Regular paper | Journal of the KIECS. pp. 913-922, vol. 15, no. 5, Oct. 31. 2020, t. 103, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2020.15.5.913

LoRaWAN IoT 원격검침장치 개발

박재삼*

Development of LoRaWAN IoT Automatic Meter Reading Systems

Jae-Sam Park*

요 약

본 논문에서는 무라타 전자의 LoRa RF 모듈을 이용한 LoRa 통신모듈을 설계하여 디지털미터기에 장착하는 구성과, 다수의 미터기 데이터를 DCU(Data Concentrate Unit)에서 정합하여 LoRaWAN 으로 네트워크를 구성하는 원격검침 네트워크 구성 방법을 제시한다. 개발된 시스템은 수요자의 구성에 따라 미터기를 직접 네트워크에 연결하거나 DCU로 정합하여 네트워크에 연결하도록 선택가능하게 함으로써 기존 시스템 보다 네트워크 구성에 있어서 용이하고 경제적으로 설치가능하다. 개발된 시스템은 디지털수도미터기를 예로하여 구성하였지만 전기, 수도, 가스, 온수 및 난방 등 타계량기의 계량값을 원격검침 하는데도 적용가능하다. 주요개발 내용은 디지털미터기, LoRa 모듈, DCU 설계, 구성 및 제작과 LoRaWAN 네트워크 연결, 미터 데이터를 서버로 전송하는 방법이며, 이들 요소들을 연계하여 시스템을 구성하고 실제 LoRaWAN 통신을 테스트하고 그 결과를 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a LoRa communication module using the LoRa RF module of Murata Electronics is designed to configure the IoT digital meter remote meter reading and a method of configuring a remote meter reading network by collecting multiple meter data in a DCU (Data Concentrate Unit) to configure a network with LoRaWAN. The developed system can be installed more easily and economically in the network configuration than the existing system by allowing the meter to be directly connected to the network or matched with a DCU to connect to the network according to the configuration of the consumer. The developed system was constructed using a digital water meter as an example, but it can also be applied to remote meter reading of the metered values of other meters such as electricity, water, gas, hot water and calorie meters. The main development contents are the design, configuration, and construction of digital meters, LoRa modules and DCUs, and how to connect the LoRaWAN network and transmit meter data to the server. By networking these devices, the system is configured, and the actual LoRaWAN communication is tested and the result is shown.

키워드

LoRaWAN(:Long Range Wide Area Network), IoT(Internet of Things), AMR(: Automatic Meter Reading), DCU(:Data Concentrate Unit)
장거리 광역 통신망, 사물 인터넷, 원격 검침, 데이터 정합 장치

* 교신저자: 인천대학교 전자공학과 교수
• 접 수 일 : 2020. 09. 01
• 수정완료일 : 2020. 09. 23
• 게재확정일 : 2020. 10. 15
• Received : Sep. 01, 2020, Revised : Sep. 23, 2020, Accepted : Oct. 15, 2020
• Corresponding Author : Professor, Department of Electronics Engineering, Incheon National University
Email : jaepark@inu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

LoRaWAN은 저전력, 장거리 네트워크 (LPWAN: Low Power Wide Area Network) 프로토콜로서, 배터리로 동작되는 사물을 인터넷에 무선으로 연결하도록 설계되어 산업, 과학 및 의료 (ISM) 대역의 무허가 무선 스펙트럼을 활용 가능하도록 한다. 이 사양은 LoRa 물리 계층 매개 변수와 LoRaWAN 프로토콜의 장치 간 인프라를 정의하고 장치 간의 완벽한 상호 운용성을 제공함으로써, LoRa의 저전력, 장거리 통신망의 응용 분야를 확장 가능하도록 한다[1]. LoRa는 15 Km 이상의 거리 통신과 최대 1백만 노드 수용이 가능하다. 그러나 저전력 및 장거리의 조합은 데이터 전송률을 최대 50 Kbps/sec로 제한한다. 이에 따라 LoRa 는 데이터 전송량이 적은 IoT 응용분야에 적합하다[2].

본 논문에서는, 스마트 그리드 및 스마트시티 확장으로 전기, 수도, 가스 등의 사용량 검침이 현장검침원에서 원격검침(AMR: Automatic Meter Reading) 및 첨단계량인프라(AMI: Advanced Metering Infrastructure)로 급격히 변화되고 있음에도 불구하고, 기존 원격검침 시스템이 RS485 통신 등의 유선통신 방식을 주로 사용하고 있음에 감안하여[3,4,5], LoRa 통신 모듈을 사용한 LoRaWan 원격검침 시스템 개발을 제시한다.

원격검침(AMR) 분야에서는 측정되거나 제어되는 데이터의 양이 적고 느리게 변화하는 데이터를 측정하는 것으로 충분하므로 전송횟수가 적고 대부분의 센서 노드가 멀리 떨어져 있으며 배터리로 구동되는 경우가 많음으로 최소한의 전력을 소비하면서도 장거리에 걸쳐 효율적으로 소량의 데이터 패킷을 전송할 수 있는 LoRa 프로토콜은 이러한 요구사항을 정확히 충족하는 기술이다[5,6].

일반적으로 LoRa는 배터리로 수년간 구동이 가능하고 약 10Km 이내의 통신범위가 가능하며 하나의 LoRa 모듈에 여러종류의 IoT 센서를 장착할 수 있다. 특히 LoRaWAN은 AES128비트 암호화를 사용하며 2개의 독립적 보안 계층인 네트워크 세션 키(NwkSKey)와 응용 세션 키(AppSKey)를 제공함으로서 보안체계도 좋은 편이다[1].

최근 IoT 모뎀의 하드웨어 통신모듈의 가격이 하락함에 따라, 스마트팜이나 가로 등의 원격 제어 등에 IoT 적용이 시도되고 있다. 국내의 SKT, KT, LG U+ 등의 통신사는 IoT 시장 선점을 위한 통신인프라 구축 및 저가 통신 모듈 개발공급에 많은 예산을 할애 하고 있다.

한국에서는 1993년에 전자식 전력량계를 도입·사용하기 시작하면서 정부의 스마트그리드 사업에 힘입어 전자식전력량계를 이용한 원격검침이 개발 되었고 현재에는 새로건축되는 아파트 등 집단 거주지의 검침은 100% 가까이 원격검침 시스템을 사용하고 있으며, 기존 세대에 대한 원격검침화 사업이 매년 증가하고 있다[7].

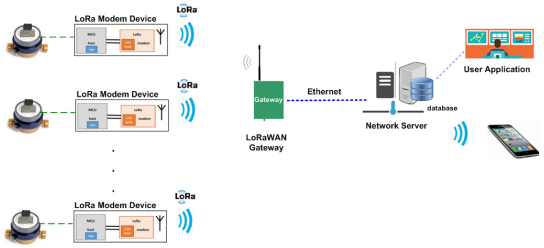
본 논문에서의 개발시스템은 두가지 방향으로 제시된다. 첫번째는 수도미터기에 LoRa 모듈을 장착하여 LoRaWAN 게이트웨이를 통하여 서버로 데이터를 전송하는 방식이고 두번째는 다수개의 디지털수도미터기를 DC-PLC로 데이터수집모듈(DCU: Data Concentrate Unit)과 연결하여 2선으로 통신 및 전원공급하며, DCU에 LoRa IoT 모듈 내장으로 LoRaWan 게이트웨이와 연결하여 세대내 계량기 검침값을 서버로 전달하는 방법이다. 첫번째 방법은 시공이 용이하나 통신에 배터리를 사용하여야 하는 단점이 있고, 두번째 방법은 검침시스템의 비용을 절감하고 계량기의 전원공급을 원할히 할 수 있어 한번 설치로 계량기 교체시까지 전원의 문제없이 동작이 가능한 반면 설치에 약간의 불편이 따른다. 개발시스템은 서버와 LoRa 무선통신 및 인터넷 통신으로 서버에서 이타베이스의 전송, 변환, 기록 등을 할 수 있으며 원격검침 뿐만 아니라 추후 원격제어가 가능하도록 할 수 있고, 다양한 계량값의 측정이 가능하여 첨단계량인프라(AMI) 등에서 필요한 시간대 별 다른 요금을 적용 할 수 있는 기능이 가능하다.

연구의 주된 내용은 2장에서 시스템구성과 원격검침용 디지털 미터기, LoRa 통신모듈설계, 원격검침을 위한 IoT 기반 DCU 설계에 대하여 설명하고, 3장에서 개발시스템의 하드웨어 동작 테스트에 관하여 다루고, 4장에서 소프트웨어 설계 및 전체 시스템 연결 테스트 방법 및 결과에 관하여 고찰하고 5장에서 결론을 논한다.

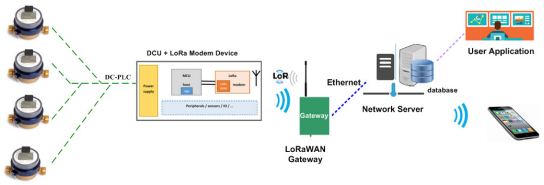
II. 시스템 구성 및 설계

2.1 전체 시스템 구성

그림 1에 본 논문에서 개발하는 시스템의 구성을 보여주고 있다. 그림1(a)는 수도미터기에 LoRa 모듈을 장착하여 LoRaWAN 게이트웨이를 통하여 서버로 데이터를 전송하는 방법에 대한 시스템구성이고, 그림 1(b)는 다수개의 디지털수도미터기를 DC-PLC로 데이터수집모듈(DCU: Data Concentrate Unit)과 연결하여 2선으로 통신 및 전원 공급하며, DCU에 LoRa IoT 모듈 내장으로 LoRaWan 게이트웨이와 연결하여 세대내 계량기 검침값을 서버로 전달하는 방법에 대한 시스템 구성이다.



(a)



(b)

(a) 미터-로라 형태 (b) DCU-로라 형태
그림 1. 시스템 구성
(a) Meter-LoRa Type (b) DCU-LoRa Type
Fig. 1 Structure of developed system

본 논문에서 사용한 LoRa 망은 사설LoRa망(Private LoRa Network)을 사용하여 LoRaWan 라우터를 통하여 인터넷으로 연결하였다. 한국에서는 SKT가 LoRa 기지국을 전국적으로 설치하여 사용하고 있으므로, SKT 망에 연결할 수도 있지만, 이 경우 LoRa 망 사용료가 추가되어야 하고, 또한 본 시스템을 LoRa 망이 없는 국외에서 설치할 경우 문제가 되므로 LoRa 라우터를 통하여 인터넷으로 연결하는 방식을 사용함으로써 이 문제를 해결하였다.

2.2 디지털수도미터기 및 LoRa 모듈

그림 2에 본 논문에서 제시한 디지털수도미터기의 구성을 보여준다. 디지털수도미터기는 그림 2에 도시된 바와 같이, ID 설정부, 센서 인터페이스부, 제어부, DC-PLC 통신부, 저장부, 전원부 및 디스플레이부 로 구성된다. 여기에서, 디지털수도미터기의 ID 설정은 외부에서 통신으로 설정 가능하도록 하여 ID(즉, 식별번호)를 저장할 수 있다. 디지털수도미터기의 전원부는 DC-PLC 통신부로 함께 입력되는 전력 및 통신 신호 중 전력을 분리하여 제어부에 공급할 수 있다. 디지털수도미터기의 인터페이스부는 수도의 사용량을 감지하는 센서의 센싱 신호를 주기적으로 수신하여 제어부에 전달하여 수도 사용량을 계산하여 저장부에 저장하고 LCD에 디스플레이한다.

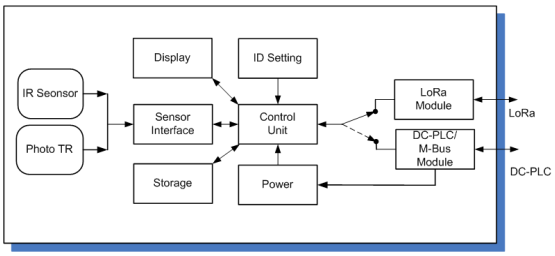


그림 2. 디지털수도미터기의 구성
Fig. 2 Structure of digital water meter

본 논문에서는 LoRa 통신을 위하여 사설망 또는 SKT 망과도 연동할 수 있는 무라타 전자의 LoRa RF 모듈 CMWX1ZZABZ-078을 사용하였다. 무라타 전자의 LoRa RF 모듈은 셈텍사의 LoRa RF Transceiver IC로 SX1276을 사용하였고 제어를 위한 MCU는 STM32 시리즈를 사용하였으며 국내 SKT사의 LoRa 인증을 취득한 LoRa RF 모듈이다[8-10]. 그림 3에 CMWX1ZZABZ-078을 사용한 로라통신보드 회로도를 보여주고, 그림 4에 디지털수도미터기와 LoRa 통신보드 연결 사진을 보여준다.

모듈이 파워온 되면 설정된 프로토콜로 초기화를 해 주어야 한다. 무라타 RF모듈은 SKT 요구사양에 따르고 있어 데이터 전송 후 TxR:1 메시지를 받고, 10초 이후에 데이터를 전송하여야 한다. 그 이전에 전송할 경우 AT Busy 메세지와 함께 데이터는 전송되지 않는다[11-14].

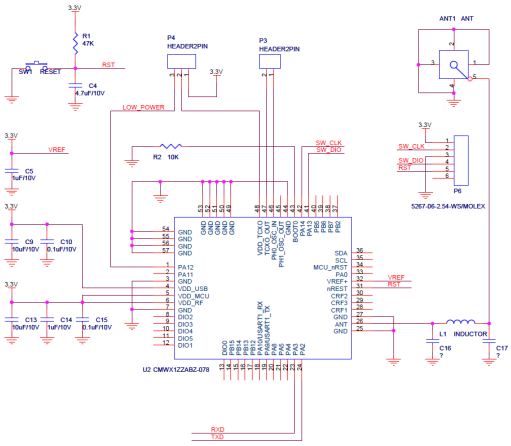


그림 3. 로라통신보드 회로도
Fig. 3 Circuit Diagram of the LoRa RF Board

그림 4. 디지털수도미터와 LoRa 통신모듈 연결
Fig. 4 The Connection of LoRa RF module and water meter

2.3 데이터수집모듈(DCU)

데이터수집모듈(DCU)의 역할은 두가지이다 하나는 다수의 디지털수도미터기를 DC-PLC로 연결하여 각 수용가의 디지털수도미터기로 부터 수도사용량의 데이터를 수집하는 것이고 다른 하나는 서버와 LoRa 통신으로 연결하여 수집된 데이터를 서버로 전송하고, 서버에서 요구하는 명령데이터를 받아 이를 수행하는 것이다. 그림 5에 DCU의 구조를 보여주고 그림 6에 제작된 DCU를 보여준다. 이러한 구조로, DCU는 서버로 부터 디지털수도미터기로부터의 데이터 수집 주기 설정 데이터를 받아 변경된 주기로 미터기로 부터 사용량 데이터를 읽어 서버로 전달할 수 있고, 미터기의 상태를 서버에 보고할 수 있다.

그림 5에 보는 바와 같이, 본 논문에서 개발된 DCU는 저장부, DC-PLC 통신부, 제어부, 무선 통신부, 유선 통신부, 외부기기 제어부, ID 설정부 및 전원 공급부를 포함하고 있다. 여기에서, DCU의 ID 설정부는 8비트의 데이터로 구성되는 ID(즉, 식별 번호)를 생성한다. 생성되는 ID는 서버에 연결된 다른 DCU들과 구별하기 위한 식별 번호이다. 한편, 디지털수도미터기의 ID 설정부에서 생성되는 ID는 각 세대내의 디지털수도미터기를 구별하기 위한 식별 번호이다.

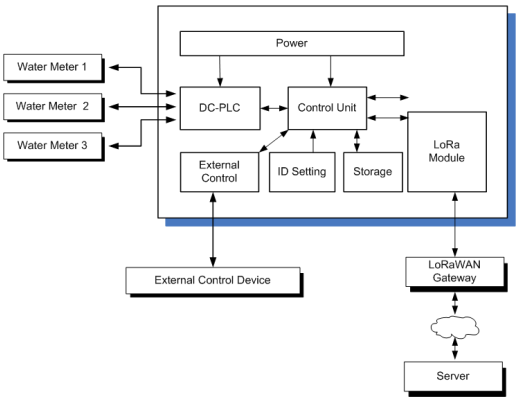


그림 5. DCU의 구성
Fig. 5 Structure of DCU

그림 6. 제작된 DCU 사진
Fig. 6 A Picture of the assembled DCU

DCU의 저장부에는 다수의 디지털수도미터기들 각각의 식별 번호와 위치 정보 및 위치 그룹 정보가 매칭시켜 저장되어 있다.

여기에서, 미터기 식별 번호는 다수의 미터기들 중 해당 미터기에 할당된 ID이고, 위치 정보는 예컨대, 102동, 103동 등과 같이 수도미터기가 위치하는 위치를 구분하기 위한 정보이다. 저장부에 저장되어 있는 데이터는 서버에 수도미터기의 제어기 식별 번호와 매칭되어 저장되어 진다.

DC-PLC 통신부는 다수의 디지털수도미터기들과 DC-PLC 방식으로 병렬 연결되어, 전원공급부로부터 인가되는 전력을 다수의 디지털수도미터기들 각각에 공급하고, 동시에, 상기 다수의 디지털수도미터기들 각각과 데이터를 송수신할 수 있다.

DC-PLC 통신부는 상기 다수의 디지털수도미터기들 각각으로부터 미터기 식별 번호 및 미터량 값을 포함하는 감지 신호를 주기적으로 수신할 수 있다.

DCU의제어부는 상기 DC-PLC 통신부가 상기 다수의 디지털수도미터기들 중 각각의 미터기로부터 미터기 식별 번호, 미터기 분류 정보, 미터량 값을 포함하는 미터기 데이터를 수신하면, 해당 미터기 데이터에 포함되어 있는 미터기 식별 번호에 기초하여, 해당 미터기의 위치 정보를 확인한 후 미터기데이터에 확인된 위치 정보 및 제어기 식별 번호를 연접하여 해당 미터기데이터를 생성한다. 이후, 무선 통신부는 무선 네트워크로 연결된 서버에 상기 생성된 해당 미터기데이터 신호를 송신한다.

본 논문에서, 무선 통신부는 그림 3에서 설명한 LoRa 통신모듈로 구현하였다. 이에따라, LoRa 게이트웨이로 구현되는 무선 통신 게이트웨이가 상기 생성된 해당 미터기 데이터 신호를 수신하고, 무선 통신 게이트웨이에 이더넷(인터넷) 으로 연결된 서버에 해당 미터데이터 신호를 송신한다. 본 논문에서, 서버는 PC로 구성하였으며 비주얼베이직으로 서버프로그램을 작성하였다.

III. 하드웨어 동작 테스트

개발된 시스템이 정상적으로 동작하는가를 테스트하기 위하여 먼저 그림 1과 같이 LoRa 사설 네트워크로 구성하여 성능을 시험한다. 구성된 LoRa 무선 네트워크 시스템은 DCU가 디지털수도미터로 부터 수집된 데이터를 게이트웨이에 Uplink하고 Node-RED를 이용하여 Uplink된 데이터를 저장 및 분석하여 필요시 Downlink를 통하여 DCU에 제어명령을 전송하는 방식이다. Node-RED를 이용하여 시스템의 하드웨어와 LoRa 네트워크가 정상적으로 동작하는가 확인 후 시스템 동작 소프트웨어를 비주얼베이직을 이용하여 작성하였다.

LoRaWAN의 MAC은 저 전력과 응답특성에 따라 선택할 수 있는 Class A, B, C의 3종류의 옵션으로 구성되어 있다[2]. Class A는 단말 데이터 송신 후 'RECEIVE_DELAY1'시간이 경과하면 상향채널과 동일한 RX1 채널을 통해 하향 데이터 송신이 시작되고, 'RECEIVE_DELAY2' 시간이 경과하면 별도 지정된 RX2 채널(한국은 921.90MHz/DR0(SF12, 125KHz))을 통해 하향 데이터를 송신할 수 있다. 이 방법은 단말의 상향 데이터 전송시도가 없으면, 기지국은 하향 데이터를 전송할 수 없다는 단점이 있으나 Class A가 소모 전력이 자장 적음으로 배터리로 전원을 공급하는 어플리케이션에 적합하다.

Class B는 하향 데이터 송신을 위한 별도의 Receive window를 일정 간격으로 추가하여, 예정된 시각에서 기지국이 주도하는 하향데이터 통신이 가능하도록 한다.

Class C는 상하향 데이터 송수신 창을 항상 열어둔 상태로서, 송신하지 않는 순간에는 늘 수신이 가능하다. 하지만 단말은 전송할 때를 제외하면 항상 Receive window를 열어둔 채로 데이터를 기다리기 때문에 전력소모가 Class A, Class B에 비해 크다는 단점이 있다. 이 방법은 가장 많은 전력을 소모하는 방법으로서 외부에서 전원이 공급되는 단말에 적용한다. 본 논문에서 개발한 첫번째 시스템은 그림 1(a)와 같이 디지털 수도미터기와 LoRaWAN 게이트웨이와 직접 통신을 하며, 이경우 Class A를 사용하여 통신한다. 본 논문에서 개발한 두번째 시스템은 그림 1(b)와 같이 DCU에서 데이터를 정합하여 전송하는 경우로서, 이때는 전원을 자유로이 사용할 수 있으므로 Class C를 사용하여 통신한다. 두번째 시스템의 경우 대단위 단지에서 첫번째 방법보다 더욱 빠른 시간에 검침이 가능하다.

통신 주파수 대역에 대한 대한민국의 규정에 의하면 917MHz부터 923.5MHz의 대역을 허가 없이 사용할 수 있는데, LoRaWAN은 921.9MHz부터 923.3MHz를 사용하고 있고, 각 주파수별로 최대 전송 TX 파워가 다르다. LoRaWAN의 최대 전송 가능한 실제 데이터 사이즈는 스펙 버전과 Data Rate에 따라 달라지며, 스펙 1.02 기준으로 51byte ~ 222byte이다[1].

본 논문에서 사용된 게이트웨이는 그림7에 보여주는 Multitech 사의 MultiConnector Conduit을 사용하였으며 LoRa 국내 요구사항인 LBT (Listen Before Talk)를 적용하기 위하여 게이트웨이에 장착된 RF모듈(mCard)의 Firm ware를 FPGA v3.3으로 업데이트 하였으며 LBT를 활성화 시켰다. 게이트웨이인 Multi Connector Conduit은 Node-RED를 이용하여 Graphical 프로그램으로 코딩할 수 있으며 그림 8과 같이 Node-RED로 프로그램 하여 업링크된 데이터를 모니터링하고 필요시 DCU에 제어명령을 하향전송 할 수 있다.

그림 7. 멀티텍사의 LoRaWAN 게이트웨이
Fig. 7 LoRaWAN Gateway by Multitech

제작된 LoRa 통신모듈을 포함한 DCU의 업링크, 다운링크의 상황을 그림 9와 같이 Uart 통신을 이용하여 LoRa AT Tool로 간단하게 확인할 수 있다. Dev EUI(Device Extended Unique Identifier)와 App EUI(Aplication Extended Unique Identifier), App Key와 LoRaWAN Class 및 LoRa의 기본적인 설정들이 End Device에 프로그램된 파라메터와 동일한 지를 확인하고 데이터 전송 상태를 시험한다..

LoRaWAN 접속 과정에서 Dev EUI와 App EUI는 단말기에 할당된 유일한 ID로 사용되며, 데이터 암호화를 위해서는 App Key가 사용된다. 단순이 App EUI는 서비스를 구분하는 ID이며 Dev EUI는 디바이스를 구분하는 ID이다. 만약 100개의 LoRa 단말기를 사용한다면, 모든 LoRa 단말기의 Dev EUI는 중복될 수 없다.

각 디지털수도미터기를 분류하기 위해서 Dev EUI 00:00:00:00:00:00:00:00의 마지막 숫자에 번호를 각각의 미터기에 부여하여 구분하였다.

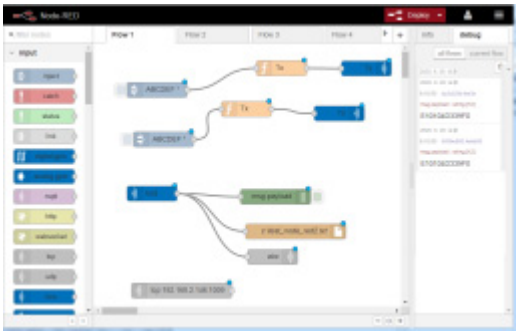


그림 8. Node-RED 데이터 송수신 모니터링
Fig. 8 Tx and Rx Monitoring using Node-RED

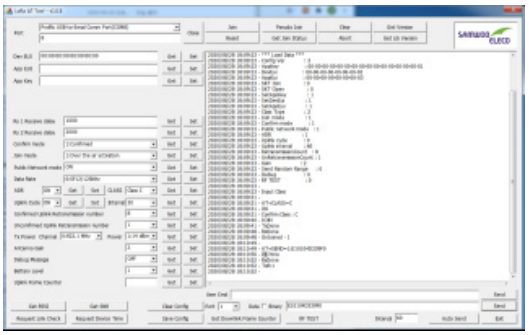


그림 9. LoRa AT Tool 송수신상태 모니터링
Fig. 9 Tx and Rx Monitoring using LoRa AT Tool

LoRa RF 모듈이 LoRaWAN Class A 프로토콜을 사용하고 한번 통신후 다음 통신주기 까지는 저 전력 모드로 진입한다. 이때 소비전류는 Mode0에서 1.65uA이며 Mode1에서는 1.40uA를 소비한다. 국내 LoRa 주파수 920Mhz 대역을 지원하며 RF 전송전력은 +14dBm, 부스트 기능 사용시 +20dBm까지 RF 출력을 올릴 수 있고 수신 RF 감도는 -135dBm이다.

IV. 소프트웨어 설계 및 시스템 연결테스트

4.1 소프트웨어 동작 설계

그림 10은 그림 1(a)와 같은 구성에서 디지털수도미터기와 서버간의 동작방법을, 그림 11은 그림 1(b)와 같은 구성에서 디지털수도미터기, 데이터정합장치(DCU) 및 서버 간의 동작 방법을 도시한 것이다. 그림 10은 서버가 각 수도미터에 검침데이터를 요구하면 수도미터는 검침데이터를 서버로 송신하고 서버는 이를 수신하는 동작을 보여고, 그림 11은 서버가 DCU에 검침데이터를 요구하면 DCU는 검침데이터를 서버로 송신하고 서버는 이를 수신하는 동작, DCU가 주기적으로 디지털미터기로부터 검침데이터를 요구(송신)하고 데이터를 수신하는 동작을 보여준다. 여기에서, DCU에서 서버로 전달되는 정보는 표 1의 프로토콜에서 보는 바와 같이 수도미터의 식별번호와 DCU의 식별번호로 구성된다. DCU는 주기적으로 수도미터로 부터 검침데이터 및 수도미터의 상태를 읽어 수도미터 식별 번호에 매칭시켜 저장하고, 서버에 수도미터의 정보 및 DCU의 정보를 송신한다. 여기에서, DCU 정보는 표 2에서 보는 바와 같이 수도미터기 식별 번호와 DCU의 식별 번호로 구성된다.

표 1. DCU-수도미터 간 프로토콜
Table 1. Communication Protocols between DCU and Water Meter

▶ *Command*

STX	ID	Meter No	LEN	Address	Data	Bcc	ETX
E1	3D	01	04	*05*	-	*28*	F0

▶ *Response*

STX	ID	Meter No	LEN	Address	Data	Bcc	ETX
E9	3D	01	09	*05*	*00 00 00 00 00*	*00*	F0

표 2. 서버-DCU 간 프로토콜
Table 2. Communication Protocols between Server and DCU

▶ Command Example

STX	ID	LEN	DCU Number	Bcc	ETX
E2	A1	07	00 01	xx	F0

▶ Response Example

STX	ID	LEN	DCU Number	Data(4 x 6 = 24 bytes)			Error code	Bcc	ETX
				Meter01	Meter02	Meter03			
E8	A1	23	00 01	78563412	78563412	78563412	00	xx	F0

먼저, 디지털수도미터기가 유량센서의 센싱신호를 받아 사용유량 계산한다. 수도미터기는 DCU로 부터 사전 설정된 시간의 주기로 데이터 요구가 오면 DC-PLC 통신부를 통해 DCU로 전달한다. DCU는 사전 설정된 주기로 서버로 부터 데이터 요구가 오면 다수의 디지털수도미터기로부터 전달받은 검침데이터와 미터기 상태 신호를 포함하는 신호를 LoRa 무선 네트워크를 통하여 서버로 전달한다. 여기에서, DCU 송신 데이터신호는 미터기의 검침데이터에 미터기의 위치정보 및 DCU의 식별 번호가 연접되어 생성된 다.

서버는 매일 1회, 매일 2회, 매 시간 등 사전 설정된 주기 마다 DCU 식별 번호를 포함하여 DCU로 검침데이터 요구 신호를 전송한다. 이 신호는 이에 대응하여, DCU는 미터기에 검침데이터 신호를 요청할 수 있고, 또는 자신이 가지고 있는 검침데이터를 서버로 전달한다.

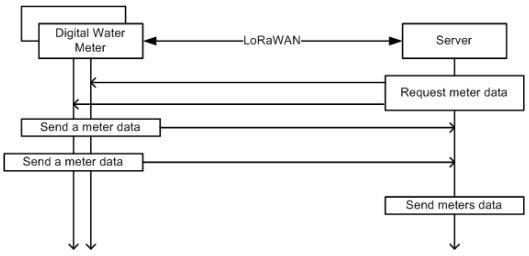


그림 10. 수도미터와 서버간 데이터 전달 과정
Fig. 10 Data Flow between Water Meters and a Server

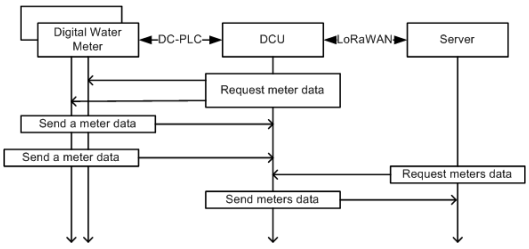


그림 11. 수도미터, DCU 및 서버 간 데이터 전달 과정
Fig. 11 Data Flow among Water Meters, a DCU and a Server

4.2 시스템 연결 테스트

4.2.1 LoRaWAN 통합시스템 테스트 구성

LoRaWAN 통합 시스템 테스트를 위하여 디지털미터기와 데이터정합장치(DCU)를 LoRaWAN 네트워크를 구성하고 미터기의 검침데이터와 미터기의 상태데이터를 웹서버에 저장하고 분석하여 제어명령을 DCU에 전송하도록 구성하였다.

테스트에 사용된 미터기는 디지털수도미터기로서 본 테스트를 위하여 자체적으로 제작하였다. 데이터정합장치(DCU)와 LoRa 전송모듈 역시 본 논문을 위하여 자체 설계 제작하였다. 4개의 디지털수도미터기와 1개의 DCU를 제작하여 시스템을 구성하였으며 DCU는 LoRa 통신모듈로 LoRaWAN 게이트웨이와 통신하도록 설정하였다. DCU가 서버로 부터 제어명령을 제어하는 장치는 알람 및 미터기 잠금 등 다양한 적용이 가능하지만 본 테스트에서는 제어명령데이터를 받아 RS485로 전송할 수 있는 포트를 구성하여 테스트하였다. 통신을 위한 게이트웨이는 멀티텍사의 MultiConnect Conduit을 사용하였고 서버의 소프트웨어는 DCU 및 디지털미터기의 검침 수신 데이터를 저장하고 제어명령 데이터를 발생하도록 비주얼베이직으로 작성하였다.

통합 성능테스트의 목적은 LoRa 무선네트워크의 데이터 전달 성능과 다수의 디지털미터기들의 전송한 데이터를 확인하고, 전송된 데이터와 연동하는 DCU들의 유기적인 동작 상태를 확인함에 있다. 또한 다수의 디지털미터기 및 DCU와 서버간 전송된 데이터들의 Packet Error Rate를 분석하여 시스템의 신뢰성을 확인하고 LoRa Network를 기반으로 한 통합시스템이 대단위 가정을 위한 검침 시스템으로서의 적합성 여부를 시험하는데 있다.

4.2.2 전송오류 및 전송거리 시험

LoRaWAN 통합 시스템 테스트에서 각각의 디지털미터기에서 데이터를 읽는 테스트를 30초에 1개의 데이터를 읽는 방식으로 24시간 데이터를 서버로 전송하여 Packet Error Rate를 분석하였다.

LoRaWAN 통합 시스템 테스트에서 전송거리는 중요하다. 본 테스트에서는 그림 12에서 보는 바와 같이 영종도 중산동의 아파트에 수도미터기와 DCU를 설치하고 LoRaWAN 게이트웨이를 노트북에 연결하여 차량을 이용하여 이동하며 테스트를 하였고 그 결과를 표 3에 보여준다.

그림 12. LoRa 전송거리 시험 위치
Fig. 12 Location of the LoRa transmission distance test

표 3. LoRa 전송거리 시험 결과
Table 3. LoRa transmission distance test result

Point	Distance	Port Payload (Tx/Rx)	Packet	Success Rate
①	600m	7bytes/32bytes	100	100%
②	900m	7bytes/32bytes	100	100%
③	1.5Km	7bytes/32bytes	100	100%
④	1.6Km	7bytes/32bytes	100	98%

그림 12의 지도상 ① 및 ② 지점은 직선거리 600m 및 900m의 비 가시거리이며 20층 이상의 고층 아파트 밀집지역이다. ③ 지점은 직선거리 1.5Km로 가시거리가 확보된 50M정도의 낮은 야산이다. ④ 지점은 1.6Km로 비 가시거리의 위치이고 구읍 뱃터 안쪽에 호텔등을 포함한 10층 이상의 건물들이 밀집된 지역이다. 테스트시 30초 마다 미터기 검침데이터를 서버에서 요청하는 방식으로 각각의 지점에서 총 100회의 데이터를 전송하여 테스트 하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 테스트 지점에서의 모든 데이터는 성공적으로 전송됨을 확인 하였다. 다만 ④ 지점에서는 약 98% 의 데이터 성공률을 보였다. 이는 건물에 의한 통신장애가 어느 정도 있음을 알수있다. 결과를 보면 실제 적용시 LoRa 안테나를 건물 외부에 설치하고 LoRaWAN 게이트웨이도 건물 외부에 설치하여 통신

할 경우 대규모 아파트 단지에서도 1.5Km 정도의 거리에서는 무난히 통신이 가능할 것으로 사료 된다.

V. 결 론

본 논문에서는 무라타 전자의 LoRa RF 모듈을 이용하여 LoRa 통신모듈을 설계하고 이를 디지털미터기에 장착하여 LoRaWAN 네트워크로 서버에서 원격검침을 수행하는 방법과, 미터기 데이터를 DCU에서 정합하여 LoRa 통신을 이용한 LoRaWAN 네트워크를 구성하여 원격검침을 구성하는 방법을 개발하였다. 이에따라, 수요자의 필요성에 따라 미터기를 직접 네트워크에 연결하거나 DCU로 정합하여 네트워크에 연결하도록 선택가능하게 할 수 있다. 개발된 시스템은 디지털수도미터기를 예로하여 구성하였지만 전기, 수도, 가스, 온수 및 난방 등 타계량기의 계량값을 원격검침 하는데도 적용가능하다. 개발된 디지털미터기, LoRa 모듈, DCU들을 LoRaWAN 및 서버 네트워크 연결 구성하여 실제 필드에서 LoRaWAN 통신을 테스트시 시스템 패킷 전송오류시험, 전송거리시험 시험을 하여 모두 양호한 결과를 보임으로써 실제 적용이 가능함을 확인 하였다.

감사의 글

본 논문은 인천대학교 2018년도 자체연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

References

[1] J. Kim, “LoRaWAN technology and domestic and overseas market trends,” *AI Nework Lab. Nework Technology Trend Report*, no. 8, 2018.

[2] J. Lim, J. Lee, D Kim, and J. Kim, “Performance Analysis of LoRa(Long Range) according to the Distances in Indoor and Outdoor Spaces”, *Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers* , vol. 44, no. 7, July, 2017, pp. 733-741.

[3] J. Park, “Development of Automatic Meter Reading and Meter Data Management System for Advanced Metering Infrastructure,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences,* vol. 12, no. 5, Oct. 2017, pp. 829-836.

[4] J. Park, “AMI System Using Smart Electricity Meter Embedded with Home Concentrate Unit,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences,* vol. 14, no. 3, June 2019, pp. 537-546.

[5] S. Lee, “Design and Application of LoRa-based Network Protocol in Mobile IoT Networks,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences,* vol. 14, no. 6, Dec. 2019, pp. 1089-1096.

[6] H. Kim, “A Study on The Real-Time Data Collection/Analysis/Processing Intelligent IoT,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences,* vol. 14, no. 2, Apr. 2019, pp. 317-322.

[7] K. Park, “Implement of a Watt-Hour Meter Monitoring System using Powerline Communication,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences,* vol. 8, no. 8, Aug. 2013, pp. 1143-1148.

[8] Kanazawa Murata Manufactureing Co., Ltd., “Design guide book for pattern antenna – 900MHz band,” *Design guide book*, 2017.

[9] Kanazawa Murata Manufactureing Co., Ltd., “LoRa Module,” *Data sheet,* Feb. 2017.

[10] Kanazawa Murata Manufactureing Co., Ltd., “CMWX1ZZABZ(TypeABZ)”, *Harware design guide,* Dec. 2016.

[11] Samwoo Eleco, “LoRa AT Command,” *Manual*, Revision 1.0.4, Feb. 2018.

[12] Samwoo Eleco, “LoRa AT PC Program,” *Manual*, Revision 1.0.7, Mar. 2018.

[13] Samwoo Eleco, “LoRaWAN Livrary,” *Manual*, Revision 1.0.3, Nov. 2017.

[14] Samwoo Eleco, “LoRa,” *User Manual*, Revision 1.0.3, Feb. 2018.

저자 소개

박재삼(Jae-Sam Park)

1983년 충북대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1986년 호주 뉴사우스웨일즈 대학교 대학원 시스템 및 제어공학과 졸업(공학석사)
1995년 호주 뉴사우스웨일즈 대학교 대학원 시스템 및 제어공학과 졸업(공학박사)
1994~현재 인천대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 로보틱스, 비선형제어, AMR, AMI