

Zigbee-CoAP 기반 대기전력 절감 시스템 설계 및 구현

장영환¹ · 이상순^{2*}

Design and Implementation of Zigbee-CoAP-based Standby Power Saving System

Young-Hwan Jang¹ · Sang-Soon Lee^{2*}

¹Ph.D student, Dept. of IT Convergence Engineering, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea

^{2*}Professor, Dept. of Computer Engineering, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea

요 약

최근 IoT 기술의 발전과 함께 전력 절감에 대한 관심이 증가하면서 소형화되고 있는 스마트 디바이스들의 전력 절감에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 IoT 기반 스마트 디바이스들의 다양화와 개인 보급률의 증가로 인해 사용하지 않는 동안에도 발생하는 대기전력에 대한 이슈도 증가하고 있다. 그러나 실질적으로 대기전력을 절감하기 위해서는 물리적으로 콘센트를 뽑거나, 전원을 Off 해야 한다는 단점이 있으며, 기존 IP 기반이 아닌 Zigbee를 활용하기 때문에 인터넷 네트워크를 기반으로 하는 IoT 표준 프로토콜로 변경할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 Zigbee 기술에 IoT 표준 프로토콜인 CoAP을 적용한 대기전력 절감 시스템을 설계 및 구현하였다. 기존 시스템과 평가 결과 평균 약 8.4Wh의 대기전력이 절감된 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Recently, as the interest in power saving increases with the development of IoT technology, research on power saving of smart devices, which are being miniaturized, is being actively conducted. In particular, due to the diversification of IoT-based smart devices and the increase in personal penetration rate, the issue of standby power even when not in use is increasing. However, there is a drawback of physically unplugging the outlet or turning off the power in order to substantially reduce standby power. Since Zigbee is used instead of the existing IP, it is necessary to change to the IoT standard protocol based on the Internet network. Therefore, this paper designed and implemented the standby power saving system applying CoAP, the IoT standard protocol, to the existing Zigbee technology. Existing systems and evaluations confirmed that the average standby power of about 8.4Wh was reduced.

키워드 : Zigbee, CoAP, 사물인터넷, 사물인터넷 표준 프로토콜, 대기전력

Keywords : Zigbee, CoAP, IoT, IoT Standard Protocol, Standby Power

Received 28 February 2020, Revised 9 March 2020, Accepted 29 March 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.2020.24.5.616>

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

최근 전력에 대한 관심과 IoT 관련 서비스에 대한 관심이 급증하면서 소형화되는 스마트 디바이스들의 전력 절감에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 2018년 기준 국내 전체 에너지의 약 94%는 수입 에너지로 나타나며, 그 중 약 14%는 전력 에너지로 사용되고 있다[2]. 특히 IoT 기반의 스마트 디바이스들이 증가하면서 개인, 가정 및 사무기기들의 종류가 다양해지고, 사용량이 증가하는 동안의 전력 소비량이 급증하고 있다[3]. 이와 같이 전력을 기반으로 동작하는 스마트 디바이스들은 주 기능이 동작하지 않는 동안 발생하는 대기전력이 전체 전력 에너지의 약 6~11%로 나타나면서 대기전력에 대한 문제점이 이슈화되고 있다[4-5]. 대기전력은 기기의 전원이 동작하는 상태에서 사용자가 해당 디바이스를 사용하지 않는 동안 발생하는 전력을 의미하며, 특히 사용자가 잠을 자는 밤이나 해당 공간을 비우는 동안, 퇴근 및 소등 이후 발생하는 전력량을 의미한다[6-7].

그러나 실질적으로 대기전력을 절감하기 위해서는 해당 디바이스의 전원을 종료하거나, 전원 플러그를 뽑아두어야 한다는 문제점이 있다. 또한, 기존 사용되고 있는 Zigbee의 경우 IP 기반이 아니기 때문에 IoT 디바이스 등에 적절하지 않다는 문제점이 있어 IoT 표준 프로토콜로 변경할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 Zigbee 기술에 IoT 표준 프로토콜인 CoAP (Constrained Application Protocol)을 통해 IP 기반으로 변경한 대기전력 절감 알고리즘을 설계 및 구현하였다. 설계한 대기전력 절감 알고리즘을 통해 사용자의 스마트 디바이스 사용 패턴을 분석 및 도출하여 대기전력 사용 여부를 판단해 자동적인 대기전력 절감이 이루어지도록 하였다. 설계한 대기전력 절감 시스템을 평가하기 위해 기존 대기전력 절감 시스템과 비교평가를 진행하였으며, 평가 결과 기존 시스템 대비 대기전력 절감율이 약 8.4Wh 향상된 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서는 CoAP과 기존 대기전력 절감 알고리즘을 조사 및 분석하고, 3장에서는 Zigbee-CoAP 기반 대기전력 절감 시스템을 설계하였다. 또한 4장에서는 설계한 알고리즘을 구현 및 평가하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2.1. CoAP

CoAP은 인터넷 표준단체인 IETF (Internet Engineering Task Force)에서 발표한 IoT 표준 프로토콜로서 주로 저전력, 소형장치에 활용되는 기술이다[8]. 기존 IoT 환경에서 사용되는 Zigbee, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 등과 같이 제한적인 주파수나 하드웨어 환경에서도 비교적 낮은 전력을 소모하고, 신뢰성 있는 통신을 보장한다는 장점을 지니고 있다. 기본적으로 멀티캐스트를 지원하고, UDP (User Datagram Protocol)를 기반으로 Request/Response 형태로 동작하며, 타이머 관리 및 메시지 재전송을 지원하기 때문에 신뢰성 있는 전달을 보장한다. CoAP은 UDP를 기반으로 하기 때문에 신뢰성/비신뢰성 메시지 모두 전송이 가능하다 [9-12]. CoAP의 메시지 종류는 ①CON (Confirmable): 수신자의 응답을 요청하는 메시지, ②NON (Non-confirmable): 수신자의 응답 요청없이 전송하는 메시지, ③ACK (Acknowledgement): 수신자의 응답 메시지, ④RST (Reset) 메시지 수신 중 오류 발생 및 메시지 발송 중지를 요청하는 메시지와 같이 총 4개의 메시지로 구분된다. 일반적인 CoAP의 구조는 그림 1과 같다[13].

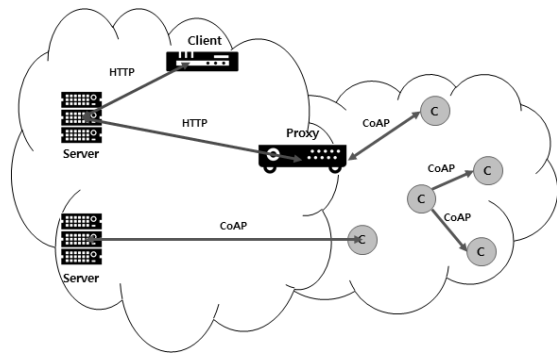


Fig. 1 Basic Structure of CoAP

2.2. 기존 대기전력 절감 시스템

기존 대기전력 절감을 위한 전력제어 시스템의 경우 전자기기들의 전력과 대기전력의 소비율에 대한 연구를 진행하여 에너지 소비 효율성을 향상시킬 수 있는 대기전력 제어 시스템을 개발하였다. 제안한 시스템은 PC를 사용하지 않는 동안 발생하는 대기전력을 감소시킬 수 있으며, 관리자의 설정을 통해 사용자의 개입 없이

전력 사용량을 감소시킬 수 있다. 해당 연구에서는 사용자의 개입 없이 자동으로 전력을 제어할 수 있는 시스템 개발을 목표로 하였으며, 기존 에너지 절감 시스템에 비해 손쉽게 사용 가능하다는 장점이 있다. 기존 대기전력 절감 시스템의 구성도는 그림 2와 같다[14-15].

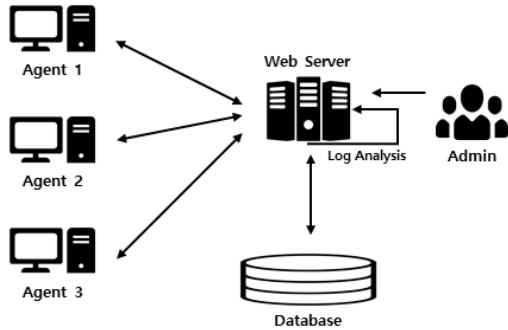


Fig. 2 Structure of Existing Standby Power Saving System

그러나 관리자도 인력이기 때문에 인력 개입을 최소화하고, 사용자의 행동 패턴을 분석 및 도출하여 자동으로 대기전력을 절감할 수 있는 시스템 개발 연구가 필요하다.

III. 대기전력 절감 알고리즘 설계

3.1. 대기전력 절감 알고리즘 개요

본 논문에서 설계한 Zigbee-CoAP 기반 대기전력 절감 알고리즘은 사용자의 디바이스 사용 패턴을 분석하여 자동적인 대기전력 제어 및 관리가 가능하다. 일반적인 가정, 오피스 환경에서 사용되는 스마트 디바이스들을 중심으로 무선 네트워크상에서 Zigbee-CoAP을 이용하도록 지원하는 모듈과 사용자의 패턴을 분석하는 모듈로 구성되어 대기전력 절감 알고리즘을 설계하였다. 설계한 대기전력 절감 알고리즘의 개요도는 그림 3과 같다.

3.2. 대기전력 절감 알고리즘 구조

본 논문에서 설계한 Zigbee-CoAP 기반 대기전력 절감 알고리즘은 위의 그림 4와 같이 무선 센서 모듈과 사용자의 패턴 파악 및 분석하는 모듈, 무선통신을 지원하는 콘센트로 구성하였다. 대기전력 절감 알고리즘은

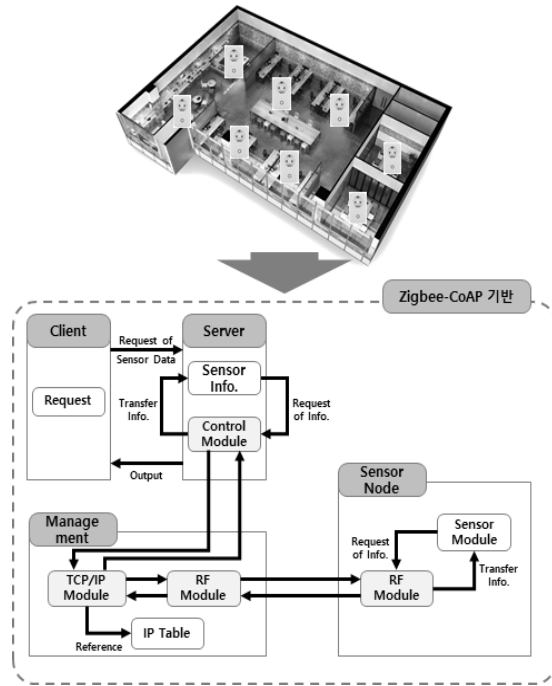


Fig. 3 Overview of Proposed System

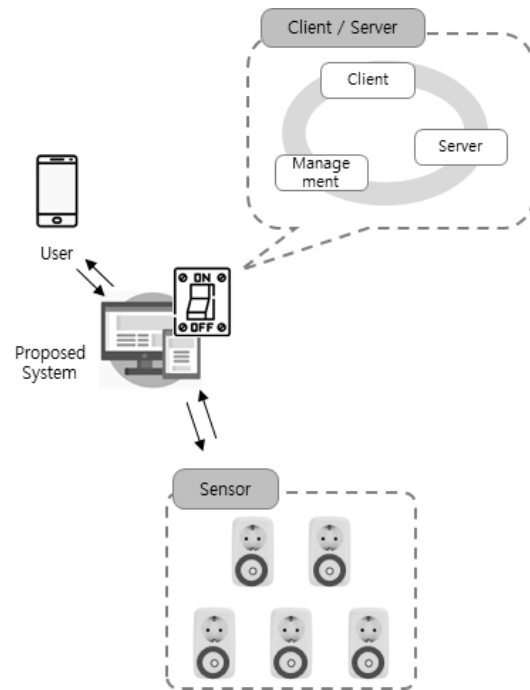


Fig. 4 Structure of Proposed System

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 CoAP 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. 대기전력 절감 알고리즘 설계

본 논문에서 설계한 대기전력 절감 알고리즘은 기본적으로 지속적인 반복을 통해 연결된 디바이스들을 확인하고, 센서 모듈과의 연결 여부를 확인한다. 설계한 대기전력 절감 알고리즘은 그림 5와 같다.

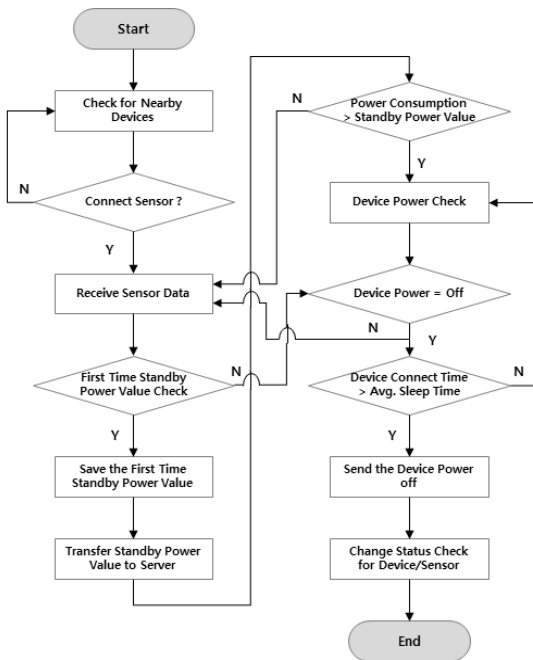


Fig. 5 Design of Proposed Algorithm

디바이스와 센서가 연결되면 센서 모듈로부터 최초 대기전력 소모량을 확인하고, 디바이스의 상태 등을 확인하여 서버 및 DB에 해당 값을 저장한다. 지속적인 대기전력 소모 여부 확인을 통해 최초 확인한 대기전력 소모량보다 높은 경우 해당 디바이스의 전원을 체크한다. 만약 물리적으로 전원이 Off일 경우에는 1차적인 모니터링을 통해 클라이언트에 디바이스의 상태를 출력하

고, 디바이스 전원 제어 메시지를 전송한다. 디바이스 전원이 On인 경우 곧바로 대기전력 소모량 확인 및 전송 단계로 이동하며, 센서 상태 변경 여부를 확인하고 변경되지 않은 경우 다시 순차적으로 진행하여 대기전력 소모량을 지속적으로 체크한다.

3.4. 대기전력 절감 시스템 설계

본 논문에서 설계한 대기전력 절감 알고리즘은 Zigbee 기반 센서부와 CoAP 기반 메시징 송수신부, 스마트 디바이스 상태 확인 모듈로 구성하였다. 설계한 대기전력 절감 시스템은 그림 6과 같다.

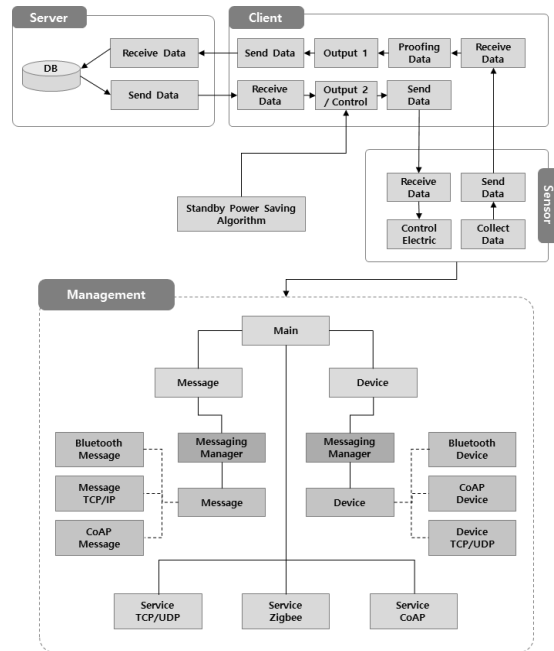


Fig. 6 Design of Proposed System

대기전력 절감 알고리즘은 연결된 스마트 디바이스의 상태(전원, 대기전력 소모량, 제어 및 관리)를 확인하여 사용자에게 출력해주고, 서버로 데이터를 송신한다. 수신된 데이터는 DB에 저장하고 스마트 디바이스 센서별 평균 동작 시간, 대기전력 소모량, 전원 On/Off 여부를 확인한다. 만약 데이터 송수신 시 데이터 분실이 되거나 응답 메시지가 오지 않을 경우 데이터를 재전송하여 신뢰성을 향상시킨다. 클라이언트/서버 간 통신을 통해 데이터 송수신이 완료되면 대기전력 소모량을 확인하여 자동적으로 전원을 Off 하여 대기전력량을 절감하

도록 한다. 또한, 사용자가 대기전력 절감 알고리즘을 손쉽게 사용할 수 있도록 스마트폰 등과 통신을 통해 데이터를 송수신하여 실시간 모니터링 및 제어·관리가 가능하도록 설계하였다.

IV. 구현 및 테스트

4.1. 참고문헌

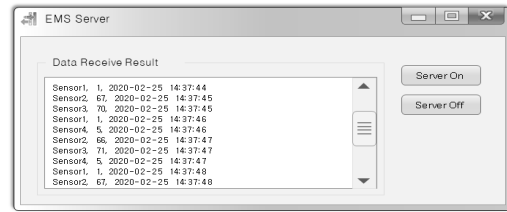
본 논문에서 설계한 Zigbee-CoAP 기반 대기전력 절감 시스템은 자동 운용을 위해 사용자의 참여도를 최소화하고 연결된 기기의 사용 패턴을 분석하여 대기전력 소비량을 체크 및 모니터링 할 수 있다. 구현환경은 표 1과 같다.

Table. 1 Implementation Environment

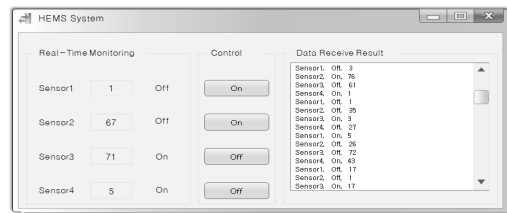
Classification	Component	Contents
H/W	CPU	Intel i7-7700 3.6GHz
	Memory	8192MB
	Ethernet	SMSC LAN9220 10/100Mbps
S/W	OS	Windows 10
	Language	Java, Jsp
	Platform	Eclipse Photon, JDK 1.8, Android Platform
Test Device	Galaxy s7, MuPad T10	

4.2. 대기전력 절감 시스템의 서버 / 클라이언트 구현

설계 및 구현하고자 하는 대기전력 절감 시스템의 서버에서는 기기와 연결된 센서를 통해 클라이언트가 수신한 데이터의 시간을 확인하여 DB에 저장하며, 해당 데이터의 저장 시간을 기반으로 평균 종료 시간을 저장한다. 설계한 클라이언트는 임베디드 보드 기반으로 센서부를 통해 해당 기기의 데이터를 수집하고, 소켓 통신으로 수집된 데이터를 서버에 전송한다. 또한 콘센트 스위치에 탑재된 Zigbee 센서 모듈은 상시 전원으로 하여 지속적으로 동작하도록 하며, 센서를 통해 전송되는 데이터를 임베디드 보드에 실시간으로 전송하도록 하였다. 임베디드 보드로 수신된 데이터는 1차 가공을 통해 서버에 전송하고, 서버는 해당 데이터를 DB에 저장한다. 서버 및 클라이언트 구현 화면은 그림 7과 같다.



△ Implementation of Server



△ Implementation of Client

Fig. 7 Implementation of Server / Client

4.3. 대기전력 절감 App 구현

본 논문에서 설계한 Zigbee-CoAP 기반 대기전력 절감 시스템은 안드로이드를 기반으로 구현하였으며, 사용자의 편의를 위해 스마트폰뿐만 아니라 태블릿 PC 등에서도 기기 연결 및 연결된 기기의 대기전력을 자동으로 제어하고 관리할 수 있도록 하였다. 구현한 앱은 기기의 센서부와 임베디드 보드와의 연계를 통해 임의의 포트 번호를 상시 오픈하기 때문에 사용자는 언제, 어디서나 포트 번호 입력을 통해 접속 및 해제가 가능하며 연결된 기기 관리, 대기전력 제어 및 관리가 가능하다. 구현한 앱에 현재의 IP 주소와 포트번호가 입력되면 클라이언트는 해당 포트번호를 확인하고 접속 버튼을 클릭하여 임베디드 보드와 연결된 기기(센서)들의 접속 정보, 상

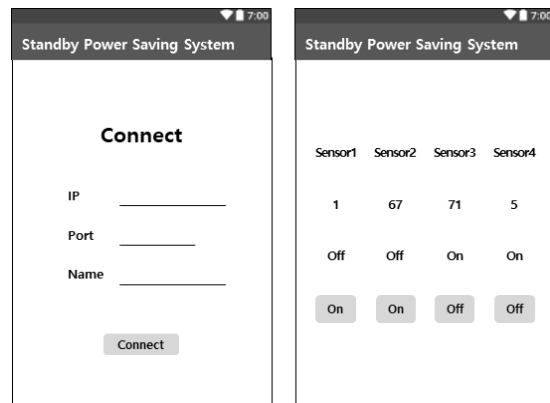


Fig. 8 Implementation of App Screen

태를 확인할 수 있다. 또한, 원격 제어를 위해 기기의 센서마다 전원 제어 버튼을 구성하였으며, 해당 버튼을 통해 센서별 전원 제어가 가능하다. 구현한 앱 화면은 그림 8과 같다.

4.4. 테스트 및 평가

본 논문에서 구현한 Zigbee-CoAP 기반 대기전력 절감 시스템을 평가하기 위해 제조사에서 제시하는 대기전력 소모량과 에너지공단, 통계청 등에서 조사한 평균 대기전력시간을 기준으로 평가를 진행하였다. 평가 항목은 일상생활에서도 쉽게 접할 수 있는 사무, 가정 등에서 주로 사용되는 기기들을 중심으로 구성하였다. 평가 데이터 및 대기전력량은 표 2, 표 3과 같다.

Table. 2 Evaluation Data (Contents)

Classification	Standby Power (W)	Standby Time (H)
PC	4.7	13.5
Set-top Box	21.7	9.7
Air Conditioner	6.2	19.8
Printer	3.2	15.2
Refrigerator	12.6	18.7
Microwave	4.7	22.7
Fan	1.2	17.6

Table. 3 Evaluation Data (Value) (Continue)

Classification	Standby Power Value (W)	Use Time (h)
PC	63.5	10.5
Set-top Box	210.5	14.3
Air Conditioner	122.8	4.2
Printer	48.6	8.8
Refrigerator	235.6	5.3
Microwave	106.7	1.3
Fan	21.1	6.4
Avg.	115.5	

본 논문에서 설계 및 구현한 대기전력 절감 시스템과 비교를 위해 기존 IEEE 802.15.4az를 적용한 시스템과 비교평가를 진행하였다. 비교평가 결과는 표 4와 같다.

Table. 4 Result of Comparative Evaluation

Classification	IEEE 802.15.4az (Wh)	Proposed System (Wh)
PC	61.7	59.2

Classification	IEEE 802.15.4az (Wh)	Proposed System (Wh)
Set-top Box	207.1	192.7
Air Conditioner	118.2	107.5
Printer	45.3	42.1
Refrigerator	231.6	211.3
Microwave	104.4	97.2
Fan	19.2	18.8
Avg.	112.5	104.1

기존 IEEE 802.15.4az 기반 대기전력 절감 시스템과 제안하는 대기전력 절감 알고리즘을 비교평가한 결과, 기존 시스템 대비 일일 평균 약 8.4Wh의 대기전력량이 절감된 것을 확인하였다. 이를 월별로 계산하면 평균 약 252Wh의 대기전력 소모량을 절감할 수 있으며, 연간 약 3.024KWh의 대기전력 절감이 가능하다.

V. 결론

최근 스마트 디바이스들의 다양화와 개인 보급률의 급증으로 인해 전력/대기전력 소비 절감에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 대기전력은 기기의 전원이 동작하는 동안 지속적으로 소모되는 전력량을 의미하며, 퇴근 및 소등 이후 발생하는 전력을 나타낸다.

그러나 실질적으로 대기전력을 절감하기 위해서는 물리적으로 해당 기기의 전원을 종료해야 한다는 문제점이 있다. 또한 기존 Zigbee 기반으로 구성된 기술의 경우 Zigbee 자체가 별도의 게이트웨이를 필요로 하기 때문에 IoT와 같은 네트워크 환경에 적절하도록 적용되는 프로토콜을 변경할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 Zigbee 기술에 IoT 표준 프로토콜인 CoAP을 적용하여 IP 기반으로 변경한 대기전력 절감 알고리즘을 설계하였다. 설계한 대기전력 알고리즘을 기반으로 기기 연결, 전원 제어 및 관리 등이 가능한 대기전력 절감 시스템을 구현하였으며, 기존 IEEE 802.15.4az 시스템과 비교평가를 진행하였다. 비교평가 결과, 기존 시스템 대비 대기전력 절감률이 약 8.4Wh 향상된 것을 확인하였다. 이를 월간 / 연간으로 계산하면 월간(약 252Wh) / 연간(약 3.024KWh) 향상된 것을 확인하였다.

추후 가정 및 사무실 환경에서 벗어나 자율주행차에

적용되는 IoT 기술 및 센서들을 분석하여 차량의 전체 전력 소모량을 개선할 수 있는 연구에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] M. H. Park, Y. H. Kim, and S. B. Lee, "A Study on the Development of Every IoT Platform," *Journal of Korea Information Processing Society*, vol. 5, no. 10, pp. 311-318, Oct. 2016.
- [2] Korea Energy Agency, "Knowledge Energy," Korea Energy Agency, Apr. 2019.
- [3] H. I. Park, S. Y. Kim, S. C. Kang, H. J. Park, I. Y. Kim, and J. S. Choi, "Implementation and Analysis of CoAP-Based Lightweight OpenADR2.0b Protocol for Smart Energy IoT Environment," *Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 42, no. 4, Apr. 2017.
- [4] J. Y. Kang, C. S. Jung, J. H. Seo, Y. T. Yoon, and K. J. Han, "A Multi-band Wearable Device System Supporting Low-Energy Protocol," in *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*, South Korea, pp. 110-113, 2017.
- [5] M. Y. Kim, and J. I. Kang, "Standby Power Reducing Method of Wireless Power Supply System Requiring Standby Mode," in *Proceedings of the Korean Institute of Power Electronics*, South Korea, pp. 136-138, 2019.
- [6] H. S. Kim, B. J. Park, and Y. J. Cho, "Smart Outlet System for Single-person Household based on IoT(Internet of Things)," *Journal of Digital Contents Society*, vol. 18, no. 5, pp. 895-904, Aug. 2017.
- [7] S. M. Chun, H. S. Kim, C. G. Ham, Y. S. Chung, and J. T. Park, "Reliable Mobility Management Using CoAP in Internet of Things Environments," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 53, no. 8, pp. 13-18, Aug. 2016.
- [8] C. M. Kim, H. W. Kang, J. I. Kim, and S. J. Koh, "An Implementation of the Low Power Device Communication using CoAP Protocol in Internet of Things Environment," in *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, South Korea, pp. 102-103, 2015.
- [9] M. H. Lee, and J. C. Lee, "Decreasing Transmission Power with Provisioning Quality of Experience in Mobile Communication Networks," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 12, pp. 2219-2225, Dec. 2016.
- [10] J. J. Lee, K. T. Kim, and H. Y. Youn, "Dynamic Retransmission Scheme Using Retry Count in Constrained Application Protocol (CoAP)," in *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*, South Korea, pp. 243-246, 2015.
- [11] C. Y. Lim, H. W. Kim, and Y. H. Kim, "Implementation of the Power Control System Using Optimal Control Method of Multi Power Measurement Module Based on Internet of Things Environments," in *Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering*, South Korea, pp. 222-222, 2015.
- [12] S. M. Chun, C. G. Ham, and J. T. Park, "Design and Implementation of Mobility Management Architecture for Internet of Things using CoAP," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 54, no. 11, pp. 14-22, Nov. 2017.
- [13] S. J. Lee, J. H. Choi, C. S. Seo, B. K. Park, and B. Y. Choi, "Implementation of Smart Shoes for Dementia Patients using Embedded Board and Low Power Wide Area Technology," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 1, pp. 100-106, Jan. 2020.
- [14] S. H. Han, H. B. Shim, Y. G. Kim, and J. G. Lim, "Power Control System for Energy Savings," in *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, South Korea, pp. 848-849, 2013.
- [15] G. H. Bok, J. H. Byun, S. H. An, J. W. Park, and K. S. Chung, "Smart Home System for IoT-based Power Control," in *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, South Korea, pp. 486-487, 2015.



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