

RF433 무선 센서 네트워크와 ARDUINO-YUN 기반의 게이트웨이를 활용한 전력관리 IoT 시스템

최은석¹ · 심재용² · 장석진^{3*}

Power Manageable IoT Systems Using RF433 Wireless Sensor Network and ARDUINO-YUN Based Gateway

Eun-Seok Choi¹ · Jae-Ryong Shim² · Sekchin Chang^{3*}

^{1,3*}Department of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

²VETEC CO.,LTD, Daejeon 34012, Korea

요 약

현재 산업 분야 전반에 걸쳐 다양한 IoT 기술들이 연구되고 있으며 이 기술들을 효과적으로 적용하는 중이다. 그러나 IoT 대부분의 연구들은 센서 디바이스, 게이트웨이, 네트워크 서버, 그리고 어플리케이션 서버로 연결되는 복잡한 구조에 의존한다. 물론 유연성과 확장성 측면에서 이들은 분명한 장점이 있다. 문제는 이와 같은 복잡한 구성은 구현상의 어려움과 추가적인 비용을 초래하기 때문에 소규모 네트워크 환경의 산업 분야에서 IoT 도입을 저해하는 결과로 나타나고 있다. 따라서, 본 논문에서는 소규모/저비용의 IoT 환경이 필요한 산업분야에 적용 가능한 시스템 구조를 제안 한다. 또한 RF433 기반의 무선 센서 네트워크, 아두이노 Yun 기반의 게이트웨이, APM (Apache, PHP, MySQL)을 적용한 어플리케이션 서버를 구현하고 이들 간의 효율적인 전력관리 방안을 제시한다.

ABSTRACT

These days, research has been made for a variety of internet of things (IoT) technologies over industrial fields. The current research trend includes the effective adoption of the IoT technologies. But, most IoT researches assume a relatively complicated structure, which consists of sensor devices, gateway, network server, and application server. Of course, the structure has distinct merits in the aspects of flexibility and expandability. However, the complicated structure causes the system implementation overhead including high-cost implementation, and hinders the practical usage of IoT in the industry areas, which require a small-size network. In this paper, we propose a novel IoT system architecture, which guarantees the small-size network and the low-cost implementation. Also, we implement the infrastructure, which includes the RF433-based sensor network, the ARDUINO-YUN based gateway, and the application server using Apache/PHP/MySQL (APM) package. Finally, we present the effective power management scheme among these components.

키워드 : 무선 센서 네트워크, RF433, 아두이노 Yun, IoT

Key word : Wireless sensor network, RF433, ARDUINO-YUN, IoT (Internet of Things)

Received 28 December 2016, Revised 30 December 2016, Accepted 14 January 2017

* Corresponding Author Sekchin Chang(E-mail: schang213@uos.ac.kr, Tel: +82-2-6490-2342)

Department of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.5.936>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

IoT(Internet of Things: 사물인터넷)는 각종 사물에 센서와 통신기능을 부여하여 인터넷에 연결하는 기술을 의미한다. 여기서 사물이란, 가전제품, 모바일 장치, 스마트 디바이스, 헬스 케어 장비, 웨어러블 컴퓨터 등 다양한 임베디드 시스템이 된다. 또한 각종 사물들의 센서 정보는 원격으로 위치하고 있는 서버로부터 통신기능을 통해 취득되고 제어될 수 있다[1].

IoT는 광의의 개념인 LPWAN(Low Power Wide Area Network)에 종속되며 현재 LPWAN 기술은 크게 3개 표준화 그룹에서 주도하고 있다. 첫 번째는 세계 최초로 LPWAN 개념을 정의(2008년)하고 독점적 지위를 기반으로 세력을 확대 중인 SIGFOX 이다.

SIGFOX는 IoT를 위한 무선 기술로 UNB(Ultra Narrow Band)을 사용하며 Coverage로 최대 50km을 지원 한다. 두 번째는 SemTech사와 IBM 리서치가 주도하고 있는 LoRa(Long Range) Alliance 이다. LoRa는 무선 기술로 전파 간섭이 적고 Noise에 강한 간소화된 CDMA(Code Division Multiple Access)를 채택 하고 있다[2]. SIGFOX 대비 넓은 Coverage(최대 80km)가 강점이다. 마지막으로 개방형 표준을 지향하고 있는 WEIGHTLESS 이다. WEIGHTLESS는 다중접속 방식으로 FDMA(Frequency Division Multiple Access)와 TDMA(Time Division Multiple Access)의 조합을 사용하는 점이 특징이다[3].

위 기술들의 대표적인 공통점은 주파수 대역으로 ISM(Industrial Scientific and Medical) 밴드를 사용하며 그림 1과 같은 시스템으로 구성된다.

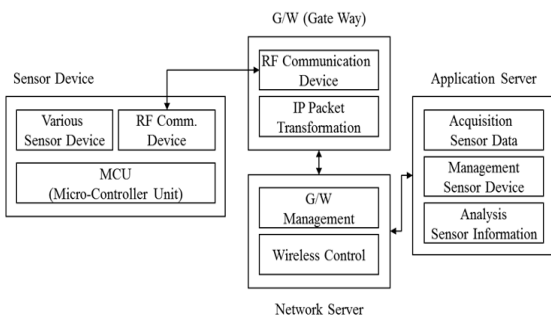


Fig. 1 The System Infrastructure of LPWAN

위와 같은 구조는 다수의 센서 디바이스 및 게이트웨이(G/W)를 계속 추가할 수 있는 유연함 및 확장성을 보장한다. 그러나 저비용/소규모 IoT환경을 자체적으로 구축 하여 활용 하려는 분야에서는 구조의 복잡성, 설치비용, 그리고 운영의 어려움 등으로 적합하지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 소규모 무선 센서 네트워크에 적합하며 저비용으로 구축 가능한 효율적인 IoT 시스템 구성 방안을 제안한다.

제안하는 시스템은 433MHz 대역의 무선통신을 활용한 센서 네트워크 연결, 게이트웨이로 오픈 하드웨어 플랫폼인 ARDUINO-YUN (이하 YUN 으로 표기) 적용, 그리고 어플리케이션 서버로 APM(Apache, PHP, MySQL) 패키지를 사용하여 구성된다. 또한 센서 디바이스들의 효율적인 전력 관리 방안을 제시하며 이를 통해 배터리 수명을 연장하여 궁극적으로 시스템의 Life Cycle 연장이 가능함을 증명한다.

다음 절에서는 구현한 IoT 시스템 구조를 서술하고, 각 구성 요소에 대해 자세히 설명 한다. 3절에서는 전력 관리 방안 및 실험결과를 제시하며 4절에서는 관련된 결론에 대하여 논의한다.

II. 본론

LPWAN 시스템은 센서 디바이스의 가입 또는 해지가 쉽도록 게이트웨이를 관리하는 별도의 네트워크 서버를 가지고 있다. 제안하는 시스템은 네트워크 서버 없이 게이트웨이와 어플리케이션 서버의 직접 연결을 통해 소규모 그리고 저가 부품 사용의 구성으로 그림 2와 같이 구체화 된다.

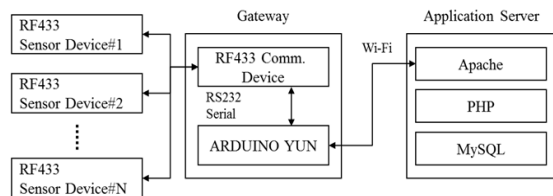


Fig. 2 The Proposed System Architecture of IoT

시스템은 센서 디바이스, 게이트웨이, 그리고 어플리케이션 서버로 구성된다. 그리고 구성 요소 사이의 통

신방식으로 센서 디바이스와 게이트웨이는 RF433 무선통신, 게이트웨이 내 RF433과 YUN은 RS232 시리얼 통신, 그리고 게이트웨이와 어플리케이션 서버는 Wi-Fi 무선 통신을 이용, 공중망과 접속하여 연결된다.

2.1. 센서 디바이스

센서 디바이스는 온도, 습도, 조도 그리고 디바이스에 공급되는 배터리 전압 레벨을 취득한다. 사용되는 MCU는 ATmel사의 8-bit AVR RISC 기반의 Microcontroller인 ATmega328[4], RF433 통신모듈은 TI사의 CC1101[5], 온도/습도 정보 취득을 위한 SENSIRION사의 SHT21, 그리고 조도 센서(CDS) 및 배터리 전압 측정을 위해 MCU에 내장된 10-bit 해상도의 ADC(Analog-To-Digital Converter)를 사용한다. 그림 3은 센서 디바이스 구성도를 보여준다.

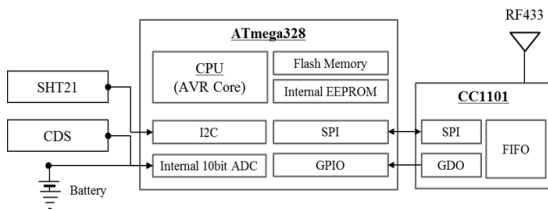


Fig. 3 The Conceptual Structure of Sensor Device

각 센서를 통해 취득된 정보는 MCU의 SPI를 통해 CC1101로 입력되고 CC1101에서는 내장된 FIFO에 수신된 정보를 임시 저장 후 주파수 433MHz로 변조하여 게이트웨이에 전송한다. 이 과정에서 CC1101의 GDO 핀은 FIFO에 있는 임시 데이터가 모두 전송 되었는지 혹은 새로운 데이터가 수신 되었는지에 대한 상태정보를 MCU의 GPIO를 통해 알려주는 역할을 담당한다. 그림 4는 게이트웨이로 전송하는 데이터 포맷을 보여준다.

Packet Data	0	2	3	5	7
	Packet ID	F/W ver.	Sensor Device ID	Gateway ID	Sequence Number
Sensor Data	9	10	11	13	15
	Payload Type	Payload Length	Temperature	Humidity	CDS
Power Data	16	18	19	21	22
	Sleep Interval	RF Power Level	Battery Power Level	Checksum	

Fig. 4 The Transmission Data Format of Sensor Device

센서 디바이스에서 전송되는 정보는 총 23 바이트의 길이를 가지며 크게 3가지 타입 (패킷 자체의 정보를 알려주는 패킷 데이터, 센서 정보를 가지고 있는 센서 데이터, 그리고 전력관리를 위해 요구되는 파워 데이터)으로 분류 된다. 표 1에서 패킷의 각 필드에 대한 자세한 설명을 제시한다.

Table. 1 The Field Description of Transmission Data in Sensor Device

Type	Field	Description
Packet Data	Packet ID	RF433 Packet ID
	F/W ver.	Firmware Version
	Sensor Device ID	Sensor Device ID
	Gateway ID	Gateway ID
	Sequence Number	Packet Number
Sensor Data	Payload Type	Payload Type (Data or Command)
	Payload Length	Payload Length (18 bytes)
	Temperature	Temperature Data
	Humidity	Humidity Data
	CDS	Photo Light Data
Power Data	Sleep Interval	Sensor Device Sleep Interval
	RF Power Level	RF433 Output Power Level 1
	Battery Power Level	Battery Voltage Level
	Checksum	Checksum for Sensor Data or Power Data

패킷 데이터의 Packet ID, F/W ver., Sensor Device ID, Gateway ID는 그림 3의 Internal EEPROM에 사전 저장되어 있다. 전체 패킷의 송신 시점 시 이를 EEPROM으로부터 읽어 전송 한다. 센서 데이터의 경우 송신 시점에 각 센서 로 부터 데이터를 취득하여 전송한다. 파워 데이터의 경우는 3절 전력관리 방안 및 실험결과에서 보다 자세히 설명한다.

2.2. 게이트웨이

YUN은 IoT를 위한 솔루션들 중의 하나로 오픈 하드웨어 기반의 플랫폼 이다. 센서들을 통해 정보를 취득 할 수 있는 기존 ARDUINO 플랫폼에 인터넷 연결이 가능하도록 Wi-Fi 기능이 추가된 형태로 구성되어 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 게이트웨이는 센서

디바이스에서 433MHz로 전송된 신호를 복조하기 위한 Shield 디바이스 및 수신된 데이터를 공중망을 통해 전송 가능한 패킷으로 변환할 수 있는 YUN으로 구성된다. YUN 내부는 메인 CPU인 Atmega32u4, Wi-Fi 무선 통신을 담당하는 리눅스 환경의 AR9331, 그리고 두 MCU의 통신을 연결하는 BRIDGE로 구성된다. 리눅스 환경으로는 Linino가 설치되는데 Linino는 IoT 시스템에 최적화되어 있는 OpenWRT를 의미하며 OpenWRT는 무선랜 라우터를 위한 리눅스 기반의 오픈 소스 운영체제이다. 그림 5에서 게이트웨이의 구성도를 표현한다.

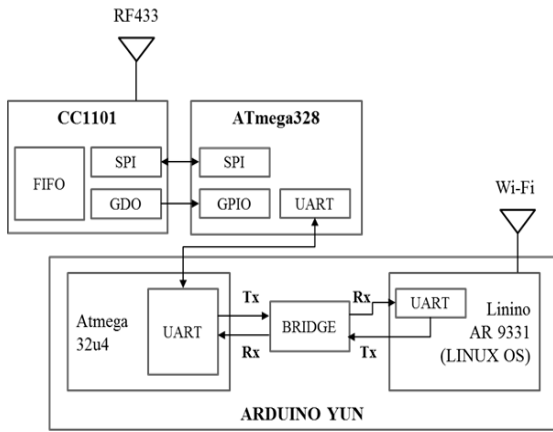


Fig. 5 The Conceptual Structure of Gateway

RF433으로 데이터가 수신되면 CC1101은 GDO 핀을 통해 ATmega328에 새로운 데이터가 수신되었음을 알리고, ATmega328은 SPI를 통해 CC1101의 FIFO에 임시 저장되어 있는 데이터를 가져온다. 수신된 데이터는 이후 ATmega328에서 분석된 후 그림 6과 같은 포맷으로 센서 디바이스에 응답한다.

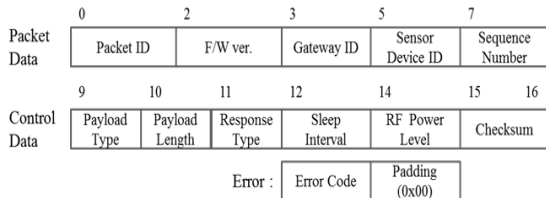


Fig. 6 The Response Data Format of Gateway

응답 데이터 포맷에서 Packet Data는 표 1과 동일하며 Checksum은 Control Data 중에서 Response Type 이후 데이터에만 적용된다. 표 2는 Control Data의 각 필드에 대한 성공/오류 응답을 구분하여 설명한다.

Table. 2 The Field Description of Control Data in Gateway

Type	Field	Description
Common	Payload Type	The Received Payload Type From Sensor Device
	Payload Length	The Received Payload Length From Sensor Device
	Response Type	for Success: ACK for Error: NAK
Success	Sleep Interval	The Received Sleep Interval for Sensor Device From Application Server
	RF Power Level	RF Power Level Used In Sensor Device
Error	Error Code	Predefined Error Code When Response Type is NAK
	Padding	0x00

게이트웨이에서 센서 디바이스로부터 수신된 데이터가 정상으로 분석되면 그림 4에서 Checksum 2 바이트를 제거하고 수신 세기인 RSSI (Receive Signal Strength Indicator) 1 바이트를 추가하여 UART를 통해 YUN의 Atmega32u4에 전달한다. Atmega32u4에 전달된 데이터는 BRIDGE를 통해 리눅스 파트에 전달되고 AR9331에서는 Wi-Fi 무선 AP(Access Point)에 접속하여 서버에 최종적으로 전송한다. YUN에서 어플리케이션 서버로의 데이터 전송은 Atmega32u4에서 리눅스 실행 명령어인 cURL을 호출하여 POST 방식으로 수행된다. 만약 수신된 데이터가 오류로 분석되면 리눅스 파트에 데이터는 전달되지 않고 응답 데이터 포맷에서 Control Data의 Response Type에 NAK, Error Code에 오류 코드, 그리고 Padding 필드에 0x00이 채워져서 센서 디바이스에 응답된다. 그다음 센서 디바이스는 이 오류 코드를 EEPROM에 저장하여 추후 오류 원인 분석에 사용된다.

2.3. 어플리케이션 서버

서버는 정적 웹 페이지를 위한 Apache, 동적 웹 페이지를 위한 PHP, 그리고 데이터베이스 관리를 위해

MySQL을 설치하여 구현 되었다. 게이트웨이로부터 HTTP 프로토콜을 이용하여 POST 방식으로 전송된 정보는 PHP 페이지에서 해석되어 미리 정의되어 있는 데이터베이스의 특정 테이블에 주기적으로 저장 된다. 데이터베이스에 저장된 정보는 어플리케이션 서버에서 다음 절에서 제안하는 효율적인 전력관리 전략을 수립 하는데 활용 된다.

III. 전력관리 방안 및 실험 결과

무선 센서 네트워크에서 센서 디바이스는 배터리를 사용하기 때문에 효율적인 전력관리가 반드시 요구되며 이에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다[6, 7]. 그러나 대부분의 연구들이 이론적인 측면에 치우쳐 있다. 본 논문에서는 실제 적용 및 구현 가능한 센서 디바이스를 위한 2개의 전력제어 방안과 1개의 전력관리 방안에 대해 제안한다. 표 3은 실험에 사용된 CC1101의 RF 초기 설정 값을 보인다.

Table. 3 The RF Initialization Settings for CC1101

RF Parameter	Initial Setting Value
RF Frequency	433 MHz
RF Output Power	0 dBm
Rx Filter Bandwidth	541.666667 kHz
Deviation	127 kHz
Data Rate	250 kBaud
Modulation	GFSK
Channel Spacing	200 kHz
Channel Number	0

3.1. Sleep Interval 제어

IoT환경에서 센서 디바이스는 일정 시간 주기로 센서 정보를 원격 서버에 보고하게 된다. 보고 하는 구간을 제외하고 나머지 시간은 Sleep Mode로 동작하도록 하여 전력 소모를 최소화 하는 것이 가능하다. 따라서 어플리케이션 서버에서 보고 주기를 가변적으로 운영하면 그 만큼 전력을 감소시킬 수 있어 효과적이다. 그림 7은 서버에 저장된 보고 주기를 센서 디바이스에 적용 시키는 방법을 보여준다.

센서 디바이스의 메인 CPU인 ATmega328은 5가지

Sleep 모드 (Idle, ADC Noise Reduction, Power-down, power-save, Standby)를 지원한다. 이 중에서 가장 많이 전력을 저감할 수 있는 Power-down을 선택하고 Wake-Up 방식으로 Watchdog Timer를 사용하였다.

Watchdog Timer는 센서 디바이스에서 8초로 고정해서 사용하기 때문에 서버에서 8의 배수 주기로 센서 데이터를 수신 받도록 설정 할 수 있다.

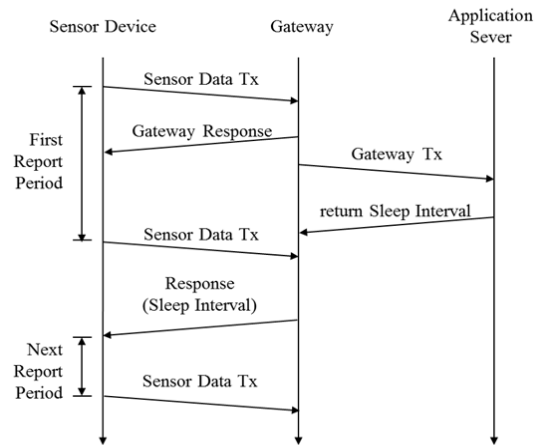


Fig. 7 The Control of Sleep Interval

서버로부터 센서 디바이스의 Sleep Interval 제어는 게이트웨이를 통해 다음과 같은 절차로 수행된다.

- 1) 센서 디바이스는 게이트웨이에 데이터를 전송하고 게이트웨이는 센서 디바이스에 정상적으로 응답한다.
- 2) 게이트웨이는 서버에 센서 정보를 전송하는데 이때 서버로부터 데이터베이스에 저장되어 있는 Sleep Interval을 수신하여 보관한다.
- 3) 다음 번 센서 정보를 수신 받을 때 게이트웨이는 응답으로 서버로부터 수신된 Sleep Interval을 센서 디바이스에 전달한다.
- 4) 센서 디바이스는 게이트웨이로부터 응답 받은 Sleep Interval을 EEPROM에 저장하고 Sleep Mode에 진입한다. 그리고 8초 Watchdog Timer가 expire될 때마다 Wake-up해서 Sleep Interval을 확인 한다.
- 5) 새롭게 설정된 Sleep Interval과 동일한 시간이 경과하면 1) 단계부터 반복한다.

만약 서버로부터 전달받은 Sleep Interval이 16초 이면 센서 디바이스는 Sleep 후 Wake-up 과정을 2번 수행 후 센서 데이터를 게이트웨이에 전송한다. 이와 같은 절차를 통해 제안하는 방식은 서버에서 Sleep Interval을 제어하여 소모 전력을 저감할 수 있다. 그림 8은 약 200초 동안의 센서 디바이스 Sleep Mode와 Wake-Up의 동작 시퀀스를 보여 준다

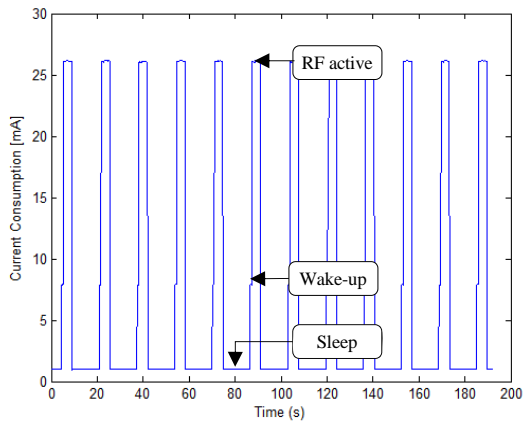


Fig. 8 The Power Consumption of Sensor Device at Sleep Mode

그림 8에서 볼 수 있듯이 센서 디바이스는 Wake-up에서 약 8mA의 전력을 소모하고, RF 기능을 active 하기 위해 CC1101의 파워를 온 시키게 되면 약 28mA의 전력을 소모 한다. 그리고 CC1101의 파워 오프 및 센서 디바이스의 Sleep Mode로 진입하면 최종적으로 약 0.9mA의 전력만을 사용하므로 효율적인 전력 저감을 달성할 수 있다.

3.2. 적응 전력 제어

TI사의 CC1101은 RF 출력 파워 관리를 위하여 8단계의 Output Power[dBm] 설정을 위한 Power Table을 제공한다. 또한 RF 신호 수신 시 신호 세기를 알 수 있는 RSSI를 제공한다.

따라서 본 절에서는 게이트웨이에서 수신 세기에 따라 센서 디바이스의 RF Power Table Level을 조절하는 적응 전력 제어를 제안한다. 게이트웨이에서 센서 디바이스로부터 정보를 전달 받을 때 수신 신호 세기를 측정하고 측정된 신호 세기가 사전에 지정한 Threshold보

다 작을 경우 Power Level을 증가 시키고 큰 경우에는 감소 시켜서 게이트웨이 응답데이터 포맷(그림 6)의 RF Power Level 필드에 값을 설정 한 후 센서 디바이스에 전송한다. 응답 시점에 게이트웨이는 자신의 송신 출력 파워를 센서 디바이스에 응답하는 Power Level과 동일하게 설정하여 전송한다. 이 과정을 게이트웨이와 연결된 모든 센서 디바이스에 대해 반복 수행함으로써 적응 전력 제어를 수행한다. CC1101의 RF Output Power는 -30dBm ~ 10dBm 이고 이에 따른 소모 전류를 표 4에 보인다.

Table. 4 The Optimum Power Table Settings

Output Power [dBm]	Setting	Current Consumption[mA]
-30	0x12	11.9
-20	0x0E	12.4
-15	0x1D	13.1
-10	0x34	14.4
0	0x60	15.9
5	0x84	19.4
7	0xC8	24.2
7.8	0xC6	25.2
10	0xC0	29.1

표 4는 RF 파워 0dBm 이상의 출력에서 전력 소모가 급격히 증가함을 보여준다. 따라서 배터리 수명과 통신 품질을 고려하여 최초 Power Level은 0dBm으로 설정한다.

Data Rate이 250kBaud인 경우 RSSI는 -110dBm에서 -10dBm 까지 측정된다[4]. 게이트웨이에서는 표 5와 같이 이를 5단계로 구분하며 Threshold는 4단계로 설정하였다. 따라서 RSSI가 4단계 이하이면 표 4에 따라 Power Level을 한 단계씩 증가 시키고 4단계 이상이면 Level을 한 단계씩 감소시키는 방법을 통해 센서 디바이스의 전력을 제어 한다.

위와 같은 적응 전력 제어를 수행 하면 RSSI가 3단계와 4단계에서 반복적으로 측정되기 때문에 최적의 통신 품질을 유지하면서 효율적인 전력 관리가 가능하다.

Table. 5 The Indicator Stage Depended on Received Signal Strength

RSSI	Received Signal Strength [dBm]
Level 1	-110 ~ -100
Level 2	-99 ~ -80
Level 3	-79 ~ -60
Level 4	-59 ~ -40
Level 5	-39 ~ -10

그림 9는 적응 전력 제어를 통해 센서 디바이스가 RF 출력 파워를 제어하는 파형을 보이고 그림 10은 가변하는 RF 출력 파워에 따라 변화하고 있는 소모 전류의 파형을 보인다.

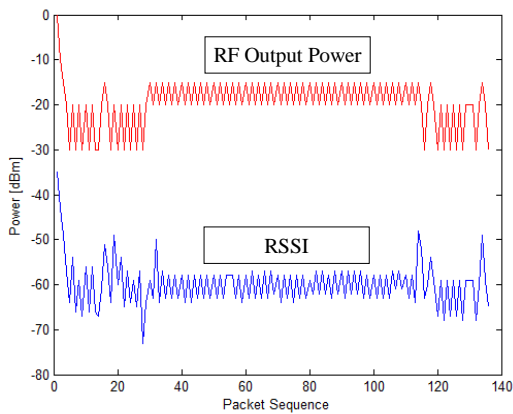


Fig. 9 The Adaptive Power Control of Sensor Device

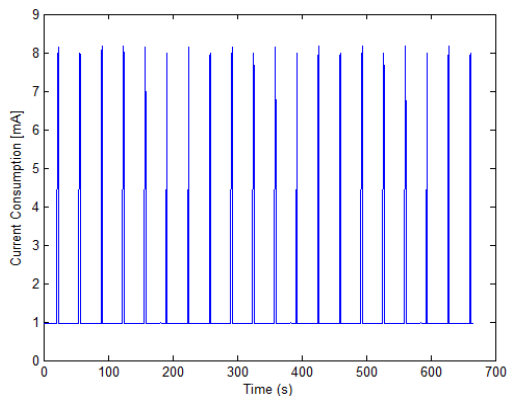


Fig. 10 The Current Consumption Based on Adaptive Power Control

그림 10은 그림 9의 RF Output Power에 따라 소모되는 전력이 증가하거나 감소하는 추세를 보인다. 따라서 감소하는 부분에서 적응 전력 제어에 의한 전력 절약이 수행되므로 효율적인 전력관리가 가능하다.

3.3. 배터리 전력 관리

IoT 환경에서 사용되는 배터리는 소모성 부품으로 충전은 되지 않고 방전만 계속해서 이루어지므로 적절한 시점에 교체가 요구된다. 그림 4의 데이터 포맷에서 Battery Power Level 필드에 ADC(Analog-Digital Converter)를 통해 측정된 배터리 전압이 전송되므로 어플리케이션 서버는 이를 기준으로 교체 시점을 추정할 수 있어 배터리 관리가 가능하다. Battery 잔여 전압 측정은 Atmega328에 내장된 10-bit ADC를 사용하였으며 설정된 Voltage Reference는 1.1V 이다. 따라서 ADC를 통해 측정 가능한 전압 레벨은 1.1V 이하이고 그림 11과 같은 저항을 이용한 전압 분배 회로를 통해 측정한다.

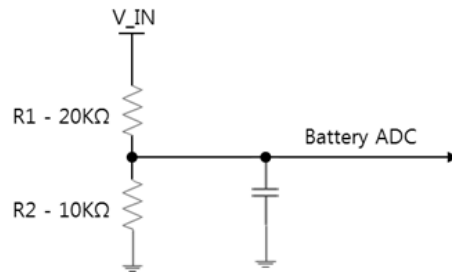


Fig. 11 Voltage Divider Circuit

Battery ADC는 식 1과 같이 계산되기 때문에 입력 전압이 3.3V인 경우 1.1V로 측정된다.

$$Battery\ ADC = V_{IN} \times R1 / (R1 + R2) \quad (1)$$

그림 12는 이렇게 측정된 배터리 전압을 1차 다항식으로 Poly-nominal Curve Fitting한 모습을 보이며 결과 다항식은 식 2처럼 표현 된다.

$$V_{IN} = 3.2015 \times (Battery\ ADC / 1023) + 0.0196 \quad (2)$$

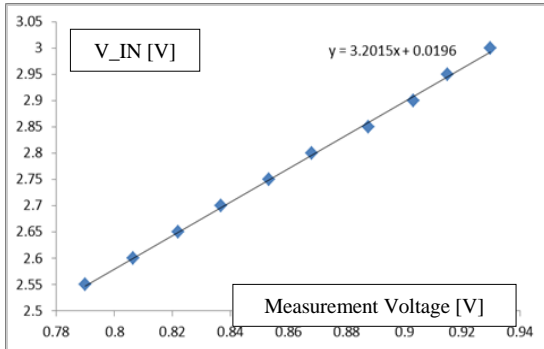


Fig. 12 The Poly-Fitting of Battery Voltage based on the Measured Voltage

실험 결과 배터리 전압이 2.55V 까지 센서 디바이스는 게이트웨이와 정상적으로 센서 데이터를 취득하면서 통신이 가능하다. 따라서 배터리 전압이 2.55V 도달하면 서버는 시스템 운영자에게 센서 디바이스의 배터리를 교체하도록 알람(경고)을 줄 수 있다.

IV. 결 론

전력관리 알고리즘의 RF Output Power를 0dBm 으 로 적용할 경우 각 단계에서 걸리는 시간 및 소모전류 는 표 6과 같이 측정된다.

Table. 6 The Running Time and Current Consumption of Individual Stage

	Sleep Interval	Sensor Acquisition	Rx RF	Tx/Rx RF
Time (s)	56	1.2	0.2	0.2
Current (mA)	0.97	8	8.2	26

구현한 IoT 시스템을 표 6의 시나리오 기반으로 운영 하면 1 시간동안 62.5회가 수행 되며 전류 소모량은 다 음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} & [(0.97mA \times 3500s) + (8mA \times 75s) + \\ & (8.2mA \times 12.5s) + (26mA \times 12.5s)] / 3600s \\ & \approx 1.2285mA \end{aligned} \quad (3)$$

일반적인 AA 배터리의 용량은 2850mAh로 사용 시

간은 다음과 같이 계산 된다.

$$\begin{aligned} & 2850mAh / 1.2285mA \\ & \approx 2320 \text{ hours} / 24 \text{ hours} \approx 96 \text{ 일} \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 제안하는 센서 디바이스, 게이트웨이, 어플리 케이션 서버 시스템과 전력 관리 알고리즘으로 IoT 운 영 시 약 3달 정도를 배터리 교체 없이 사용 가능하며 Sleep Interval을 더 길게 적용하면 그 이상의 기간 동안 사용이 가능하다. 또한 적시에 배터리를 교체할 수 있 어 연속성 있는 IoT 통신 유지가 가능하며 저비용으로 효율적인 시스템을 구축 할 수 있다.

향후에는 본 논문에서 구축한 IoT 시스템을 활용하 여 에너지 하베스팅(harvesting)을 통한 무선 센서 네트 워크의 효율적인 구성 방안에 대해 연구할 예정이다.

REFERENCES

- [1] E.S. Choi, J.R. Shim, S.C. Chang, "Power Efficient IoT System using the RF433 Wireless Sensor Network and ARDUINO YUN as the Gateway," in *Proceedings of the 40th Korea Institute of Information and Communication Sciences Conference*, Daejeon:DJ, pp. 719-722, 2016.
- [2] LoRa Alliance, LoRaWAN™ Specification [Internet]. Available: <https://www.lora-alliance.org/>.
- [3] Weightless, Weightless System Specification Ver. 0.8 [Internet]. Available: <http://www.weightless.org/>.
- [4] Atmel Corporation, 8-bit AVR Microcontrollers ATmega 328/P [Internet]. Available: http://www.atmel.com/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf.
- [5] Texas Instruments Incorporated, Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver [Internet]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>.
- [6] D. Cascado, J.L. Sevillano, A. Jimenez, A. Civit, P. Inigo, J.L. Font, "Determination of a Power-Saving Method for Real-Time Wireless Sensor Networks," in *IEEE 2010 International Symposium on Performance Evaluation of Computer & Telecommunication Systems*, Ottawa: OT, pp. 287-294, Jul. 2010.
- [7] Xiao Chen, Neil C. Rowe, "Saving Energy by Adjusting Transmission Power in Wireless Sensor Networks," in *IEEE 2011 Global Telecommunications Conference*, Kathmandu: KM, pp. 1-5, Dec. 2011.



최은석(Eun-Seok Choi)

2000년 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (학사)
2002년 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (석사)
2006년 ~ 2010년 한국 휴렛 팩커드
2010년 ~ 현재 SK 주식회사 C&C
2014년 ~ 현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사 과정
※관심분야 : 무선통신, 임베디드 시스템, 스마트 디바이스, IoT, 신재생 에너지 시스템



심재용(JaeRyong Shim)

1987년 동국대학교 전자공학과(학사)
1991년 미국 미주리 주립대 전기컴퓨터 공학과 (석사)
1993년 미국 미주리 주립대 통계학 (석사)
1995년 미국 미주리 주립대 전기컴퓨터 공학과 (박사)
1995년 ~ 1999년 한국전자통신연구원 이동통신연구단
1999년 ~ 현재 ㈜ 벡텍 기술고문
※관심분야 : 공기압축기 전력절감, Wearable Device 번복조기술, Decision Making



장석진(Sekchin Chang)

1991년 고려대학교 전자공학과 (학사)
1993년 고려대학교 전자공학과 (석사)
1993년 ~ 1998년 한국전자통신연구원
2001년 University of Texas at Austin 전자공학과 (박사)
2000년 ~ 2004년 Motorola Inc. Austin, Texas, USA
2004년 ~ 현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 정교수
※관심분야 : 무선통신, IoT, Cognitive Radio Systems, Cooperative Communications