JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 24, No. 9: 1158~1164, Sep. 2020

스마트빌딩 환경에서 Zigbee-MQTT를 이용한 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 시스템 설계 및 구현

장영환[1] · 이상순[2*]

Design and Implementation of User Pattern based Standby Power Reduction System Applying Zigbee-MQTT in a Smart Building Environment

Young-Hwan Jang[1] · Sang-Soon Lee[2*]

[1]Ph.D student, Dept. of IT Convergence Enfineering, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea
[2*]Professor, Dept. of Computer Engineering, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea

요 약

국내의 경우 수입 에너지에 대한 의존도가 매우 높아 낭비되는 전력을 저하시키고 전력 효율성을 향상시키기 위해 저전력 기술인 Zigbee를 기반으로 대기전력 저감 연구가 이루어지고 있다. 그러나 Zigbee는 IoT 표준 프로토콜이 아니고, 네트워크 기반이 아니기 때문에 별도의 게이트웨이를 두어 네트워크를 구축해야 하며, 국제적으로 제시하고 있는 기기 전력 소비량에 대한 기준도 모호하기 때문에 대기전력에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 기존 Zigbee 기술에 IoT 표준 프로토콜인 MQTT를 적용하여 별도의 게이트웨이 없이 네트워크망을 구축하고, 대기전력 저하 및 사용자의 패턴을 수집하는 대기전력 저감 시스템을 설계 및 구현하였다. 기존 시스템과 평가한 결과 기존 시스템 대비 약 7.11%의 대기전력이 소모된 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In Korea, the dependence on imported energy is very high, and research to reduce standby power is being conducted based on Zigbee, a low-power technology, to reduce wasted power and improve power efficiency. However, because Zigbee is not an IoT standard protocol and is not network-based, it is necessary to build a network with a separate gateway, and research on standby power is insufficient because the standards for international power consumption of devices are ambiguous. Therefore, in this paper, we applied the IoT standard protocol MQTT to the existing Zigbee technology to build a network network without a separate gateway, and designed and implemented a standby power reduction system that collects standby power degradation and user patterns. As a result of evaluating with the existing system, it was confirmed that about 7.11% of standby power was consumed compared to the existing system.

키워드 : 대기전력, Zigbee, MQTT, 사용자 패턴 수집, 전력 제어

Keywords : Standby Power, Zigbee, MQTT, Collect of User Pattern, Electric Control

Received 21 May 2020, **Revised** 1 July 2020, **Accepted** 21 July 2020

*** Corresponding Author** Sang Soon Lee(E-mail:sslee@gachon.ac.kr, Tel:+82-31-750-5333)
Professor, Dept. of Computer Engineering, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.9.1158 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/li-censes/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. 서 론

최근 IoT 기기의 보급률과 1인당 다수의 스마트 디바이스 사용으로 인해 소형화되는 스마트 디바이스들의 전력 저감에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 국내의 경우 전체 에너지의 약 94%를 수입 에너지에 의존하고 있으며, 이 중 약 14%를 전력 에너지로 사용하고 있다. 또한 전체 전력 에너지의 약 6~11%는 기기를 사용하지 않고 전원이 동작하는 동안 소비되는 대기전력으로 소모된다. 일반적으로 가정 내의 가전기기들이 포함되며, 빌딩 내 사무, 조명기기들이 모두 포함되므로 이를 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다. 주로 Zigbee 혹은 BLE (Bluetooth Low Energy)를 사용하여 연구가 진행되고 있으며, 임의의 설정치에 전력 혹은 대기전력 소모량이 도달하면 전원을 Off 시키는 방법으로 연구되고 있다[1-8].

그러나 스마트 디바이스는 IoT 기반 기술로 동작하기 때문에 기존 Zigbee 혹은 BLE를 사용할 경우 별도의 게이트웨이를 두어 IP 통신을 지원해야 하며, 통신 프로토콜 또한 IoT 표준 프로토콜인 CoAP (Constrained Application Protocol)이나 MQTT (Message Queueing Telemetry Transport)로 변경해야 할 필요가 있다. IoT 표준 프로토콜인 CoAP은 UDP 기반 기술로 QoS (Quality of Service)를 지원하지 않으며, MQTT는 TCP/IP 기반 기술로 QoS를 지원한다.

따라서 본 논문에서는 스마트빌딩 환경에서 IoT 기반 스마트 디바이스들에 Zigbee-MQTT를 적용하여 별도의 게이트웨이를 두지 않고 사용자의 사용 패턴에 따라 대기전력 소모량을 조절하는 대기전력 저감 알고리즘을 설계하여 연결된 스마트 디바이스의 대기전력 소모량을 모니터링하고, 자동으로 저감할 수 있는 대기전력 저감 시스템을 구현하였다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서는 MQTT와 기존 대기전력 저감 시스템에 대해 조사 및 분석하고, 3장에서는 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘을 설계하였다. 또한 4장에서는 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘을 적용한 MQTT 기반 대기전력 저감 시스템을 구현 및 평가하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련연구

2.1. MQTT

MQTT는 IBM이 주도하고 OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards)라는 표준화기구를 통해 IoT 표준 프로토콜로 선정되었다. MQTT는 경량의 Publish-Subscribe 네트워크 프로토콜로 장치간 메시지를 송수신할 수 있도록 지원한다. 일반적으로 TCP/IP 위에서 동작하며, 양방향 연결 지원, 저전력 및 저대역폭 등 제한된 환경에서도 동작이 가능하도록 설계되었다. 또한 3가지의 QoS를 제공하여 통신의 신뢰성을 향상시키며, MQTT 브로커를 두어 시스템의 확장이 용이하고, 네트워크 부하를 낮추도록 설계되었다. 일반적인 MQTT 구성 방식은 그림 1과 같다[9-11].

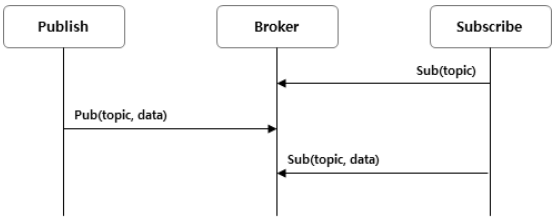


Fig. 1 Basic Structure of MQTT

2.2. 기존 대기전력 저감 시스템

기존 대기전력 저감 시스템의 경우 주로 스마트 플러그를 통한 대기전력 저감 연구가 진행되고 있으며, 현재까지도 기존 Zigbee를 기반으로 전력 및 대기전력을 최소화하기 위해 노력하고 있다. 그러나 Zigbee는 실질적으로 IP 기반 기술이 아니기 때문에 별도의 게이트웨이를 두어 IP 통신이 이루어진다는 단점이 있어 비용 증가, 설치기기 혹은 모듈 증가로 인한 부담이 발생한다. 기존 Zigbee를 활용한 IEEE 802.15.4az 기반 대기전력 저감 연구는 PC에 한해 사용하지 않는 동안 발생하는 대기전력을 자동으로 감소시키기 위한 연구를 진행하였다. 기존 시스템에 비해 사용자의 개입이 저하되면서 대기전력 소모량이 저감되었으나, 현재는 모든 사물이 IoT화 되면서 다양한 기기에 적용하여 테스트할 필요가 있으며, 기기 사용 패턴을 통해 자동화된 대기전력 저감 시스템으로 운용할 필요가 있다. 기존 IEEE 802.15.4 az 기반 대기전력 저감 시스템의 개요는 그림 2와 같다[12-15].

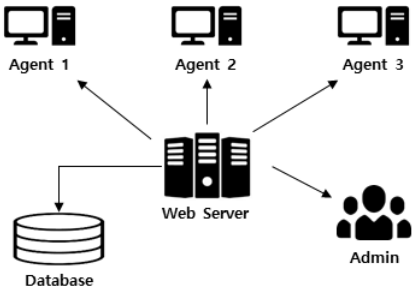


Fig. 2 Overview of Existing Standby Power Reduction System

Ⅲ. 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘 설계

3.1. 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘 개요

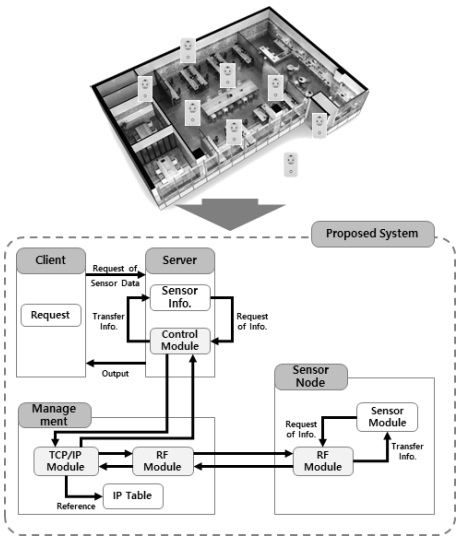


Fig. 3 Overview of Proposed Standby Power Reduction Algorithm

본 논문에서 설계한 Zigbee-MQTT를 적용한 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘은 위의 그림 3과 같이 IoT 표준 프로토콜을 적용하여 별도의 게이트웨이를 두지 않고 네트워크 사용이 가능하며, 사용자의 기기별 사용 패턴을 분석하여 사용하지 않는 동안 자동으로 대기전력을 저감할 수 있다. 일반적으로 사무실 공간 내에서 사용되는 PC, 노트북, 냉난방기, 조명 등을 중심으로 무선 네트워크상에서 MQTT를 지원하는 모듈과 사용자의 기기별 사용 패턴을 분석하는 모듈로 구성하여 대기전력 저감 알고리즘을 설계하였다.

3.2. 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘 구조

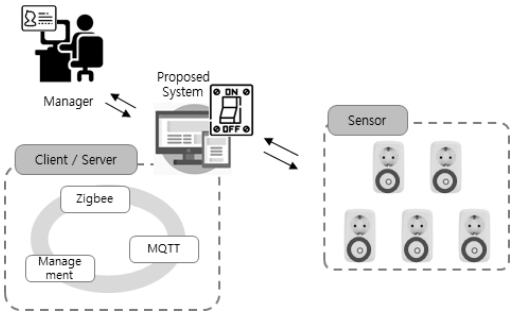


Fig. 4 Structure of Proposed Standby Power Reduction Algorithm

본 논문에서 설계한 Zigbee-MQTT 기반 대기전력 저감 알고리즘은 위의 그림 4와 같이 무선 센서 모듈과 사용자의 패턴 파악 및 분석하는 모듈, 무선통신을 지원하는 콘센트로 구성하였다. 대기전력 저감 알고리즘은 TCP/IP 통신을 통해 데이터를 송수신하며, 사용자는 인증된 스마트폰 등을 통해 언제, 어디서나 실시간으로 해당 디바이스의 상태를 확인할 수 있다. 무선 센서 모듈은 Zigbee 통신 및 MQTT 통신이 가능하도록 IEEE 802.15.4 모듈과 REST 기반의 모듈로 구성되며, 하나 이상의 센서 구성이 가능하다. 사용자 패턴 분석 모듈은 스마트 디바이스와 연결되어 해당 디바이스의 전원 여부, 대기전력 소모량, 상태 제어 등을 수행한다.

3.3. 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘 설계

본 논문에서 설계한 Zigbee-MQTT를 적용한 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘은 지속적인 반복을 통해 네트워크에 연결된 디바이스들의 상태를 확인한다. 스마트 디바이스와 센서간 연결이 완료되면 초기의 대기전력 값을 저장하고, 반복 주기별 대기전력 값을 저장한다. 반복 주기별 기기 사용을 체크하여 기기별 제시된 전력 소모량의 10%가 넘어갈 경우 해당 디바이스의 전원 상태를 확인한다. 사용 패턴은 크게 3가지로 구분되며 세부 내용은 다음과 같다.

- 기기 전원 On, 기기 사용
- 기기 전원 On, 기기 미사용
- 기기 전원 Off, 기기 사용 대기(미사용 포함)

기기 전원이 On이며, 사용자가 기기를 사용할 경우 사용하는 동안의 대기전력 소모량, 기기 사용 시간, 기기 동작 시간(전원 On에서 Off까지)을 체크하여 데이터를 저장한다.

기기 전원이 On이며, 사용자가 기기 미사용의 경우 대기시간 동안 발생하는 대기전력 소모량, 기기 사용 시간, 기기 동작 시간(전원 On에서 Off까지)을 체크하여 데이터를 저장한다.

기기 전원이 Off이며, 기기 사용 대기(미사용 포함)의 경우 기기 동작 시간(전원 On에서 Off까지), 동작한다면 대기전력 소모량을 체크하여 데이터를 저장한다. 설계한 대기전력 저감 알고리즘은 그림 5와 같다.

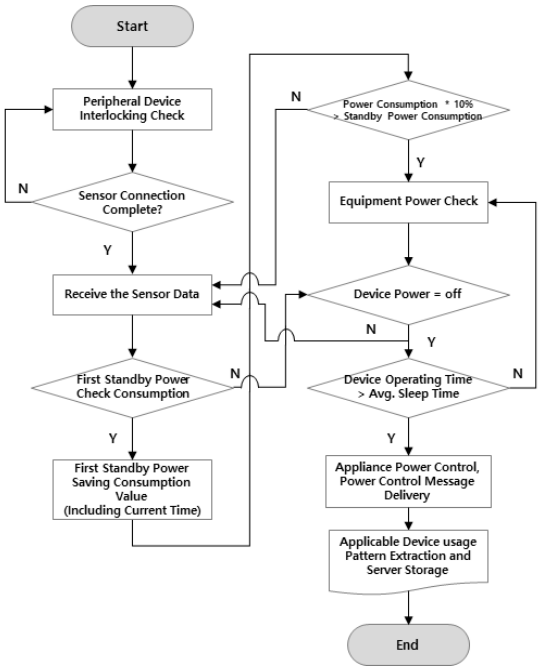


Fig. 5 Designed Standby Power Reduction Algorithm

3.4. 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 시스템 설계

본 논문에서 설계한 Zigbee-MQTT를 적용한 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 알고리즘은 Zigbee-MQTT 기반 센서 및 메시징 송수신부, 스마트 디바이스 상태 확인 모듈로 구성하였다. 대기전력 저감 알고리즘을 통해 연결된 모든 디바이스들의 전원, 대기전력 소모량, 제어 및 관리가 가능하며, 서버에 데이터를 축적하여 사용 패턴을 도출한다. 축적된 데이터를 통해 사용자의 사용 패턴, 기기별 평균 동작 시간, 전원 상태를 확인할 수 있다. 만약 데이터 송수신 시 데이터 분석 혹은 누락의 경우 MQTT의 QoS를 활용하여 데이터를 재전송하므로 해당 시스템의 신뢰성을 높인다. 클라이언트/서버 간 통신을 통해 기기의 정보에 대한 데이터 송수신이 완료되면 전력 소모량과 대기전력 소모량을 비교하여 10% 이상일 경우 자동으로 전원을 Off 하여 대기전력량을 저감하도록 한다. 빌딩 관리자 및 사용자는 인증된 PC 혹은 스마트폰을 통해 실시간 기기의 정보 값을 확인할 수 있으며, 제어 및 관리가 가능하도록 설계하였다. 설계한 시스템은 그림 6과 같다.

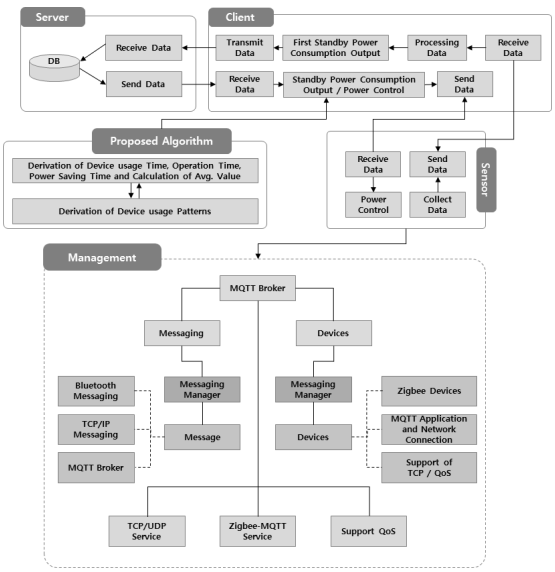


Fig. 6 Designed Standby Power Reduction System

Ⅳ. 구현 및 테스트

4.1. 참고문헌

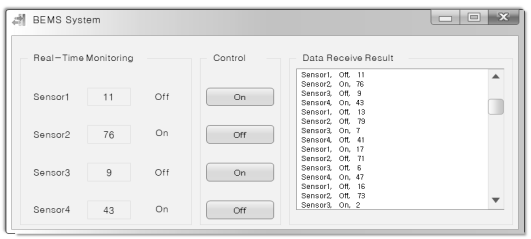
본 논문에서 설계한 Zigbee-MQTT를 적용한 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 시스템을 구현하기 위한 구현 환경은 표 1과 같다.

Table. 1 Implementation Environment

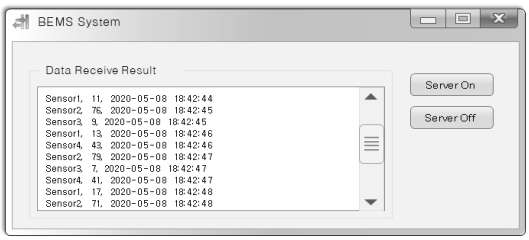
Classification	Component	Contents
H/W	Intel i5-4210 2.6GHz	Intel i7-7700 3.6GHz
	8GB	8192MB
	CC2531, 2.405-2.485GHz, <20mA(Receive), <25mA(Send)	SMSC LAN9220 10/100Mbps
S/W	Windows 10	Windows 10
	Java	Java, Jsp
	Eclipse 2020-03 R, JDK 1.8	Eclipse Photon, JDK 1.8, Android Platform
Test Device	Galaxy s5	

4.2. 대기전력 저감 시스템 구현

구현하고자 하는 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 시스템은 클라이언트/서버 형태로 구성되며, 클라이언트는 Zigbee-MQTT 기반 센서부를 통해 연결된 기기의 상태 데이터를 수집하고, 소켓 통신을 통해 수집 데이터를 서버에 전송한다. 기기마다 탑재된 모듈은 상시 전원으로 동작하며, 해당 기기의 정보를 지속적으로 업데이트하도록 하였다. 서버는 클라이언트를 통해 수신되는 데이터를 저장 시간별로 체크하여 저장하며, 해당 기기의 상태(대기전력 소모량, 기기 사용 시간, 기기 동작 시간)를 저장한다. 구현한 클라이언트/서버 화면은 그림 7과 같다.



△ Implementation of Client



△ Implementation of Server

Fig. 7 Implemented of Client / Server Screen

또한, 인증된 스마트폰에서도 해당 시스템을 통해 확인 및 제어할 수 있도록 안드로이드 기반 애플리케이션으로 구현하였다. 구현한 앱은 관리자 ID와 PW로 접속하여 기기에 탑재된 센서명으로 나타나고, 쉽게 알아볼 수 있도록 센서명 변경도 가능하며, 임의로 지정된 포트 번호와 기기 전원 상태 (On/Off), 현재까지 대기전력 소모량 (Wh), 기기 동작 시간을 나타낸다. 또한, 원격 제어를 위해 해당 센서별 전원 동작 버튼을 통해 해당 기기의 전원을 제어할 수 있도록 구성하였다. 구현한 앱 화면은 그림 8과 같다.

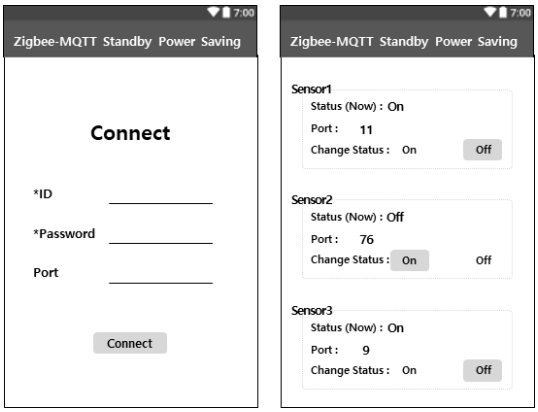


Fig. 8 Implemented of App Screen

4.3. 테스트 및 평가

본 논문에서 구현한 Zigbee-MQTT를 적용한 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 시스템을 평가하기 위해 기기별 제조사에서 제공되는 전력 소모량과 대기전력 소모량, 에너지공단, 한국전력공사에서 제공하는 빌딩 내 평균 대기전력 시간을 기준으로 평가를 진행하였다. 평가 항목은 근로기준시간인 8시간을 기반으로 일반적인 사무 공간 내에서 사용되는 기기들을 중심으로 구성하였다. 평가 데이터 및 대기전력 측정량은 표 2와 같다.

Table. 2 Evaluation Data and Standby Power Measurement

Classification	Electric Value (W)	Standby Power Measurement (H)
PC	2,320	322.2
Notebook	240	104.3
TV	1,050	129.6
Printer (Large)	176	37.4
Printer (Small)	96	25.9
Heating/Cooling Device	10,800	1,102
Refrigerator	10.2	3.2
Coffee Port	12,000	1,875
Microwave Range	5,380	1,992.6
Electric Fan	320	86.5
Lighting Equipment	1,320	136.1

본 논문에서 구현한 Zigbee-MQTT를 적용한 사용자 패턴 기반 대기전력 저감 시스템과 비교를 위해 기존 IEEE 802.15.4az를 적용한 시스템과 비교평가를 진행하였다. 결과는 표 3과 같다.

Table. 3 Result of Comparative Evaluation

Classification	IEEE 802.15.4az (Wh)	Proposed System (Wh)
PC	304.3	282.5
Notebook	97.1	82.7
TV	117.2	95.5
Printer (Large)	34.7	27
Printer (Small)	24.2	16.5
Heating/Cooling Device	1,004.8	987.8
Refrigerator	3	1.8
Coffee Port	1,788.3	1,664.4
Microwave Range	1,898.4	1,751.3
Electric Fan	76.8	67.3
Lighting Equipment	126	108.8
Avg.	497.8	462.3

평가 결과, 기존 IEEE 802.15.4az에 비해 8시간 기준, 평균 약 7.11% (389.2Wh)의 대기전력량이 저감된 것을 확인하였다. 이를 월별로 계산하면 평균 약 11,676Wh의 대기전력 소모량이 감소하며, 국토교통부에서 제공하는 전국 건축물 동수를 기준으로 대입하면 약 84GWh의 대기전력 저감이 가능하다.

Ⅴ. 결 론

최근 IoT의 보급화와 개인당 스마트 디바이스 보급률의 증가로 인해 가정을 비롯해 사무 공간 내에서도 IoT화가 급격히 진행되고 있다. 특히 국내의 경우 수입 에너지에 대한 의존도가 높기 때문에 보유한 전력 에너지의 효율성을 향상시키기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중 대기전력 저감을 통해 전력 에너지의 효율성 향상에 대한 연구가 꾸준히 이어지고 있으며, 주로 기존 Zigbee 기술을 활용하여 별도의 게이트웨이를 통해 IP 통신을 지원하도록 하고, 임의의 설정치에 대기전력 소모량이 도달하면 전원을 Off 시키는 연구가 진행되고 있다.

그러나 기존 방식의 경우 별도의 게이트웨이를 두어 전력 소모량이 높아지며, 일정한 기준치가 아니라 임의의 설정치에 대기전력 소모량이 도달 시에만 전원 제어가 가능하도록 하였다. 또한, IoT 표준 프로토콜을 적용하지 않고 IoT 디바이스와 연결하기 때문에 불필요한 기술 적용이 되어 비용을 가중시키고 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 Zigbee 기술을 활용하며, 별도의 게이트웨이를 두지 않고, IoT 표준 프로토콜인 MQTT를 적용하여 IP 통신을 가능하도록 하였으며, 사용자의 패턴을 수집 및 저장하는 대기전력 저감 시스템을 설계 및 구현하였다. 기존 시스템과 구현한 시스템을 비교평가하였으며, 평가 결과 기존 시스템 대비 일일 약 7.11% (389.2Wh)의 대기전력 저감이 가능한 것을 확인하였다. 이를 전국의 빌딩에 대입하면 약 84GWh의 대기전력 저감이 가능하다.

향후 본 연구를 기반으로 축적된 사용자 패턴 데이터를 고도화 및 학습시켜 빌딩 관리자 및 사용자의 참여도를 완전히 배제하는 자동화된 대기전력 저감 시스템을 구현하고자 한다.

References

[1] Korea Energy Agency, “Knowledge Energy,” *Korea Energy Agency*, Apr. 2019.

[2] Y. H. Jang, S. C. Park, and S. H. Yoon, “Design and Implementation of MQTT-based Standby Power Reduction System in Z-Wave Network Environment,” *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 23, no. 3, pp. 421-429, Mar. 2020.

[3] J. W. Jeon, and M. R. Yi, “Smart Multiple-Tap System based on WiFi for Reduction of Standby-Power,” *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 22, no. 6, pp. 123-129, Jun. 2017.

[4] K. T. Nam, Y. C. Kim, and E. P. Hong, “Design of Electric Wheelchair System to Minimize Standby Power Consumption,” *in Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering*, South Korea, pp. 798-798, May. 2018.

[5] S. K. Eun, and S. G. Choi, “Energy Saving Management based on Sensing Information for Minimization on Power Consumption Amount Considering Satisfaction of user at Indoor Environment,” *in Proceeding of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, South Korea, pp. 3-4, 2016.

[6] Y. A. Lee, K. C. Kim, and S. B. Han, “Design of New Smart Switch with Remote Power Control and Standby Power Management Function,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 14, no. 10, pp. 2343-2350, Oct. 2010.

[7] S. C. Lee, S. W. Kang, N. Y. Kim, and P. L. Chung, “Automatically shut off Standby Power using Ultrasonic Sensor,” *in Proceedings of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, South Korea, pp. 1708-1710, 2019.

[8] S. J. Kim, G. H. Park, S. H. Jo, and S. M. Lee, “Development of a Smart Power Control System based on Beacon Information for Reducing the Energy Consumption of Personal Computers,” *in Proceeding of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, South Korea, pp. 627-628, 2017.

[9] S. H. Kim, D. H. Kim, H. S. Oh, H. S. Jeon, and H. J. Park, “The Data Collection Solution based on MQTT for Stable IoT Platforms,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 728-738, Apr. 2016.

[10] S. W. Kang, “Characterizing Power Consumption of MQTT Protocol Usage on Raspberry Pi,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 12, pp. 2347-2356, Dec. 2017.

[11] G. H. Lee, D. H. Kim, C. H. Jeon, H. S. Jeon, and H. J. Park, “A Study for Improving Efficiency of IoT Environment and Solution based on MQTT Protocol,” *Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 44, no. 7, pp. 1318-1326, Jul. 2019.

[12] D. K. Lee, and D. J. Choi, “Implementation of Zigbee-based Publish/Subscribe System for M2M/IoT Services,” *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 17, no. 12, pp. 1461-1472, Dec. 2014.

[13] S. J. Lee, and D. H. Kim, “A Study of Standby Power Control based on Zigbee in Smart Home,” *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 17, no. 7, pp. 879-885, Jul. 2014.

[14] E. I. Jo, Y. J. Ko, and Y. H. Ji, “A Methodology Study on Reducing Standby Mode Power Using an Energy Stroage System,” *in Proceedings of Korean Society for Energy*, South Korea, pp. 195-195, 2016.

[15] Y. A. Lee, K. C. Kim, and S. B. Han, “Design of New Smart Switch with Remote Power Control and Standby Power Management Function,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 14, no. 10, pp. 2343-2350, May. 2010.

장영환 (Young-Hwan Jang)

가천대학교 IT융합공학과 컴퓨터공학(공학석사)
가천대학교 IT융합공학과 컴퓨터공학(박사과정)
※관심분야 : IoT, 프로토콜, 네트워크, 대기전력

이상순 (Sang-Soon Lee)

인하대학교 전자계산학(이학석사)
인천대학교 컴퓨터공학(공학박사)
가천대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : 네트워크, IoT, 프로토콜, 모바일