

논문 2017-54-4-5

스마트폰을 이용한 가시광통신 기반 실내 IoT 모니터링 시스템

(Indoor IoT Monitoring System based on Visible Light
Communication using Smart Phone)

오 훈*, 이 연 재*, 박 수 빈*, 안 현 식*, 안 병 구**

(Oh Hoon, Yeon Jae Lee, Su Bin Park, Hyeon Sik An, and Beongku An[©])

요 약

본 논문에서는 최근 무선통신분야에서 주목 받고 있는 가시광통신과 IoT(Internet of Things) 시스템을 융합한 실내 IoT 모니터링 시스템을 제안한다. 제안 개발된 시스템의 주요한 특징과 기여도는 다음과 같다. 첫째, 실내에서 발생하는 실제 데이터를 가시광 통신만을 사용하여 오직 서버를 통하여 가공 처리 할 수 있다. 둘째, 가시광 통신을 이용하여 스마트폰으로 수집된 데이터를 모니터링 한다. 성능평가는 보통의 형광등이 비추는 곳에서 실험을 하였다. 먼저 데이터 수집 시스템의 송신 및 수신 모듈간의 전송성공여부를 확인 한다. 모니터링 시스템은 LED의 집광 정도와 거리를 변화시켜 전송여부를 실험하고 제안된 스마트폰 어플리케이션의 디코딩 성공률을 실험 하였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 실내뿐만 아니라 실외 IoT 분야에도 응용 적용 될 것으로 기대한다.

Abstract

In this paper, we propose indoor IoT monitoring system based on visible light communication using smart phone with attracting attentions in recent wireless communication. The main features and contributions of the proposed system developed in this paper are as follows. First, the actual data generated within indoor can be processed via the server by using only the visible light communication. Second, the collected data by using the visible light communication can be monitored by smart phone. Performance evaluation of the proposed system is performed under illumination of the normal fluorescent lamps. We first check successful transmission between transmitting module and receiving module of the data collection system. The monitoring system is tested according to the change of the degree of condensing and distance of the LED and the decoding success rate of the proposed smart phone application. We expect that the proposed system can be applied for indoor and outdoor IoT areas together.

Keywords : VLC, Indoor IoT, LED-to-LED communication, Android, 스마트폰

I. 서 론

* 학생회원, ** 평생회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공과
(Dept. of Computer & information Communication
Engineering Hongik University)

[©] Corresponding Author(E-mail : beongku@hongik.ac.kr)

※ 이 논문은 2016년 정부(교육부)의 재원으로 한국과학
창의재단(2016년 학부생 연구프로그램)의 지원을 받아
수행된 연구임.

Received ; November 3, 2016 Revised ; December 1, 2016

Accepted ; March 10, 2017

최근 IT 분야에서 인터넷이 발달함에 따라 각종 서비스 영역에서 다양한 변화가 일어나고 있다. 이로 인해, 실외공간을 대상으로 제공되어 오던 서비스들이 점차 실내공간을 대상으로 확장되어 가고 있다^[1]. 그중 IoT/M2M 시스템을 접목시킨 스마트홈, 스마트시티 등 사람의 주거공간에서의 변화가 빠르게 일어나고 있다. 불과 몇 년 전 일반 냉장고와 TV가 현재에는 스마트

냉장고와 스마트 TV 등 전자제품에 OS를 장착하여 스마트폰으로 제어를 할 수 있게 되었다. 하지만 가정 자동화(HA: Home Automation)에서 IoT 플랫폼기반의 스마트 홈으로 발전하고 있는 현재 보안 문제도 이슈가 되고 있다. 실내의 각종 가전제품이 인터넷에 연결되어 있어 외부에서의 침입으로 인해 보안 역시 중요한 문제로 같이 떠오르고 있다^[2].

가시광통신은 이러한 외부 침입에 의한 보안문제를 해결할 수 있는 대안 기술로 판단되고 있다. 가시광통신은 RF무선통신과는 달리 장애물을 통과 할 수 가 없다. 따라서 외부 침입을 막을 수 있다. 또한 가시광통신은 이외에도 여러 가지 장점이 있다. 가시광통신 기반 무선통신의 경우 RF 무선통신과 같은 사용 주파수 대역에 대해서 전 세계적으로나 각 국가별로 법 규제가 없어 자유롭게 사용이 가능하고 전파가 제한된 곳에서의 활용성이 높다. 가시광을 주파수 대역에서 보면 수백 THz 이상의 고주파 대역에 위치하므로, 이에 비해 상대적으로 낮은 저주파 대역에 민감한 전자 전기 정밀기기들에 대한 전자기파의 영향이 없으며, 기존 RF통신기술 기반의 단거리 및 실내 무선 통신 서비스 등에 효과적으로 적용이 가능하다. 또한 가시광통신에 사용되는 LED 조명은 기존에 사용하던 형광등과 백열등에 비해 광원 효율이 뛰어나며, 응답시간이 빠르고 5만 시간 이상의 긴 수명을 가지고 있다. 에너지 전환 효율이 뛰어나 열 손실이 거의 없어 90%의 전기 효율을 향상시킨다^[3~5].

논문^[6]의 시스템 모델은 센서노드, 서버, 안드로이드 기반 스마트폰 어플리케이션으로 구성 되어 있다. 제안된 시스템 모델은 센서노드를 통하여 얻은 온도, 습도, 밝기, 공기 질 등의 실내에서 발생하는 데이터 값을 Zigbee 프로토콜을 사용하여 수집하며 어플리케이션과 서버의 데이터베이스 연동을 통하여 실시간 모니터링 시스템을 연구하였다. 논문^[7]의 시스템 모델은 라즈베리파이와 센서노드로 구성되어 있다. 제안된 시스템은 센서노드를 라즈베리파이에 부착하여 시리얼로 즉시 데이터 값을 수집하며 라즈베리파이는 수집과 동시에 서버 역할도 하여 모바일기구나 PC에서 웹을 통해 데이터를 실시간 모니터링 하는 연구를 하였다.

현재 앞서 설명한 연구들에서 확인할 수 있듯이 실내 IoT 모니터링 시스템에 다양한 방법으로 연구가 되고 있다. 하지만 위의 논문들에서의 데이터 수집과 모니터링 방법으로 RF통신 기술을 사용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 RF통신을 하지 않고 가시광통신기반 IoT 모니터링 시스템을 제안 한다.

본 논문에서는 선행기술로 구현한 LED-to-LED 가시광통신에 라즈베리파이를 이용하여 데이터수집 시스템과 LED-to-Smart Phone 모니터링 시스템을 각각 개발하고 두 가지 시스템을 합쳐 실제 센서 값들을 모니터링 하는 가시광통신 기반 실내 IoT 시스템을 구현한다.

본 논문의 연구내용에 대한 주요한 특징 및 기여도를 설명하면 다음과 같다.

- 기존 연구들에서 실험한 텍스트 데이터가 아닌 실제 실내에서 얻을 수 있는 센서 값들을 가시광통신으로 서버에 전송 및 처리한다.
- RF통신을 이용한 데이터 모니터링이 아닌 가시광통신만을 사용하여 주기적으로 실내 데이터를 스마트폰으로 모니터링 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성 되어 있다. II장에서는 논문에서 제안한 시스템 구조와 동작원리를 설명하고, III장에서는 시스템의 성능을 평가한다. 그리고 IV장에서 결론을 내고 논문을 마무리한다.

II. 제안된 시스템

1. 제안된 시스템 기본 개념

가. 전체적인 시스템 구조

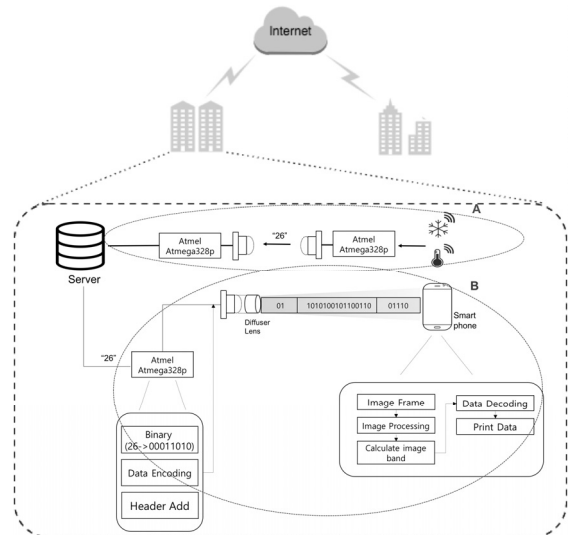


그림 1. 전체적인 시스템 구조
Fig. 1. The overall system architecture.

그림 1은 전체적인 시스템 구조를 설명한다. 제안된 시스템은 실내 네트워크에서 작동이 되며 외부로부터의 접근은 오로지 서버를 통하여 접근가능하다. 그림 1의 구조는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 빨간색 점선으로 표시한 A부분은 LED-to-LED 데이터 수집 시스템이라 정의한다. A에서는 데이터 수집부로서 실내에서

발생하는 온도, 습도 및 기타 리얼데이터(Real data)를 LED-to-LED통신을 사용하여 전송한다. 파란색 점선으로 표시한 B부분은 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템이라 정의한다. B에서는 서버로부터 전송 받은 데이터를 스마트폰에 전달하기 위해 패킷화 시키고 스마트폰의 어플리케이션은 영상처리과정을 거쳐 데이터를 디코딩 및 수신한다.

나. LED-to-LED 데이터 수집 시스템

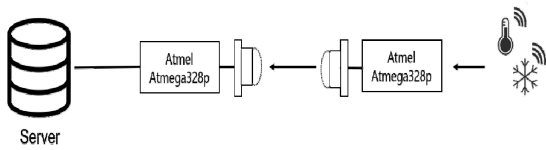


그림 2. LED-to-LED 데이터 수집 시스템
Fig. 2. LED-to-LED data collection system.

그림 2는 LED-to-LED 데이터 수집 시스템 개념도로 그림 1의 A부분을 나타낸다. 시스템은 송신 모듈과 수신 모듈로 각각 구성되어 있다. 송신 모듈은 MCU에 LED를 연결하여 센서를 통하여 얻은 데이터를 전송하는 역할을 한다. 수신 모듈은 LED를 통해 전달 받은 데이터를 OP-AMP를 거치게 하여 시리얼로 연결된 서버로 전송한다^[7]. 서버는 시리얼로 연결된 스마트폰용 LED에 동일한 데이터를 보낸다.

다. LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템

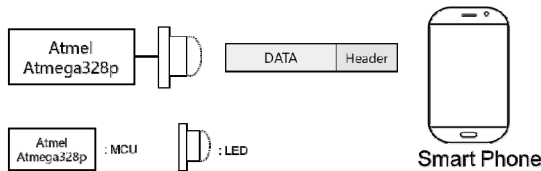


그림 3. LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템
Fig. 3. LED-to-SmartPhone monitoring system.

그림 3은 LED-to-Smart Phone 모니터링 시스템 개념도로 그림 1의 B부분을 나타낸다. 논문에서 제안한 모니터링 시스템은 실시간 모니터링 시스템이 아닌 비실시간 모니터링 시스템이다. 이유는 안드로이드의 하드웨어의 성능이 제한적이며 이미지 프레임의 범위가 규칙적이지 않아 그에 따른 동기화 문제와 데이터의 유실 및 오류 문제가 있으므로^[8], 비실시간 모니터링 전환이 더 효과적이기 때문이다. 따라서 본 연구진은 동일한 데이터를 10초간 보내고 스마트폰에서 디코딩이 된 값들 중 최빈값을 찾아 데이터의 정확성을 높이고 10초 후 값을 갱신하는 방법을 사용하였다.

송신부는 라즈베리파이 서버로부터 시리얼로 연결되어 있으며 실시간 데이터를 전달 받지만 10초간격으로 데이터를 갱신하기 때문에 10초간 동일한 데이터를 반복적으로 송신한다. 수신부 스마트폰은 송신부 LED를 촬영하여 생성된 이미지 프레임 디코딩 하여 데이터를 출력한다.

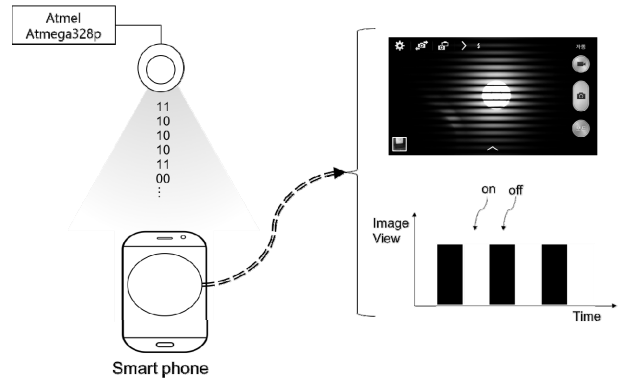


그림 4. Rolling Shutter 메커니즘
Fig. 4. Rolling Shutter Mechanisms.

그림 4는 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템의 스마트폰에서 Rolling Shutter 메커니즘을 이용한 데이터패킷 수신 원리를 보여준다. Rolling Sutter 메카니즘은 스마트폰에 장착된 CMOS 이미지 센서에 적용되는 동작 원리이다. Rolling Sutter는 스마트폰의 촬영 속도보다 현저히 빠르게 변하는 물체를 촬영 할 적에 해당 이미지의 행(가로)(Row)값을 순차적으로 읽어 들이는 것을 말한다. 그림 4에서 보여지는 바와 같이 이러한 원리로 인해 촬영된 이미지가 흰색과 검은색의 밴드로 이뤄지는 것을 확인 할 수 있다.

2. 시스템 세부 동작 원리

가. LED-to-LED 데이터 수집 시스템 세부 동작 원리

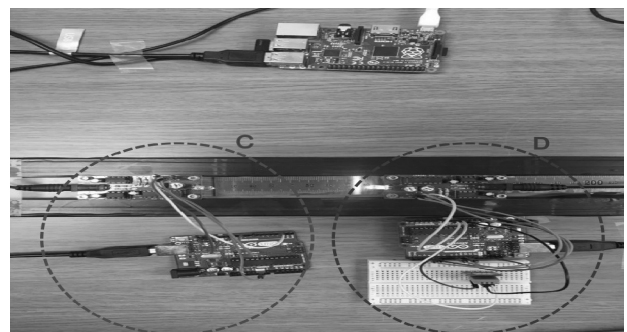


그림 5. LED-to-LED 데이터 수집 시스템
Fig. 5. LED-to-LED data collection system.

그림 5는 LED-to-LED 데이터 수집 시스템의 구성을 보여준다. 시스템은 수신부와 송신부로 구성되어 있다. 빨간색 점선으로 표시한 부분은 수신부 모듈을 나타내며 C라 정의한다. 파란색 점선으로 표시한 부분은 송신부 모듈을 나타내며 D라 정의한다.

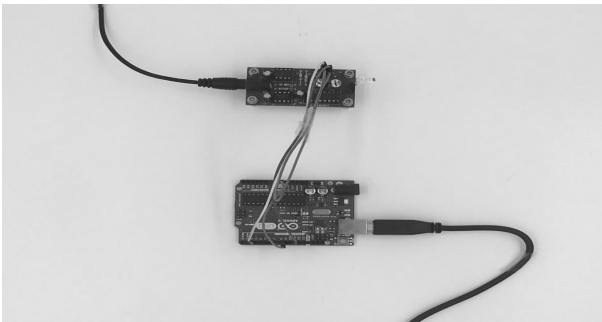


그림 6. LED-to-LED 데이터 수집 시스템 수신모듈
Fig. 6. LED-to-LED data collection system receiver module.

그림 6은 LED-to-LED 데이터 수집 시스템 수신부 모듈로서 그림 5의 C부분을 나타낸다. LED로부터 수신 받은 데이터는 OP-AMP를 이용하여 증폭시킨 후 라즈베리파이에 데이터를 전달한다^[7]. 라즈베리파이는 전달 받은 데이터를 시리얼로 연결된 모니터링 LED에 계속 전달한다.

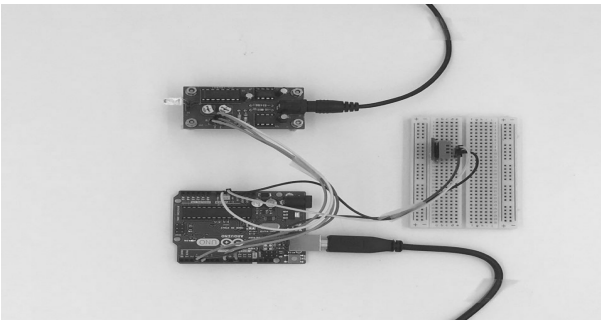


그림 7. LED-to-LED 데이터 수집 시스템 송신모듈
Fig. 7. LED-to-LED data collection system transmission module.

그림 7은 LED-to-LED 데이터 수집 시스템의 전송부 모듈로서 그림 5의 D부분을 나타낸다. 부착된 센서를 통하여 얻은 실제 데이터를 RS-232방식을 통하여 데이터를 전송한다^[7].

나. LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템 세부 동작원리

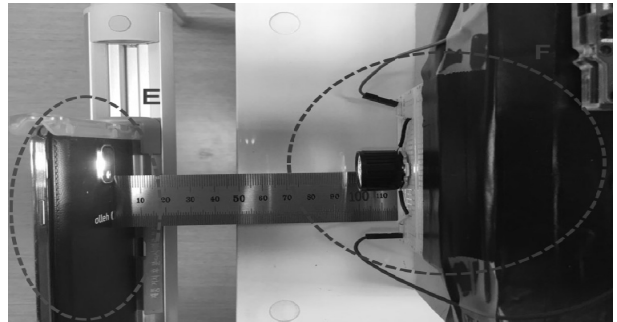


그림 8. LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템
Fig. 8. LED-to-SmartPhone monitoring system.

그림 8은 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템 구성을 보여준다. 시스템은 수신부와 송신부로 구성되어 있다. 빨간색 점선으로 표시한 부분은 수신부인 스마트폰을 나타내며 E라 정의한다. 파란색 점선으로 표시한 부분은 송신부를 나타내며 F라 정의한다.

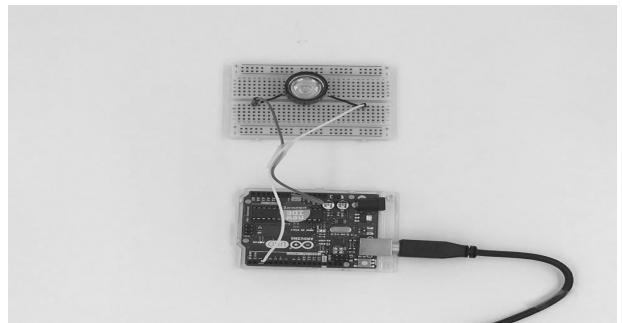


그림 9. LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템 송신모듈
Fig. 9. LED-to-SmartPhone monitoring systems transmission module.

그림 9는 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템 송신부 모듈로서 그림 8의 F부분을 나타낸다. 라즈베리파이에 계속 데이터를 전달 받는데 이 데이터를 10초마다 갱신하여 전송한다. 데이터는 패킷화 과정을 거치고 전송이 되는데 패킷의 구조는 그림 11와 같다. 전송은 데이터블록이 1일땀 LED를 켜고 0일땀 끄는 OOK모듈레이션 방식을 적용하여 MCU의 하드웨어 레벨에서 이를 제어하여 고속으로 전송한다.

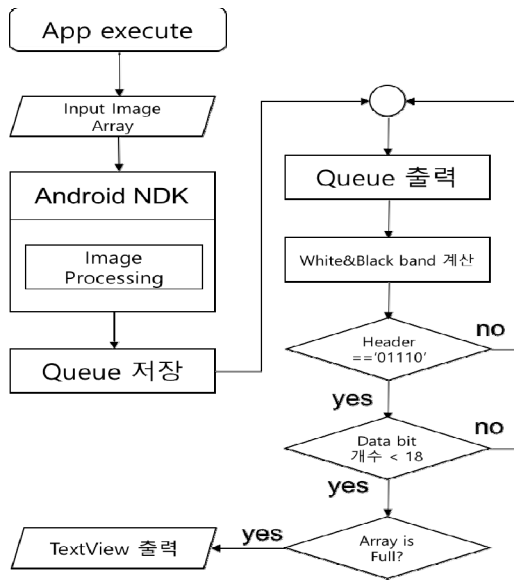


그림 10. LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템 어플리케이션 동작 과정
Fig. 10. LED-to-SmartPhone Operation process of application in monitoring system.

그림 10은 그림 8의 E부분으로서 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템의 어플리케이션 수신 과정을 보여준다. 어플리케이션에서 데이터의 저장을 위한 저장소로 큐와 배열을 사용한다. 큐는 촬영된 모든 프레임을 저장하고 배열은 디코딩된 값들을 저장하는 역할을 한다. 스마트폰의 메인 쓰레드는 이미지영상을 캡처한다. 캡처된 이미지프레임은 큐에 저장되며 디코딩 쓰레드를 생성하여 큐에 저장되어있는 이미지 프레임들을 차례대로 처리한다. 이미지는 배열로 이루어져 있으며 영상처리과정을 거치게 된다. 영상처리과정은 그림 12와 같다. 영상처리의 경우 안드로이드 SDK레벨에서 처리할 시 처리시간이 오래 걸리는 단점이 있기 때문에 영상처리는 NDK레벨에서 처리가 되며 Opencv라이브러리를 이용하도록 한다^[8-11]. 이후 영상처리된 이미지 배열에서 디코딩 위치를 그림 14와 같이 지정하여 읽어들이고, 0, 1, 00, 11일 때 밴드를 이루는 픽셀 수의 범위를 그림 15와 같이 지정하여 계산된 값이 지정한 범위에 있을 때 해당 문자를 스트링 변수에 추가 한다. 이후 스트링 변수에 추출된 데이터는 KMP 알고리즘을 사용하여 문자열의 헤더인 '01110'을 찾는다. 헤더가 있다면 나머지 18비트가 존재할 시 데이터 블록부분을 디코딩 하고 배열에 저장한다. 배열이 다 차면 디코딩한 값들의 최빈값을 찾아 어플리케이션 Textview에 출력한다.

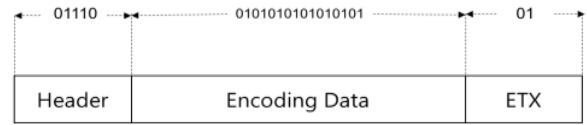


그림 11. LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템 패킷구성도
Fig. 11. Packet configuration of LED-to-SmartPhone monitoring systems.

그림 11은 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템의 패킷 구조를 나타낸다. 시리얼로 연결된 라즈베리파이 서버로부터 받은 8비트의 데이터를 맨체스터 인코딩 방식을 이용하여 16비트의 데이터로 인코딩한다. 그리고 헤더와 ETX를 붙여 23비트의 패킷으로 패킷화 시킨다. 여기서 헤더는 스마트폰의 디코딩 과정에서 패킷의 인식을 확실히 할 수 있도록 '01110'으로 구성하였으며 헤더와 ETX는 인코딩 하지 않는다^[8].

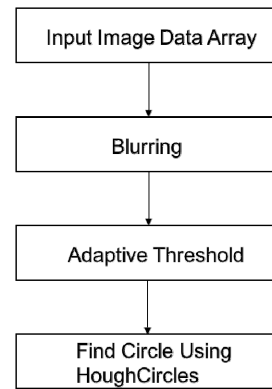


그림 12. LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템 어플리케이션 영상처리 과정
Fig. 12. LED-to-SmartPhone image processing of application in monitoring system.

그림 12는 어플리케이션에서 사용한 영상처리 과정을 보여준다. 캡처된 이미지 프레임은 NDK 레벨에서 영상 처리가 된다. 먼저 원본 이미지는 Blurring 과정을 거치게 된다. Blurring과정은 원본의 오류율을 줄여주게 되며 kernel 1x1로 Blurring한다^[9-10]. 이후에 이진화 과정을 거치게 되는데 Adaptive Threshold 메소드를 통해 이진화를 한다. Adaptive Threshold는 적응형 임계값으로 임계치를 정해준다^[8]. 그리고 HoughCircle메소드를 통하여 LED의 중심과 반지름을 구한다.

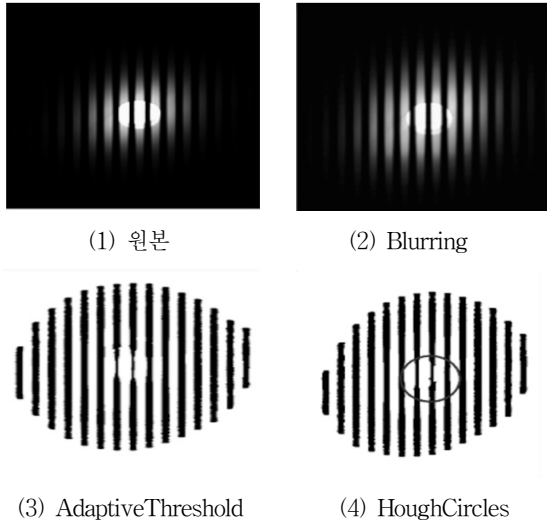


그림 13. 영상처리 과정별 이미지
Fig. 13. Step by step image of image processing.

그림 13은 그림 12에서 설명한 각각의 영상처리 과정을 원본이미지에 단계별로 적용하여 실제 스마트폰 어플리케이션 화면을 캡처한 사진이다.

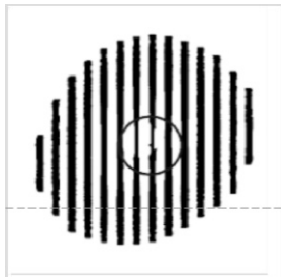


그림 14. 디코딩 위치
Fig. 14. Position of decoding.

그림 14는 디코딩 위치를 지정해준 모습을 보여준다. 기준은 HoughCircle 메소드를 통하여 얻은 반지름과 중심위치를 이용하여 지정해준다. 본 논문에서 이용한 기준선위치는 중심에서 반지름의 1.5배를 하여 지정하였다. 그림 14의 주황색 점선이 이를 나타낸다. 그리고 지정된 기준선 위치에 있는 모든 검은색과 흰색 밴드의 픽셀 수를 계산한다^[8~9].

그림 15는 실험을 통하여 0과 1의 개수 변화에 따른 밴드를 이루는 픽셀의 수를 나타낸다^[8]. 그림 15에서 보여지는 바와 같이 0, 1, 00, 11을 이루는 픽셀의 개수의 범위는 각각 4~12, 4~12, 13~20, 13~20이다. 기준선 위치에 있는 밴드들을 이루는 각 픽셀의 수가 지정된 범위에 있을 때 문자열 변수에 해당 문자를 추가한다.

문자	범 위
'0'	$4 \leq \text{Band}_{\text{dark}} \leq 12$
'1'	$4 \leq \text{Band}_{\text{white}} \leq 11$
'00'	$13 \leq \text{Band}_{\text{dark}} \leq 20$
'11'	$13 \leq \text{Band}_{\text{white}} \leq 18$

그림 15. 0, 1, 00, 11의 범위지정
Fig. 15. Range specification of 0, 1, 00, 11.

III. 성능평가

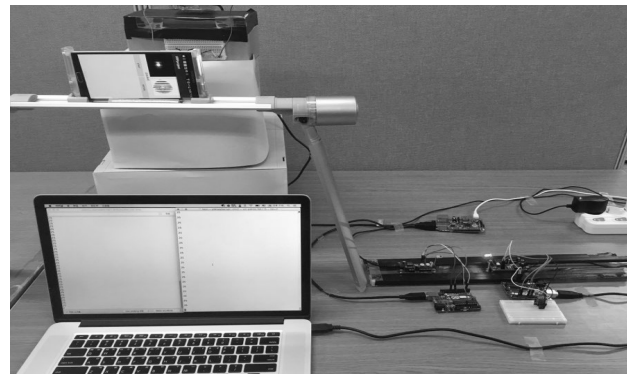
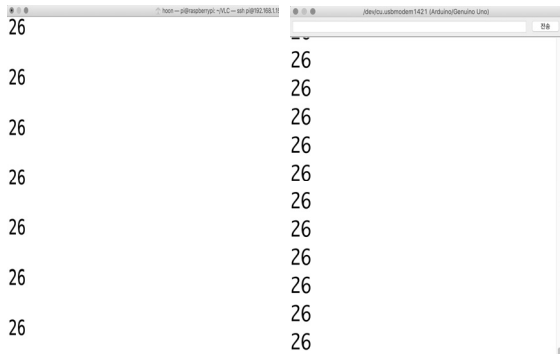


그림 16. 전체 시스템 성능평가 환경
Fig. 16. Enviroments for performance evaluation of full system.

본 논문에서 제안한 시스템은 보통의 형광등이 비추는 실험실에서 성능평가를 하였다. 그림 16은 전체 시스템 성능평가 환경을 보여준다. 본 논문에서 성능평가 진행은 LED-to-LED 데이터 수집 가능 여부를 확인하고 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템의 성능을 평가한다. 실험은 렌즈의 집광률에 따른 데이터 수신 거리를 측정하고, 본 논문이 제안한 어플리케이션의 디코딩 성공률을 측정한다.

그림 17은 실제 온도값을 측정하여 MCU의 시리얼창과 라즈베리파이 서버의 터미널에 출력된 값을 캡처한 것이다. LED-to-LED 데이터 수집 송신 모듈에 시리얼로 온도센서를 연결하여 5초마다 온도값을 측정하여 데이터 수집 수신모듈에 전송한다. 수신모듈은 전달 받은 데이터를 시리얼로 연결된 라즈베리파이스erver에 전송한다. 라즈베리파이의 운영체제는 라즈비언이며 출력값은 Python을 이용한 간단한 스크립트를 작성하여 실험하였다.



(a) 온도값 수신 (b) 온도값 송신

그림 17. 라즈베리파이 및 MCU 터미널 출력창
Fig. 17. The terminal output window of Raspberry Pi and MCU.

표 1. 안드로이드 구현환경
Table1. Enviroments of android.

구분	내용
디바이스	갤럭시 노트3
운영체제	안드로이드OS 5.0(롤리팝)
Frame Rate	maximum(24fps)
이미지 크기	640 * 480
Exposure Compensation	Minimum
AutoWhiteBalance	FALSE
Antibanding	ANTIBANDING_OFF
AutoExposure	FALSE
AutoFocus	FALSE

표 1은 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템의 성능평가에 사용되는 안드로이드 구현환경을 나타낸다. 시스템에서 사용한 디바이스는 삼성 갤럭시 노트 3이다. Frame Rate는 디바이스에서 지원하는 최대 프레임으로 설정하였고 이미지 프레임의 크기는 640 x 480으로 설정하였다. 스마트폰의 영상처리에 가장 핵심 요소는 빛의 노출로서 카메라 캡처 프레임의 명확한 밴드를 얻으려면 몇 가지 준비를 해야 한다. 밝기에 영향을 주는 안드로이드 API 파라미터로는 Exposure Compensation, AutoWhiteBalance, Antibanding, AutoExposure, AutoFocus 등이 있다^[8]. Exposure Compensation, AutoExposure은 카메라의 빛의 노출 정도를 조절하는 것으로 각각 최소값과 FALSE로 설정한다. 설정 값이 크다면 촬영한 이미지의 밴드가 형성이 안 되고 뭉쳐지는 것을 확인 할 수 있었다. White Balance는 촬영하는 영상의 밝기를 직접적으로 조절하는 API로서 FALSE로 설정하였다. Antibanding, AutoFocus는 촬영된 이미지의 밴드에 영

향을 주는 API로서 Anti banding은 화면에 줄무늬가 가지 않게 하는 API로서 Rolling Shutter 메커니즘에 영향을 주므로 ANTIBANDING_OFF로 설정하였고 AutoFocus는 FALSE로 설정하였다^[8~11].

표 2. 집광변화에 따른 전송 성공 여부
Table2. Transmission success or failure according to lens change.

거리 각도	6	7	8	9	10	11	12
4도	X	X	X	X	X	X	X
8도	O	O	O	O	O	O	O
10도	O	O	O	O	O	O	O
15도	O	O	O	O	O	O	O
13	14	15	16	17	18	19	20
X	X	X	X	X	X	X	X
O	O	△	X	X	X	X	X
O	O	△	X	X	X	X	X
O	O	O	O	X	X	X	X

거리 각도	6	7	8	9	10	11	12
20도	O	O	O	O	O	O	O
30도	O	O	O	O	O	O	O
45도	O	O	O	O	O	O	O
60도	O	O	O	O	X	X	X
13	14	15	16	17	18	19	20
O	O	O	O	O	O	△	△
O	O	O	O	O	O	X	X
O	O	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X

표 2는 LED-to-SmartPhone 모니터링 시스템 송신 모듈 집광각도의 변화에 따른 전송 성공여부를 나타낸다. 송신부 LED는 1W Power LED를 사용하였으며 Diffuzer Lens의 집광각도와 거리를 변화 시켜, 스마트폰의 수신 여부를 실험하였다. 송신부 데이터는 '26'을 반복적으로 보내어 스마트폰에서 디코딩 과정을 거쳐 어플리케이션 TextView에 26을 출력하는 방식으로 실험을 하였다. LED의 집광렌즈의 각도가 4도 일 땐 0, 1의 밴드가 만들어지지 않고 많이 일그러지는 것을 확인 할 수 있었다. 집광각도가 8도 일 때부터 촬영된 이미지상의 밴드가 뚜렷히 나타났으며 20도 일 때는 최대 거리가 20cm까지 데이터 수신이 가능하였다. 이후 30도부터 점차적으로 거리가 멀어질수록 데이터 수신을 할 수 없었으며 30도에서 60도 사이 수신가능 거리가 급격히 감소함을 확인 할 수 있었다. 결과적으로 집광각도가 20도일 때 수신가능거리가 가장 길었으며 스마트폰과 LED사이 거리가 멀어질수록 전송 성공률이 감소하는 것을 볼 수

있다.

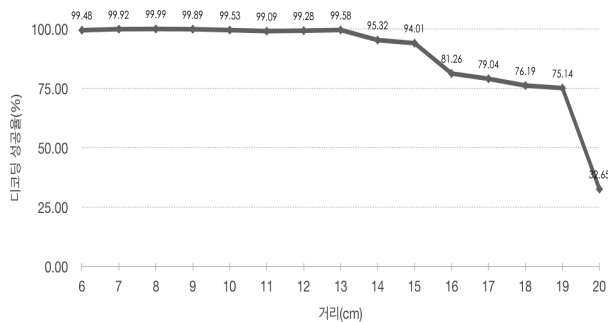


그림 18. 거리에 따른 디코딩 성공률

Fig. 18. Success ratio of decoding according to the change of distance.

그림 18은 본 논문에서 제안된 스마트폰을 이용한 가시광통신기반 실내 IoT 모니터링 시스템의 거리에 따른 디코딩 성공률을 보여준다. 실험은 LED-to-LED 데이터 수집부 사이의 거리를 8cm로 고정하고 온도 센서 값은 '26'도로 고정시켜 데이터를 전송한다. 스마트폰은 스마트폰과 LED사이 거리를 변화시키며 10000개의 데이터를 디코딩하여 정확히 디코딩이 안된 경우 갯수를 카운트하여 측정하였다. 그림 18은 디코딩 가능 최소 거리인 6cm부터 13cm까지 비교적 정확한 디코딩 성능을 보여준다. 하지만 14cm부터 디코딩 오류율이 높아진다. 이후 19cm에서 20cm 사이 급격히 성공률이 감소하고 정확한 디코딩을 하지 않는 것을 확인 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 가시광통신만을 사용하여 데이터를 모니터링 할 수 있는 스마트폰을 이용한 실내 IoT 시스템을 제안 하였다. 먼저 LED-to-LED 양방향 가시광통신 시스템을 이용하여 센서와 라즈베리파이를 부착하여 데이터 수집 시스템 모델을 제안 설계 하였다. 제안된 시스템에서의 최고의 성능을 가지는 집광각도를 찾고, 그에 따른 디코딩 성공률을 측정하기 위해 실험을 두 가지로 구성하였다. 스마트폰을 이용한 모니터링 시스템을 구성하여 집광각도 변화에 따른 전송 성공 여부를 실험을 하였고, 데이터 수집 시스템과 모니터링 시스템을 합친 전체 시스템 평가로는 거리 변화에 따른 제안된 스마트폰 소프트웨어의 디코딩 성공률을 실험 하였다. 성능 평가 결과에서 LED의 집광 각도가 20도 일 때 가장 먼 거리까지 데이터 전송이 가능하였고, 6cm부

터 13cm까지 높은 디코딩 성공률을 보여준다. 14cm부터 낮아지는 디코딩 성공률은 제안된 스마트폰의 영상 처리과정에서 수신 모듈의 중심과 반지름의 길이를 측정하는 부분에서 더욱 정밀한 측정방법을 고안한다면 13cm 이후 거리에서도 높은 디코딩 성공률을 보여줄 것이라고 생각한다. 본 연구로 IoT 플랫폼에 가시광통신 적용 가능성을 확인하였다. 앞으로의 계획은 구현된 시스템에 동기화 부분을 연구하여 실시간 모니터링 시스템으로 발전시키고 다양한 데이터를 동시 수집 가능하게 하며, 수집된 대량의 데이터를 가공 처리를 위한 빅데이터 분석 기능을 탑재 시키도록 연구할 계획이다.

REFERENCES

- [1] Seung Wan Jo, Hoon Oh, Kyusung Shim, Kyuhyun Shim, Jongmyung Lee, and Beongku An, "Development of Mobile Cloud Computing Client UI/UX based on Open Source SPICE," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 53, No. 8, 1234-1240, August 2016.
- [2] Ki-Hwan Kim, Dae-Cheol Kim, Yong-Tae Shin, "The Study for Trends of Internet of Things and Next-generations' Security Technologies," Korean Society For Internet Information, Vol16, No. 2, 69-70, October 2015.
- [3] Chao Wang, Minglun Zhang, Hetian Zhu, Xujing Guo, Xiangwen Zhai and Xiaonan Bai, "Visible light communication application scenarios based on android smart devices' led lamp," Proc. of ICOCN 2015, Nanjing, July 2015.
- [4] S. Singh, G. Kakamanshadi and S. Gupta, "Visible Light Communication-an emerging wireless communication technology," Proc. of RAECS 2015, Chandigarh, December 2015.
- [5] Seung Wan Jo, Hoon Oh and Yeon Jae Lee, "LED-to-LED Two Way Visible Light Communication System," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol.53, No. 1, 79-85, January 2016.
- [6] J. A. Baloch, S. Ahmed, S. Shigrii and J. R. Bhatti, "MUETSenses: A wireless sensor network based indoor environment monitoring system," Proc. of ISAP 2015, Hobart, November 2015.
- [7] Jeong-Won Kim, "A Smart Home Prototype Implementation Using Raspberry Pi," The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 10, No. 10, 1139-1144, October 2015.
- [8] Michail Vasilakis, "DynaLight: A Dynamic Visible

Light Communication Link for Smartphones,” Delft University of Technology, December 2015.

- 9] Christos Danakis, “Using a CMOS Camera Sensor for Visible Light Communication,” IEEE Workshop on Optical Wireless Communications, 1244-1248, December 2012.

- [10] Keith B. Hunter, James M. Conrad and Andrew R. Willis, “Visible Light Communication Using a Digital Camera and an LED Flashlight,” IEEE SOUTHEASTCON 2014, Lexington, 1-5, March 2014.

- [11] Kil-Sung Park, “Development of transceiver using Flashlight and camera in VLWC,” Advanced Science and Technology Letters, Vol. 77, 23-32, December 2014.

저 자 소 개



오 훈(학생회원)
2011~2017년 홍익대학교 컴퓨터
정보통신공학과 졸업
<주관심분야: IoT, 무선네트워크,
VLC>



안 병 구(평생회원)-교신저자
1988년 경북대학교 전자공학과 (B.S)
1996년 (미)New York University
(Polytechnic), Dept. of
Computer and Electrical
Eng., NY, USA (M.S)



이 연 재(학생회원)
2013~2017년 홍익대학교 컴퓨터
정보통신공학과 졸업
<주관심분야: IoT, 무선네트워크,
VLC>

2002년 (미)New Jersey Institute of Technology
(NJIT), Dept. of Computer and Electrical
Eng., NJ, USA (Ph.D)

1989~1994년 포항산업과학기술연구원(RIST), 선임
연구원

2012년 대한전자공학회 컴퓨터소사이어티 회장
2003년~현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
<주관심분야: Mobile Wireless Networks, Ad-hoc
& Sensor Networks, 5G Networks, IoT, Mobile
Cloud Computing, Multicast Routing, QoS Routing,
VLC, Cognitive Radio Networks, Energy Harvesting,
Physical Layer Security, Cross-Layer Technology,
Network Coding, Cooperative Communication,
Bioinformatics>



박 수 빈(학생회원)
2015~현재 홍익대학교 컴퓨터정
보통신공학과 재학
<주관심분야: IoT, 무선네트워크, VLC>



안 현 식(학생회원)
2015~현재 홍익대학교 컴퓨터정
보통신공학과 재학
<주관심분야: IoT, 무선네트워크, VLC>