주파수 할당, 인체 내 유해성, 보안의 취약성, 전자기기 간 간섭 등을 극복할 수 있는 기술로 항공기, 우주선, 병원 등 RF 통신을 사용하기에 제약이 있는 장소에서 활용될 수 있다. 본 논문에서는 문자 및 파일을 송수신할 수 있는 LED 통신 시스템의 데이터 전송 알고리즘을 개발하고 구현하는 과정을 소개했다. 이

는 실내에서 LED 조명 인프라가 갖추어진 환경에서 LED 조명과 디바이스 간의 통신에 응용하기에 적합하다. 본 논문에서는 LED 통신으로 데이터를 전송할 수 있는 것을 소개하기 위해 문자나 저용량의 파일을 송수신하는 것을 구현하였지만, 실생활에서 응용하기 위해서는 전송 속도 및 전송 거리를 향상시킬 수 있는 기술, 실내뿐만 아니라 실외에서도 LED 통신이 사용가능할 수 있도록 하는 태양광선과 LED에서 나오는 가시광선과의 간섭 방지 및 구별가능한 필터링 기술 등의 연구가 필요하다.

### 김진영(Jin Young Kim)

### 종신회원



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

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

## 참고 문헌

- [1] 김진영, LED 가시광 통신시스템, 홍릉과학출판사, 2009, pp.14-17.
- [2] B. Sklar, Digital Communications Fundamentals and Applications, 2nd ed., Prentice Hall PTR, 2001, pp.131-134.
- [3] IEEE Draft Guide for Power System Protective Relay Applications over Digital Communication Channels, IEEE PC37.236/D5.1, 2012.
- [4] A. S. Sedra and K. C. Smith, Microelectronic Circuits, 6th ed., Oxford University Press, 2011, pp.204-205.
- [5] 마시모 벤지, 손에 잡히는 아두이노, 인사이트, 2010, pp.37-41.

## 저자

### 김경호(Kyung Ho Kim)



- 2013년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2013년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> : WBAN, 가시광 통신, 디지털통신, 5G 이동통신

### 황유민(Yu Min Hwang)

### 준회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2012년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신