

LoRaWAN을 이용한 가로등 관리 시스템

이 예 원*, 유 지 영*, 신 수 용*, 채 석°

Streetlight Management System Using LoRaWAN

Ye-Won Lee*, Ji-Yeong Yu*, Soo-Young Shin*, Seog Chae°

요 약

기존에 개발된 스마트 가로등 관리 시스템은 도로에 설치된 가로등을 관리 및 유지보수하기 위해서 많은 시간과 비용이 필요하여 현재까지도 보급률이 매우 낮다. 따라서 본 논문에서는 기존의 가로등 관리 시스템들과 달리 장거리 통신이 가능하며 초기비용 및 유지비용이 상대적으로 저렴한 Long Range Wide-Area Network (LoRaWAN) 통신을 이용한 가로등 관리 시스템을 제안한다. 또한 가로등의 상태 및 가로등 주변의 환경을 GUI에서 실시간 모니터링 및 제어를 하여 설치된 가로등에 문제가 발생 시 빠른 시간 내에 이를 확인할 수 있다. 마지막으로 구현된 시스템의 LoRaWAN 통신 테스트 및 센서 정확도 테스트를 실시하여 시스템의 성능을 검증한다.

Key Words : LoRaWAN, Streetlight, Raspberry Pi, LPWAN, LoRa

ABSTRACT

Supply rate is very low because conventional smart system of streetlight management requires a lot of time and cost until now. In this paper, we demonstrated maintaining system for streetlight which uses LoRaWAN to solve following those reasons. Using LoRaWAN is subject to build long range and low power communication. Furthermore, it helps to make low initial and cost for maintenance. Detecting problem of streetlight in real time and controlling streetlight based on situation and environment are additional benefits. This system on control part is carried by administrator in GUI environment. Finally, we verified the proposed system of performance for LoRaWAN communication and sensor accuracy.

1. 서 론

가로등은 보행자나 운전자 등이 야간에 활동할 때, 주간과 동일한 시각능력을 유지하도록 하여 교통사고 및 범죄 등을 예방하며 도로 이용자들의 불안감을 낮추어 도로를 효율적으로 사용하도록 한다. 하지만 가로등의 특성상 넓은 지역에 설치되어야 하며, 이를 관리 및 유지보수하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소요된다. 이로 인해 최근에 많은 스마트 가로등 시스템

들이 개발되었지만, 높은 비용에 비하여 낮은 효율성 때문에 현재까지도 낮은 보급률을 가지고 있다.^[1-3]

가로등을 효율적으로 관리하기 위하여 기존에 개발된 Wisys Technologies의 EZLuz 시스템^[2]이나 CITY SENSE^[3] 등의 스마트 가로등 시스템이 있다. 하지만 기존의 가로등 시스템에서는 수집한 데이터들을 ZigBee^[4] 또는 이동통신 (3G, 4G)과 같은 Radio Frequency (RF) 기술을 이용하여 전송하는데 해당 주파수 대역을 사용하기 위해 높은 유지비용이 필요하

※ 이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임

• First Author : Kumoh National Institute of Technology, dldpdnjs1566@naver.com, 정희원

° Corresponding Author : Kumoh National Institute of Technology, schae@kumoh.ac.kr, 정희원

* Kumoh National Institute of Technology, zag001@naver.com, wdragon@kumoh.ac.kr 종신회원

논문번호 : KICS2016-12-373, Received December 7, 2016; Revised February 13, 2017; Accepted March 6, 2017

다.^[5] 그리고 한 서버에 동시에 연결이 가능한 장비의 수도 적으므로 높은 구축비용에 비하여 낮은 효율성을 가진다. 서버에 연결되는 장비의 수가 제한되기 때문에 가로등에 문제가 발생하여도 고장 난 채로 오랫동안 방치되는 경우가 빈번하다. 특히 산간 및 도서 지역 같은 경우에는 기존의 RF 기술로는 접근성이 떨어지기 때문에 새로운 통신 방법이 필요하다.

본 논문에서는 위의 문제를 해결하기 위하여 Long Range Wide-Area Network (LoRaWAN)을 이용한 LED 가로등의 원격 제어 및 실시간 모니터링 시스템을 제안한다. 전압 센서 및 전류 센서, 온도 센서 및 습도 센서, 조도 센서, GPS 모듈 등을 이용하여 가로등의 동작 상태 및 주변의 환경을 모니터링을 할 수 있고 장거리 저전력 통신을 이용하기 때문에 기존의 가로등 시스템의 문제를 해결할 수 있다. 특히 제안하는 시스템은 비면허 주파수 대역인 Industry-Science-Medical (ISM) Band를 이용하고 LoRaWAN의 모듈이 ZigBee나 Wi-Fi 등의 통신 모듈에 비해 1/5 수준의 가격을 가지므로 초기 설치비용 및 유지비용이 상대적으로 저렴하다. 또 다른 장점으로는 특정 채널에 간섭이 있더라도 간섭이 없는 다른 채널을 자동으로 찾으므로 전송 실패가 되더라도 자동으로 정보를 재전송하여 수신된 데이터의 신뢰성이 높다.^[6] LoRaWAN 통신으로 수신한 데이터들은 관리자가 효율적으로 모니터링 및 제어할 수 있는 LabView 기반의 Graphical User Interface (GUI)를 구성하였고, 이를 이용하여 저비용으로 시스템을 구축하고 서버를 통해 데이터를 수집 및 저장하여 관리할 수 있도록 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 통신 방법으로 이용한 LoRaWAN을 서술하고 시스템 모델을 하드웨어와 소프트웨어로 구분하여 설명한다. 3장에서는 LoRaWAN 통신 성능 및 센서 정확도 테스트하여 기존의 통신 방법과의 비교를 기술한다. 마지막으로 4장에서는 결론으로 끝을 맺는다.

II. 본 론

2.1 LoRaWAN

LoRaWAN은 Low Power Wide Area Network (LPWAN) 기술 중 하나로 정보를 처리하기 위해 최근에 개발된 저전력 장거리 무선 통신이다.^[7] 그림 1 과 같이 기존의 Wi-Fi나 ZigBee와 같은 무선 통신 기술은 전송 속도는 높지만 통신 거리가 100m 이내로 짧다.^[8] 그러나 LoRaWAN의 최소 통신거리가 약 500m로 장거리 통신을 지원한다.

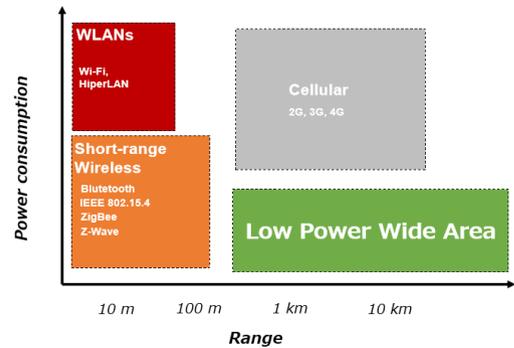


그림 1 상용화 되어 있는 무선 통신 기술
Fig. 1. Commercialized Wireless Communication Technology

높은 보안성을 가지기 위해 Advanced Encryption Standard base64 (AES base64) 방식을 사용하고^[9] 통신 모듈이 ZigBee나 Wi-Fi 등의 통신 모듈에 비해 1/5 수준으로 저렴하며, 한 번에 최대 20,000여 개의 클라이언트를 연결할 수 있다. LoRaWAN의 통신 가능 거리는 최대 16km이며, 통신 주파수 대역은 ISM Band인 915MHz 대역으로 비면허 대역이기 때문에 주파수 이용에 따른 비용이 발생하지 않는다.^[10] 특히 LoRaWAN 통신은 특정 주파수에 간섭이 있더라도 간섭이 없는 다른 주파수를 자동적으로 찾으며 이를 이용하여 만약 전송을 실패하더라도 자동으로 정보를 재전송하여 안정적으로 정확한 정보를 제공할 수 있다. 이러한 여러 가지 장점들을 기반으로 규모가 큰 농장이나 공장 등에서 LoRaWAN을 이용한 산업 설비나 주변 환경 등의 모니터링 및 제어를 위해 시스템이 구축되고 있다.^[11]

2.2 시스템 모델

본 논문에서는 LoRaWAN을 이용한 가로등 관리 시스템 모델을 그림 2와 같이 제안한다. 그리고 LoRaWAN 통신 모듈과 각종 센서들을 연결한 Raspberry Pi, Router, 관리자용 GUI로 구성하였다. 다수의 데이터를 처리할 수 있는 쓰레드 기능을 가진 Raspberry Pi를 Micro Controller Unit (MCU)로 선정하였고, 각종 센서 및 LoRaWAN 통신 모듈이 결합된 Raspberry Pi를 다수의 가로등에 부착하여 GPS 좌표, 전류, 전압, 조도, 온도, 습도 등을 측정한다. 측정된 정보들을 LoRaWAN 통신을 이용하여 Router로 전송하며 Router에서는 TCP/IP 통신을 이용하여 데이터를 PC로 전송하고 이를 LabView로 구성한 GUI에서 데이터들을 출력하도록 한다. 또한 각각의 가로등마다 식별 번호를 부여하여 가로등 동작 상태 및 주

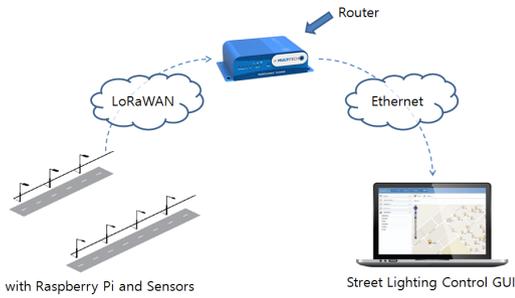


그림 2. 시스템 모델
Fig. 2. System model

변 환경에 적합하도록 가로등의 밝기와 점등 상태를 조절한다.

전체적인 시스템은 Raspberry Pi를 각종 센서 데이터를 수집할 수 있는 통합 센서 Printed Circuit Board (PCB)와 연결하여 그림 3과 같이 구성하였다. 통합 센서 PCB를 통해 수집한 전압 및 전류 값으로 가로등 동작 상태를 실시간으로 파악하며 이를 모니터링 시스템을 통해 확인할 수 있다. 그리고 습도 값을 통해 가로등 주변에 안개가 발생함을 파악하게 되면 가로등의 동작을 점멸하도록 하여 운전자나 보행자의 시야확보를 돕는다. 조도 값을 이용하여 야간이 되거나 주변 환경이 어두워진 상태로 일정 시간이 유지되면 가로등을 자동으로 점등한다. 이처럼 다수의 센서 정보를 통해 모니터링 및 상황에 맞는 자동적인 제어가 가능하도록 하는 것이 시스템의 목적이다.



그림 3. 테스트베드
Fig. 3. Test bed

2.2.1 하드웨어

시스템의 하드웨어는 그림 4와 같이 통합 센서 PCB를 통해 수집한 데이터를 기반으로 가로등 동작 상태 및 주변 환경을 파악할 수 있게 구성하였다. 수집한 데이터를 전송하기 위한 패킷으로 처리하기 위하여 General Purpose Input/Output (GPIO)핀을 이용하여 그림 5처럼 통합 센서 PCB와 Raspberry Pi를 연결하였다.

MCU와 각종 센서들 간의 통신 방법을 표 1을 통해 소개한다. 온습도 센서는 디지털 값으로 데이터를 측정하기 때문에 GPIO핀을 사용한다. 조도 센서와 전류 및 전압 센서는 아날로그 데이터를 측정하고 Analog-Digital Converter (ADC) 컨버터를 연결하여 이를 디지털 값으로 변경한 뒤에 MCU와 연결하며 Serial Peripheral Interface (SPI) 통신을 사용한다. SPI 통신은 직렬 시리얼 통신으로 Serial Clock (SCLK), Master Output/Slave Input (MOSI), Master Input/Slave Output (MISO) 3개의 단자를 이용하여 순환 큐 방식으로 동작한다. 구조가 단순하여 회로 구성 및 코딩이 쉽고 1:1 뿐만 아니라 1:N 통신이 가능하여 다수의 센서를 동시에 사용할 수 있으므로 조도,

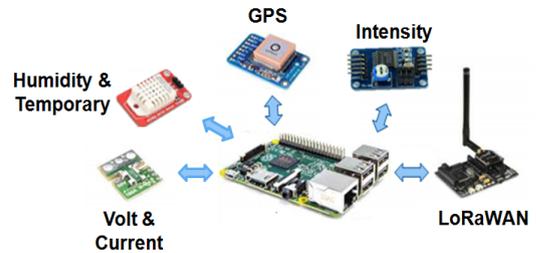


그림 4. 하드웨어 구성도
Fig. 4. Hardware configuration diagram

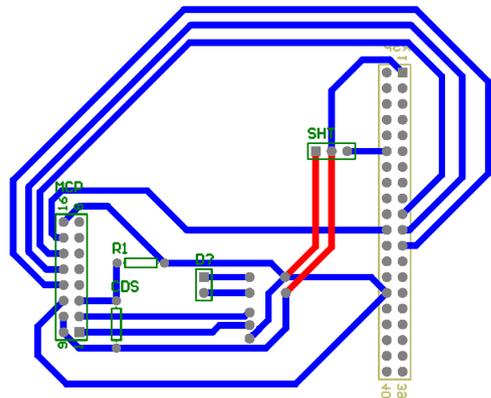


그림 5. PCB 배선도
Fig. 5. PCB wiring diagram

표 1. 센서 통신 방법
Table 1. Way of Sensors Communication

Sensor	Temporary, Humidity	Current, Volt	Illumination	GPS	Communication
Model	DHT22	Attopilot DC Voltage and Current	PCF8591	ada-746	MTDOT-915
Interface	GPIO	SPI		UART	

전류, 전압 값을 처리하기에 용이한 방법이다.

USB 컨버터를 이용한 Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) 통신으로 GPS와 LoRaWAN 모듈을 MCU와 연결하였다. UART 통신은 병렬 데이터를 직렬 방식으로 전환하여 데이터를 전송하므로 통신 속도가 빠르고 안정성이 높으며, USB 컨버터를 사용하기 때문에 모듈이 고장 날 경우에도 쉬운 교체가 가능하다.

LoRaWAN 모듈은 Frequency Shift Keying (FSK) 변조 방식과 Adaptive Data Rate (ADR)를 이용해서 낮은 전력 소모와 데이터 전송 효율 향상을 목적으로 하며, LoRaWAN 모듈이 지원하는 주파수 대역들은 868MHz, 443MHz, 915MHz, 430MHz인데 이 중에 제안하는 시스템에서는 다른 주파수 이용대역과 겹치지 않도록 915MHz대역 모듈을 사용한다.

2.2.2 소프트웨어

(1) 시스템 흐름도

본 논문에서 제안하는 실시간 모니터링 시스템 흐름도는 그림 6과 같이 구성된다. 테스트베드가 동작하면 센서들을 통해 수집한 데이터를 LoRaWAN 통신으로 Router에 전송한다. 이 데이터를 기반으로 가로등의 동작 상태 및 주변 환경 상태를 주시한다. 가로등 동작 상태의 변화가 확인되면 GUI에서 이를 알림과 동시에 식별번호를 확인한다. 첫 번째 대처로 해당 가로등을 리셋시킴으로써 원상태로 복원 가능함을 확인한다. 이후에 문제가 없으면 계속하여 가로등의 동작 상태 및 주변 환경 데이터를 수집한다. 그러나 문제가 지속적으로 발생할 경우에는 문제 발생 가로등 시스템 리스트에 등록하고 이 리스트를 기반으로 고장 및 수리 관련 인력을 파견하여 문제를 해결한다. 가로등 주변 환경을 위해 수집한 데이터를 기반으로 자동으로 알맞은 가로등의 동작을 제어하여 점멸하거나 점등하도록 한다.

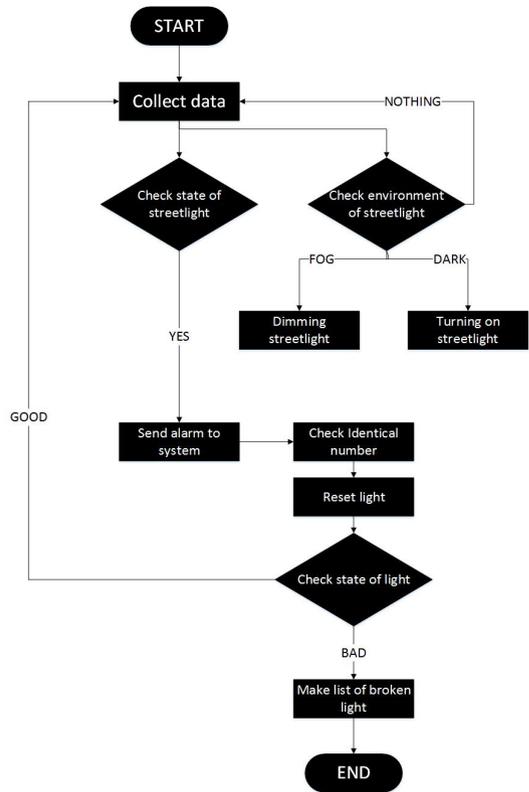


그림 6. 시스템 흐름도
Fig. 6. System flow chart

(2) 데이터 프레임

주파수 대역, 네트워크 이름, 비밀번호 등과 초기 값을 설정하여야 LoRaWAN 모듈을 이용한 통신이 가능하다. MULTITECH사에서 제공하는 값을 이용하여 초기 값을 구하였으며^[12], 통신을 할 때마다 매번 초기 값을 설정해야하는 번거로움을 없애기 위하여 자동적으로 지정한 값을 채우도록 코딩하였다.

표 2에서는 각종 데이터 정보를 전송하기 위하여 구성한 데이터 프레임을 보여준다. 각각의 가로등을 관리하기 용이하도록 식별 번호를 Binary-Coded

표 2. 데이터 프레임
Table 2. Data Frame

ID Number	Volt	Current	Intensity	Humidity	Temporary	Time	Latitude	Longitude	Date
1byte	3byte	3byte	2byte	2byte	2byte	6byte	8byte	9byte	6byte

Decimal (BCD) 코딩으로 만든다. 이는 Raspberry Pi를 빌드할 때 사용자가 임의로 지정할 수 있도록 한다. 이 식별번호 데이터와 통합 센서 PCB를 통해 수집한 데이터를 정렬하여 데이터 프레임을 구성하며, 데이터 사이즈를 최적화하기 위하여 데이터 명을 제외한 측정값 값만 전송한다.

보안성을 증대시키기 위하여 LoRaWAN 통신은 AES base64 방식을 이용하여 데이터를 암호화 한 후에 데이터를 전송한다.^[13] 이를 Router에서는 디코더를 이용하여 데이터를 디코딩하며, 다른 통신에 비하여 안정성이 높으며 별도의 데이터 및 구축비용이 들지 않는 TCP/IP 통신을 이용하여 PC로 데이터를 보낸다. PC에서는 이 데이터들을 기반으로 GUI 및 서버를 구축한다.

(3) Labview를 이용한 GUI

LoRaWAN 통신을 이용하여 10초 주기로 Router에 전송한 데이터 값을 TCP/IP 통신으로 PC로 데이터를 전송하며 이 데이터들을 기반으로 GUI에서 가로등을 모니터링 및 제어를 하도록 구현하였다. LabView에서는 github의 MQTT 오픈 소스^[14] 이용하여 그림 7처럼 구성하였으며, Router의 IP를 설정하여 GUI에서 Router가 수집한 데이터를 이용할 수 있도록 한다.^[15]

MQTT는 Machine to Machine (M2M)기능과 Internet of Things (IoT)의 발전에 따라 개발된 오픈

소스로 낮은 전력 및 낮은 대역폭 환경에서도 사용할 수 있도록 설계되었다. 또한 높은 안정성과 간편한 구성을 기반으로 모니터링 및 제어시스템에서 널리 활용되므로 본 가로등 관리 시스템에서 이를 이용하였다.

MQTT는 메시지를 송수신하기 위해 Topic을 생성하는 Publish와 토픽을 전송받기 위한 Subscribe를 Broker에 연결한다. 이들은 모두 MQTT Broker에 대한 클라이언트로 작동하며 여러 개의 Publisher와 Subscriber를 하나의 Broker나 Topic에 연결할 수 있다. 또한 메시지 필드에서 몇 가지 설정을 한다. 메시지 필드는 Connection Status, MQTT Broker, Subscription info Array 등 세 부분으로 나뉘어 있으며 Connection Status에서는 연결 상태를 나타내며, MQTT Broker에서는 Router의 IP와 Port를 설정할 수 있다. Port를 1883으로 지정하여 암호화되지 않은 포트를 이용한다. Subscription Info Array 블록에서는 각각의 메시지를 구분하기 위한 Topic과 데이터 전송 방식에 따라 QoS를 설정할 수 있다.

Topic은 슬래시(/)로 구분되는 계층구조를 가지며, 이를 이용하여 대량의 센서 기기들을 효율적으로 관리할 수 있다. Topic level로써 계층 명칭을 lora로 설정하였고, 한 개의 Topic을 임의의 Topic으로 대체하는 기능을 하도록 와일드 카드문자인 '+'로 지정하였다. 마지막 계층은 up과 down으로 설정할 수 있으며 down일 경우 디코딩된 데이터를 GUI로 가져오고 up일 경우 인코딩된 데이터를 가져올 수 있다. 본 시스템

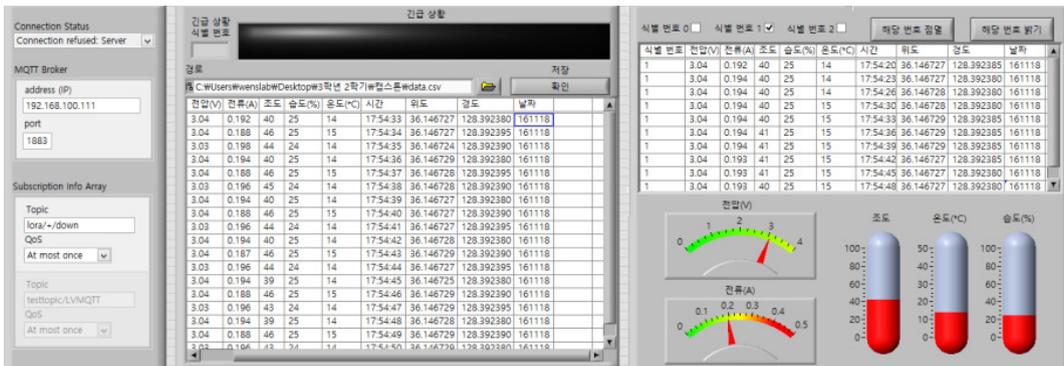


그림 7. LabView로 구현한 GUI
Fig. 7. GUI implemented with LabView

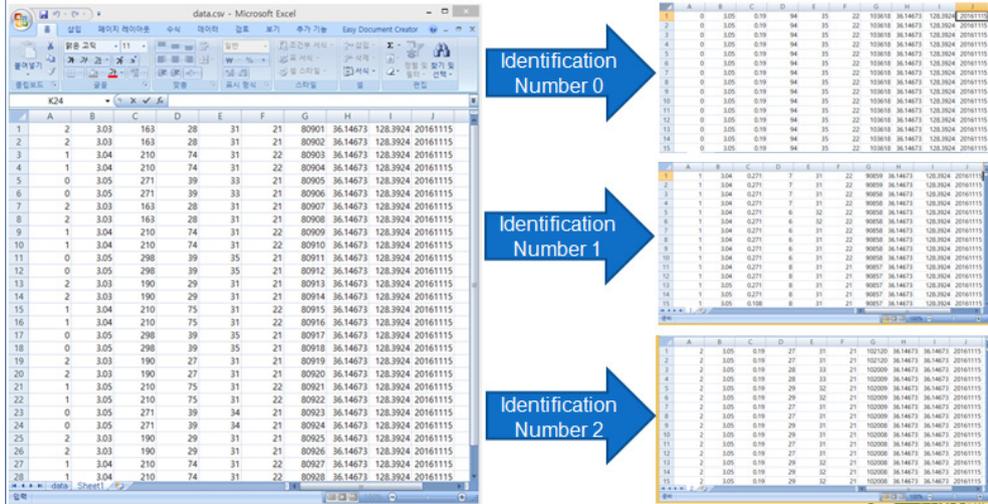


그림 8. 주기적으로 저장되는 데이터 값
Fig. 8. Periodically stored data values

템에서는 Topic을 lora+/+down으로 설정하여 디코딩된 데이터를 GUI에서 이용한다.

Quality of Service (QoS)는 수신자와 송신자 간의 협약으로 데이터 전송 방식에 따라 At most once, At least once, Exactly once 3가지를 선택할 수 있다. At most once는 데이터를 단 한 번만 전송하며 통신이 실패하더라도 데이터를 재전송하지 않지만 통신대기 시간이 짧으므로 데이터를 수시로 전송받는 시스템에 적합하다. At least once는 통신을 성공할 때까지 데이터를 재전송하며 데이터가 중복 전송될 수도 있다. 또한 통신대기 시간이 길어 데이터를 자주 전송받지 않고 정확도를 요구하는 시스템에 적합하다. Exactly once는 보안 수준을 가장 높게 설정하여 정확한 데이터를 한 번만 수신 받을 수 있지만 통신대기 시간이 긴 편이다. 기존에는 Exactly once를 이용하여 시스템을 구성하여 정확한 정보를 전송 받았지만, 통신대기 시간이 길어서 실시간 모니터링의 의미가 퇴색되었다. 이를 해결하기 위해 데이터를 주기적으로 전송받으며 통신대기 시간이 짧은 At most once로 수정하였다.

수집한 데이터를 항목별로 분할하여 중앙의 전체 데이터 시트에 전압, 전류, 습도, 온도, 시간, 위도, 경도, 날짜순으로 출력하도록 하였다. 각 가로등에 부여한 식별번호와 무관하게 모든 데이터가 출력되며, 가로등 중 하나라도 동작에 문제가 생기면 긴급 상황 기록에 알림으로 불이 들어오게 된다.

우측 상단의 데이터 시트에서는 BCD 코딩을 이용하여 만든 식별번호에 따라 데이터를 나눌 수 있게 하였고 그림 8과 같이 주기적으로 수집한 데이터를

Excel 파일로 자동 저장시킴으로써 Data Base (DB)를 생성한다. 이 때, Excel 파일의 경로는 관리자가 쉽게 변경할 수 있으며 이 DB를 이용한 시간대별 가로등 주변 환경에 대한 분석이 가능하다. 관리자들이 쉽게 전압 및 전류를 확인할 수 있도록 시각적인 상태 알림 창을 구성하였고 기상정보나 주의보에 따라 수동적으로 가로등을 점멸 또는 점등할 수 있다.

Ⅲ. 성능 평가

본 연구 결과의 성능을 평가하기 위하여 2가지의 항목을 선정하여 LoRaWAN, ZigBee, Wi-Fi로 3가지 통신 방법을 비교하였다. 그림 9와 같이 실내의 Non-Line of Sight (NLOS) 환경에서 캐킷로스를 기준으로 가능한 최대 거리를 측정하였고, 그림 10과 같

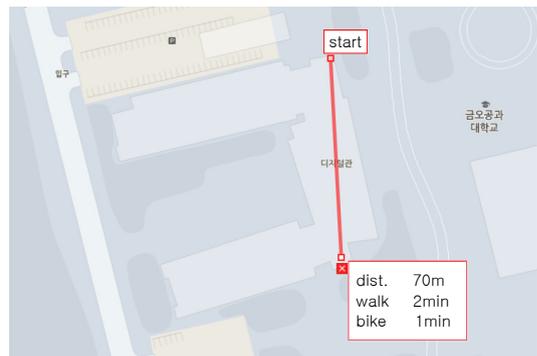


그림 9. LoRaWAN 실내 통신 거리 테스트
Fig. 9. LoRaWAN indoor communication distance test

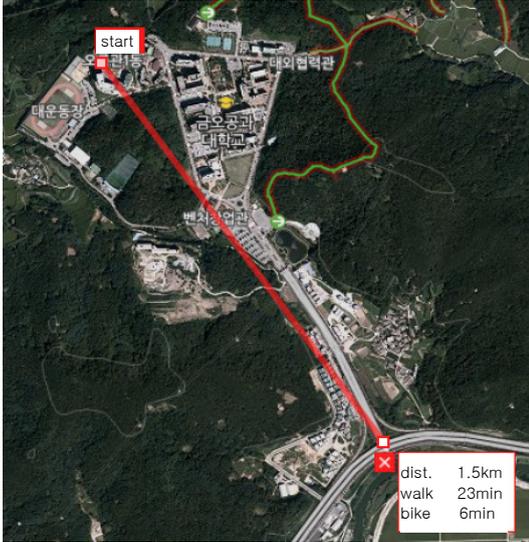


그림 10. LoRaWAN 실외 통신 거리 테스트
Fig. 10. LoRaWAN outdoor communication distance test

이 실외의 Line of Sight (LOS) 환경에서도 최대 거리를 측정하였다. 그리고 통합 센서 PCB를 이용하여 수집한 데이터를 전용 디지털 멀티미터, 조도계, 온습도계로 측정된 값과 비교하여 오차율을 분석하였다. 이 오차율은 각 센서들의 데이터 시트를 기준으로 비교하였다.

3.1 LoRaWAN 통신 성능 평가

통신 거리 테스트를 위하여 국내 ISM Band 대역인 915MHz를 사용하는 MULTITECH사의 MTDOT-915 LoRaWAN 모듈을 이용하였다. 이 성능 테스트를 위하여 그림 11과 같이 노트북 1대, Router 1대, LoRaWAN 통신을 하는 테스트베드 1대로 노드를 구축하였다. 실내 환경에서는 PC와 Router의 거리를 2m로 하였으며, 데이터 전송률이 98.5%일 때를 기준으로 실내에서는 최대 통신 거리가 70m 그리고 실외에서는 1.5km를 측정하였다.

표 3에서는 Router와 테스트베드의 거리에 따라 신호의 세기를 측정함으로써 성능을 테스트하였다. 이때, 신호의 세기는 Router의 로그창에 출력되는



그림 11. LoRaWAN 통신 모듈의 무선 전송 거리 테스트
Fig. 11. Wireless transmission distance measurement test of LoRaWAN communication module

LoRaWAN의 Receive Side Scaling (RSS)을 이용하여 LoRaWAN, Wi-Fi, ZigBee 통신을 이용하여 통신 거리에 따른 RSS를 비교하였다. Wi-Fi는 IEEE 802.11ac 기반의 무선 매쉬 통신 모듈인 MR1750를 사용하였으며 ZigBee는 Digi XBee ZB S2 통신 모듈을 선정하였다.

LoRaWAN을 이용하여 안정적으로 통신이 가능한 RSS는 평균적으로 -100dBm이고 최대 -120dBm까지 통신이 가능하다. 표 3에서는 NLOS환경인 실내에서 다른 Wi-Fi, ZigBee 통신 방법들에 비해 안정적인 통신을 유지하는 것을 확인하였다. 표 4에서는 LOS환경인 실외에서는 최대 1.2km까지 안정적인 통신을 할 수 있음을 확인하였고, 같은 거리에서 다른 통신 방법과 비교하여 높은 RSS으로 안정적인 통신이 가능함을 확인하였다.

표 3. 실내 환경에서의 LoRaWAN 통신 테스트

Table 3. LoRaWAN communication test in indoor environment

Distance (m)	LoRaWAN Average RSS(dBm)	ZigBee Average RSS(dBm)	Wi-Fi Average RSS(dBm)
0	-30	-37	-40
10	-48	-60	-79
30	-59	-82	-107
50	-74	-	-121
70	-98	-	-

표 4. 실외 환경에서의 LoRaWAN 통신 테스트

Table 4. LoRaWAN communication test in outdoor environment

Distance (m)	LoRaWAN Average RSS(dBm)	ZigBee Average RSS(dBm)	IEEE 802.11ac Average RSS(dBm)
300	-82	-102	-
600	-93	-107	-
900	-95	-113	-
1200	-99	-118	-
1500	-117	-125	-

3.2 센서 정확도 분석

보행자와 자동차가 많이 있는 가로등의 주변 환경과 유사하도록 유동인구와 차량이 많이 주차되어 있는 실외환경을 테스트 환경으로 선정하였다. 통합 센서 PCB를 통해 수집한 데이터를 디지털 멀티미터, 온습도계, 조도계를 이용하여 측정된 값을 비교하였다. 표 6은 측정된 값 그리고 수집한 데이터 값을 통해 도

표 5. 센서 오차율
Table 5. Error rate of Sensor

Sensor		Measurement of Range	Measurement by Sensor	Measurement by Instrument	Error rate of Sensor	Error rate from Data Sheet
Temporary	DHT22	-40~80℃	21℃	20℃	4.76%	±5%
Humidity		0~100%	29%	31%	6.45%	±5%
Current	Attopilot DC Voltage and Current	0~44.7A	0.271A	0.265A	2.21%	±1%
Volt		-0.3~51.8V	3.03V	3.11V	2.64%	±1%
Intensity	PCR8591	10~100LUX	67LUX	60LUX	10.4%	±10%

출한 측정 오차율과 데이터 시트에 나온 오차율을 비교 분석하였는데, 실제 측정된 오차율과 데이터 시트의 값을 비교하여 전체적으로 오차 이내에서 정확도를 가지는 것을 확인하였다.

IV. 결 론

기존의 가로등 관리 시스템은 가로등을 관리 및 유지 보수하기 위해 많은 시간과 비용으로 낮은 효율성을 가지기 때문에 낮은 보급률을 가지고 있다. 그러나 본 논문에서는 LoRaWAN 통신을 이용하여 적은 비용과 안정적인 관리가 가능한 가로등 관리 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 통합 센서 PCB와 Raspberry Pi를 연결하여 효율적으로 수집한 센서 데이터를 LoRaWAN 통신으로 관리자용 PC로 전송하고, Router를 통해 수신한 데이터를 LabView 기반의 GUI를 통해서 모니터링 및 수동적인 제어가 가능하다. 자동으로 가로등의 주변 환경에 적합한 점멸 및 점등이 가능하다. 추후에는 이 시스템을 신호등 관리, 버스 도착 정보 시스템 및 무인 카메라 시스템에도 적용 가능할 것으로 예상된다.

References

[1] Global Smart City, *Smart Streetlight*(2016), Retrieved Dec., 4, 2016, from <http://k-smartcity.kr/>

[2] WiSys Technologies, *EZLuz*(2015), Retrieved Nov., 23, 2016, from <https://wisystech.com/>

[3] Somadisplay, *CITY SENSE*(2015), Retrieved Nov., 24, 2016, from <http://somadisplay.com/city-sense/>

[4] J. Lee, "Adaptable PANID generation scheme for resolving address conflict based on hash mechanism in IoT environment," *J. KICS*, vol. 40, no. 12, pp. 233-239, Jan. 2015.

[5] S. H. Lee and S. Y. Shin, "Design and implementation of LED streetlight system for remote control and Wi-Fi service," *J. KICS*, vol. 40, no. 1, pp. 2392-2400, Dec. 2015.

[6] B. Moyer, *Low Power Wide Area: A Survey of Longer-Range IoT Wireless Protocols*(2015), Retrieved Sept. 7, 2015, from <http://www.eejournal.com/archives/articles/20150907-lpwa/>

[7] D.-Y. Kim and Y.-C. Kim, "Implementation of small-scale wind turbine monitoring and control system based on wireless sensor network," *J. KICS*, vol. 40, no. 9, pp. 1808-1818, Sept. 2015.

[8] S.-K. Hwang and S. Han, "A study on efficient transmission performance improvement considering the security in the wireless LAN environment," *J. KICS*, vol. 17, no. 4, pp. 837-846, Mar. 2013.

[9] LoRa Alliance, *LoRaWAN*(2016), Retrieved Nov., 22, 2016, from <https://www.lora-alliance.org/>

[10] D.-Y. Kim and S. Kim, "LoRaWAN technology for internet of things," *J. Platform Technol. (JPT)*, vol. 3, no. 1, pp. 3-8, Mar. 2015.

[11] J. A. Gutierrez, M. Naeve, E. Callaway, M. Bourgeois, V. Mitter, and B. Heile, "IEEE 802.15.4: A developing standard for low power low-cost wireless personal area networks," *IEEE Network*, vol. 15, no. 5, pp. 12-19, Oct. 2001.

[12] MULTITECH, *MultiConnect Conduit*(2016), Retrieved Feb., 22, 2017, from <http://www>

w.multitech.net/developer/products/conduit/

- [13] I.-S. Cho and H.-S. Kwon, "Design and implementation of electronic medical record system based on HL7-CDA for the exchange of clinical information," *J. KICS*, vol. 33, no. 5, pp. 379-385, May 2008.
- [14] Github, *MQTT LabView Client*(2016), Retrieved Feb., 22, 2017, from <https://github.com/DAQIO/LVMQTT/blob/master/MQTT%20LabVIEW%20Client.vipb>
- [15] NATIONAL INSTRUMENTS, *MQTT*(2013), Retrieved Feb., 22, 2017, from <http://forums.ni.com/t5/Example-Program-Drafts/MQTT-Client-API-in-native-LabVIEW/ta-p/3520582>

이 예 원 (Ye-Won Lee)



2014년 3월~현재 : 금오공과대학교 전자공학부 학사과정
<관심분야> 임베디드, 무선통신

유 지 영 (Ji-Yeong Yu)



2014년 3월~현재 : 금오공과대학교 전자공학부 학사과정
<관심분야> 임베디드, 무선통신

신 수 용 (Soo-Young Shin)



1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
2001년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
2006년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2010년~현재 : 국립금오공과대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 5G and FRA, Wireless Communication/Network, Internet of Things, signal processing, etc.

채 석 (Seog Chae)



1978년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
1980년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 석사
1989년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 박사
1983년~현재 : 국립금오공과대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 지식 기반 지능 시스템, 네트워크 기반 제어