

사물인터넷 시스템을 위한 저전력 반복 깨우기 기법

강카이¹ · 김진천^{2*} · 은성배³

Low-Power-Consumption Repetitive Wake-up Scheme for IoT Systems

Kai Kang¹ · Jinchun Kim^{2*} · Seongbae Eun³

¹Graduate Student, Dept. of Information Communication Eng., Hannam University, Daejeon, 34430 Korea

^{2*}Professor, Dept. of Computer Science, Kyungshung University, Busan, 48434 Korea

³Professor, Dept. of Information Communication Eng., Hannam University, Daejeon, 34430 Korea

요 약

사물인터넷 시스템에서 배터리로 동작하는 사물인터넷 장치는 저전력 소모가 필수이다. 일반적으로 사물인터넷 장치들은 주기적으로 수면 상태에 진입하여 전력 소모를 줄인다. 하지만 비동기 사용자 요구 환경에서는 응답시간을 줄이기 위해 듀티 사이클을 줄여야 하므로 전력 소모 절감 효과가 줄어든다. 본 논문에서는 실내 전등 제어와 같은 비동기 제어가 필요한 환경에서도 장치의 전력 소모 절감 효과를 높일 수 있는 새로운 기법을 제안한다. 제안하는 반복 깨우기(repetitive wake-up) 기법은 스마트폰에서 깨우기 신호를 반복적으로 전송하고 사물인터넷 장치는 듀티 사이클을 최소화함으로써 전력 소모를 줄일 수 있다. 스마트폰 앱과 사물인터넷 장치를 구현하고 실험을 통해 제안하는 반복 깨우기 기법이 기존의 동기적 수면/활동 기법보다 최대 5배 이상 전력 소모를 줄일 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

Battery-operated IoT devices in IoT systems require low power consumption. In general, IoT devices enter a sleep state synchronously to reduce power consumption. A problem arises when an IoT device has to handle asynchronous user requests, as the duty cycle must be reduced to enhance response time. In this paper, we propose a new low-power-consumption scheme, called Repetitive Wake-up scheme for IoT systems of asynchronous environments such as indoor lights control. The proposed scheme can reduce power consumption by sending wake-up signals from the smartphone repetitively and by retaining the IoT device in sleep state to the smallest possible duty cycle. In the various environments with IoT devices at home or office space, we showed that the proposed scheme can reduce power consumption by up to five times compared to the existing synchronous interlocking technique.

키워드 : 사물인터넷, 저전력 소모, 비동기 연동, 반복 깨우기

Keywords : IoT, Low-power-consumption, Asynchronous interaction, Repetitive wake-up

Received 15 October 2021, Revised 22 October 2021, Accepted 28 October 2021

* Corresponding Author Jinchun Kim(E-mail:jckim@ksu.ac.kr, Tel:+82-51-663-4785)

Professor, Department of Computer Science, Kyungshung University, Busan, 48434 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.11.1596>

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. 서 론

사물인터넷(Internet of Things)은 4차산업혁명의 핵심 기반 기술 중 하나로써 각종 사물에 센서와 통신 기능을 내장하여 무선 통신을 통해 사물들을 연결하는 기술이다. 여기서 사물이란 가전제품, 모바일 장비, 웨어러블 장치 등 다양한 임베디드 시스템이다[1].

사물인터넷 장치의 전력공급은 자체 배터리에 의존할 수밖에 없기 때문에 사물인터넷 구축의 핵심 관건은 장치의 전력 소모를 최소화하는 것이다[2]. 장치의 전력 소모가 크면 배터리 교체 주기가 단축되고 이는 전체 사물인터넷 시스템의 효율을 떨어뜨리는 장애요인이 된다[2]. 따라서 사물인터넷 장치의 전력 소모를 줄이기 위한 다양한 연구들이 수행되었다.

사물인터넷 장치의 전력 소모 절감 방법은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 저전력 하드웨어 사용이다. 예를 들어 32비트 범용 프로세서 대신에 PIC나 ATmega128과 같은 8비트 마이크로 컨트롤러를 사용함으로써 전력 소모를 줄일 수 있다[3].

둘째는 장치의 듀티 사이클(duty cycle)을 줄이는 것이다. 듀티 사이클은 정해진 주기에서 장치가 켜져있는 활동 시간의 비율을 백분율로 나타낸 수치이다. 장치가 켜져있지 않은 수면 상태의 전력 소모는 활동 상태보다 1/1000 정도로 적기 때문에 듀티 사이클을 줄이면 그만큼 전력 소모를 줄일 수 있다[4, 5]. 예를 들어 주기적으로 수면/활동을 반복하는 저전력 센서 모듈과 고성능 신호처리 모듈로 이루어진 하이브리드 센서 모듈로 장치를 구성함으로써 전력 소모를 줄일 수 있다[6]. 또한 통신 프로토콜에서도 주기적으로 신호를 주고받을 수 있는 S-MAC[7]이나 T-MAC[8]을 사용함으로써 듀티 사이클을 줄일 수 있다.

셋째는 장치를 기본적으로 수면 상태에 두고 동작이 필요할 때 비동기적으로 깨우는 방법이다. 예를 들어 외부에서 125KHz 전자기파 에너지를 전송하여 수면 상태의 장치를 깨울 수 있다. 이 방법은 장치의 대부분의 시간을 수면 상태로 둘 수 있기 때문에 전력 소모 절감 효과가 상대적으로 크다[9]. 하지만 단점은 깨우기(wake-up) 신호를 발생시킬 별도의 시스템이 필요하다는 점이다.

본 논문에서는 비동기적 환경에서 깨우기 신호를 반복적으로 보냄으로써 사물인터넷 장치가 이를 수신하

는 반복 깨우기(repetitive wake-up) 기법을 제안한다. 제안하는 반복 깨우기 기법은 수면 상태의 장치를 깨우기 위해 별도의 에너지 전송 시스템 없이 장치 스스로 수면/활동 상태를 전환함으로써 기존의 통신 장치만으로 장치를 깨울 수 있다. 즉 스마트폰과 같은 제어 신호 발생 장비에서는 통신 프로토콜을 통해 단순 깨우기 신호를 반복적으로 전송하고 사물인터넷 장치는 주기적으로 아주 짧은 시간만 깨어 깨우기 신호가 있는지 확인한다. 사물인터넷 장치는 주기적으로 짧은 시간 동안만 활동하므로 상대적으로 적은 에너지 소모로 깨우기 신호를 수신할 수 있다. 제안하는 반복 깨우기 방식의 전력 소모 절감 효과는 장치의 수면 시간과 통신 환경에 따라 달라지기 때문에 본 논문에서는 시스템 구현과 실험을 통해 전력 소모 절감 효과를 분석한다.

II. 관련 연구

기존의 세 가지 전력 소모 절감 방법은 다음과 같다.

2.1. 저전력 소모 하드웨어

저전력 마이크로 컨트롤러 전문기업 ATmel사에서 제시한 마이크로 컨트롤러의 전력 소모 계산 공식은 수식 (1)과 같다.

$$P = \frac{1}{2} * FToggle * CLoad * V_{DD}^2 \quad (1)$$

$FToggle$ 은 마이크로 컨트롤러의 전환 주파수이고 $CLoad$ 는 부하이며 V_{DD} 는 공급 전압이다. 수식 (1)에 따라 마이크로 컨트롤러의 전력 소모를 줄이려면 동작 전압을 낮추고 전환 주파수를 작게 하며 회로의 부하를 담당하는 논리 소자수를 최소화해야 한다. 표 1은 ATmega128과 MSP430의 전력 소모량을 비교한 것이다. ATmega128은 8비트이고 MSP430은 16비트이지만 MSP430의 동작전압이 절반 정도로 낮고 클럭 속도가 1/16로 낮기 때문에 처리 비트수가 2배임에도 전력 소모는 ATmega128에 비하여 크게 낮음을 알 수 있다.

위 식 (1)에서 $FToggle$ 을 클럭 속도로 대체하고 $CLoad$ 를 처리 비트수로 대체하면 수식 (2)와 같이 장치의 전력 소모를 추정할 수 있다.

$$\text{전력소모} \approx \text{동작전압} * \text{클럭속도} * \text{처리 비트수} \quad (2)$$

Table. 1 Comparison of Power Consumption of ATmega128 and MSP430

CPU	Voltage (V)	Clock (MHz)	No. of Bits	Power Consumption	
				Active	Sleep
ATmega 128	4.5-5.5	16	8	26mA-38 mA	20uA
MSP 430[3]	1.8-3.6	1	16	51uA-207uA	0.1uA

2.2. 동기적 수면/활동 방식

2.2.1. 동기적 시스템

Haimour[5]는 저전력 센서 모듈과 고성능 신호처리 모듈로 구성된 하이브리드 센서 노드를 개발하고 표적 탐지와 인식을 위한 센서네트워크를 제시하였다. MSP430으로 센서 모듈과 전원을 제어하고 DSP와 FPGA를 사용하여 신호처리 알고리즘을 수행하였다.

Hong[6]은 아래와 같이 센서 노드의 전력 소모 요인들을 정리하였다.

- 1) RF transmission and reception
- 2) Collisions
- 3) Overhearing
- 4) Control packet overhead
- 5) Idle listening
- 6) Over-emitting

이를 통해 수면 상태에서 활동 상태로 전환하기 위한 동기적 듀티 사이클 제어 방식을 제시하였다.

2.2.2. 동기적 센서 노드 연동 기법

S-MAC 프로토콜[7]은 대표적인 센서네트워크 NAC(Network Access Control) 프로토콜로써 그림 1과 같이 듀티 사이클을 줄임으로써 활동 시간을 줄인다. 각 노드는 일정 시간 휴면 후 다른 노드와의 통신 여부를 확인한다. 휴면 시간에는 노드의 무선 장치를 끄고 타이머를

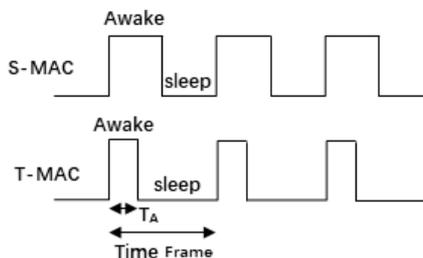


Fig. 1 Comparison of S-MAC and T-MAC

이용하여 자신을 깨운다.

T-MAC[8]은 S-MAC과 유사하지만 TA(Time Active) 시간 동안 동작을 하고 그 시간에 요청 작업이 없으면 수면 상태로 전환한다. 활동 시간의 길이는 네트워크 부하 상황에 따라 동적으로 조절할 수 있다.

Woo[9]는 센서 노드의 남은 전력이 부족할 때 수면/활동 주기를 조절하여 불필요한 에너지 소비를 줄이는 방안을 제안했다. 문제는 수면 상태의 노드를 주기적으로 깨우기 위해 자동 수면이나 동기적 깨우기 방식을 사용해야 하는데 이때 대기시간으로 인한 불필요한 전력 소모가 발생할 수 있다.

2.3. 깨우기 방식

깨우기(wake-up) 방식은 주기적인 자체 수면/활동 전환에 따른 전력 소모를 줄이기 위해 외부에서 깨우기 인터럽트를 거는 방식이다. 즉 강제적인 깨우기 신호가 오기 전까지 사물인터넷 장치를 계속 수면 상태로 둬으로써 전력 소모를 최소화할 수 있다[10]. 깨우기 신호는 125KHz 주파수의 전자기파를 사용한다.



Fig. 2 125KHz Wake-up Module[11]

이 방식의 단점은 그림 2와 같이 별도의 125KHz 전자기파 발생 장치가 필요하고 센서 노드에도 추가로 전자기파 수신기를 부착해야 한다는 점이다.

Ⅲ. 반복적 깨우기 기법의 설계 및 구현

3.1. 시스템 설계

본 시스템의 적용 대상은 사물인터넷 장치가 부착된 주변 장치를 스마트폰으로 제어하는 실내외 환경이다.

예를 들면 스마트폰으로 사물인터넷 장치를 통해 실내 전등이나 가전제품을 제어하는 것을 들 수 있다. 문제는 사용자가 전등이나 가전제품을 제어하는 사건이 비동기적이라는 점이다. 즉 제어 신호가 언제 발생할지 알 수 없기 때문에 이를 수신하는 사물인터넷 장치는 원칙적으로 항상 활동 상태에 있어야 하고 그에 따른 전력 소모 또한 크다.

본 논문에서는 이와 같이 제어 장비와 사물인터넷 장치가 비동기적으로 연동될 때 전력 소모를 줄일 수 있는 새로운 기법을 설계, 구현하고 실험을 통해 그 성능을 분석한다. 제안하는 기법은 기존의 동기적 수면/활동 방식과 강제적 깨우기 방식의 장점을 살린 반복 깨우기 (repetitive wake-up) 기법이다. 반복 깨우기 기법의 동작 과정은 아래와 같다.

- 1) 사물인터넷 장치는 주기적으로 수면/활동 상태로 전환. 이때 활동 상태의 동작 시간은 단지 깨우기 신호 유무를 확인하는 최소한의 시간으로 설정.
- 2) 사용자의 제어 신호를 전송하는 스마트폰은 제어 신호를 한 번만 보내는 것이 아니라 신호가 성공적으로 수신될 때까지 반복적으로 전송.

제안하는 반복 깨우기 방식을 그림으로 나타내면 그림 3과 같다. 사물인터넷 장치는 주기적으로 수면/활동 상태로 전환되지만 활동 상태 기간을 최소화함으로써 전력 소모를 최소로 줄일 수 있다. 제어 신호를 발생시키는 스마트폰은 전력 소모에 대한 부담이 상대적으로 작기 때문에 사물인터넷 장치가 활동 상태로 전환되어 제어 신호를 수신할 때까지 반복적으로 제어 신호를 보낸다 하더라도 오버헤드는 크지 않다. 또한 기존의 강제적 깨우기 방식은 깨우기 신호를 위한 별도의 전자기파 발생 장치와 수신 장치가 필요하지만 본 논문에서 제안하는 반복 깨우기 방식은 단지 제어 신호를 반복해서 보내는 것이므로 별도의 장치 추가가 필요 없다.

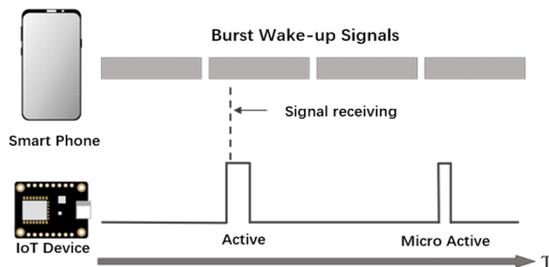


Fig. 3 System Composition

3.2. 시스템 구현

본 시스템은 사물인터넷 장치와 스마트폰으로 구성된다. 사물인터넷 장치는 HM-10모듈과 Arduino UNO로 구현하였다. 완성된 시스템은 그림4와 같다.

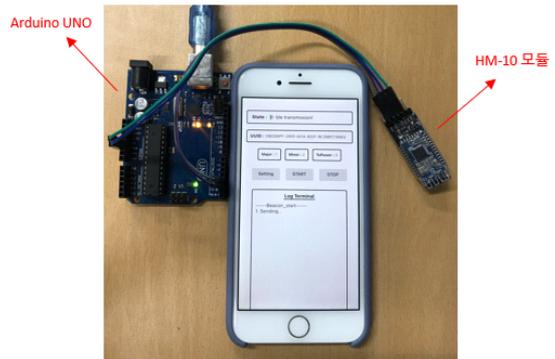
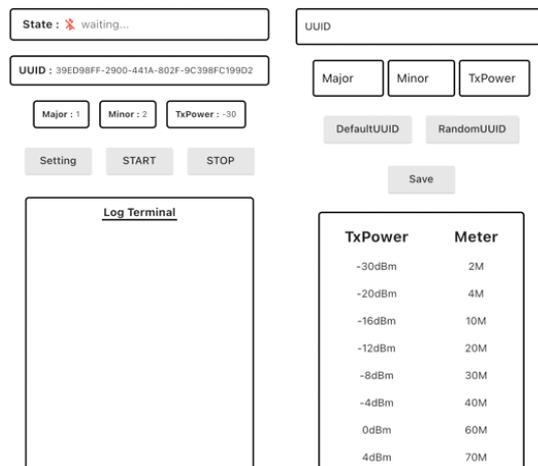


Fig. 4 Experimental System Implementations

HM-10은 저전력 블루투스 통신용 BLE 모듈이다. Arduino UNO의 CPU는 Atmega328P이고 개발 환경은 Arduino IDE이다. 스마트폰 앱의 구현은 그림 5와 같다. 상단 왼쪽 화면은 대기중 화면이고, 상단 오른쪽 화면은 UUID, Major, Minor, TxPower 등을 표시한 화면으로 Setting, START, STOP 버튼으로 구성된다. Setting 버튼을 누르면 초기 UUID 또는 랜덤 UUID를 설정할 수 있고 BLE 통신에 필요한 Major, Minor 수치와 TxPower를 설정할 수 있다. 설정이 완료되면 Save 버튼으로 저장한다. START 버튼을 누르면 신호를 보낼 수 있다. 신호들의 전송 상황은 하단 오른쪽 화면과 같다.



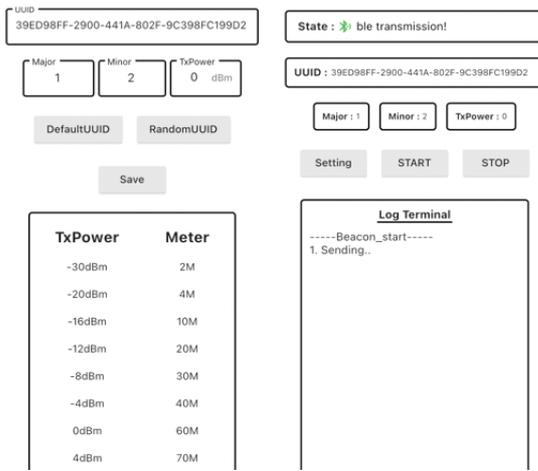


Fig. 5 Screenshots of Smart Phone App

IV. 실험 및 성능평가

4.1. 실험 환경

실험 환경은 앞의 그림 3과 같이 스마트폰에서는 깨우기 신호를 반복적으로 보내고 사물인터넷 장치에서는 수면/활동 상태를 주기적으로 반복하면서 신호를 수신한다. 즉 활동 상태(Micro Active)는 오로지 깨우기 신호의 유무 여부만 점검하기 위한 짧은 시간 동안 유지되고 신호가 없으면 다시 수면 상태로 전환한다. 따라서 활동 상태 시간을 줄일수록 듀티 사이클이 작아지므로 전력 소모 또한 줄어든다.

실험은 실내와 실외, 두 가지 환경에서 거리를 달리하며 실시하였다. 실내의 경우, 주변에 다른 블루투스 신호가 많아서 충돌에 의한 지연이 많았는데 학교 운동장과 같은 실외에서는 이러한 신호 충돌이 상대적으로 적었다.

4.2. 실험 결과 분석

실험 결과는 표 2와 같다.

Table. 2 Result of Experiments

Fields	Tx Power (dBm)	Distance	Time (ms)	Average Time(ms)
In door	4	1m	63-80	70
		3m	72-95	80
		5m	83-100	94

Fields	Tx Power (dBm)	Distance	Time (ms)	Average Time(ms)
In door	4	10m(wall)	66-220	115
		20m(wall)	fail	-
	-16	1m	63-85	74
		3m	75-95	83
		5m	85-100	98
Out door	4	10m	63-75	70
		30m	68-87	75
		50m	63-100	82
		70m	68-220	95
		70m+	fail	-
	-16	10m	63-76	72
		30m	65-87	85
		50m	67-100	96
		70m	69-220	130
		70m+	fail	-

실험 환경은 실내와 건물 벽체가 포함된 실외이다. 신호 강도는 4dBm의 큰 경우와 -16dBm의 작은 경우로 구분하여 실시하였다. 표에서 보는 바와 같이 신호 세기가 클수록 짧은 시간 안에 깨우기 신호를 수신할 수 있고 거리가 멀수록 보다 긴 시간이 필요한 것을 알 수 있다. 한편 BLE의 특성상 거리가 멀어지면 신호 수신 자체가 되지 않는 영역도 있다.

4.3. 전력 소모 분석

전력 소모 분석 시나리오는 그림 6과 같다. 사용자가 요청 명령을 내렸을 때 응답을 기다리는 최소 시간은 8초로 가정하였다. 동기적 수면/활동 주기는 최소 응답 시간에 따라 1초/7초로 설정하였다.

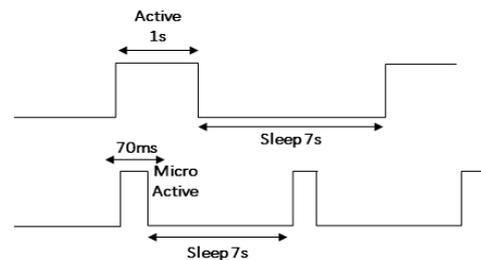


Fig. 6 Comparison of Periodic and Repetitive Wake-up

아두이노 시스템의 전력 소모는 활동 상태에서 5V, 42mA이고 수면 상태에서는 40uA이다[12]. HM-10 모듈의 전력 소모는 대기 중일 때 800uA이고 전송 중일 때 8.5mA[13]이다. 반복 깨우기의 활동 상태 기간과 주기를 70ms와 7초로 설정했을 때 기존의 주기적 수면/활동 기법과 제안하는 반복 깨우기 기법의 전력 소모를 분석하면 아래와 같다.

1) 주기적 수면/활동 기법

$$1\text{sec} * (42+8.5)\text{mA} + 7\text{sec} * (0.04 + 0.8)\text{mA} = 56.38(\text{sec} * \text{mA})$$

2) 반복 깨우기 기법

$$0.07\text{sec} * (42+8.5)\text{mA} + 7.93\text{sec} * (0.04 + 0.8)\text{mA} = 10.20(\text{sec} * \text{mA})$$

분석 결과, 반복 깨우기 기법이 기존의 주기적 수면/활동 기법보다 5배 이상 전력 소모를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 사물인터넷 장치의 전력 소모 절감을 위한 반복 깨우기(repetitive wake-up) 기법을 제안하고 실제 구현과 실험을 통해 전력 소모 절감 효과를 분석하였다. 제안한 반복 깨우기 기법은 스마트폰과 같이 전력 공급이 충분한 단말에서 깨우기 신호를 반복적으로 전송하고, 사물인터넷 장치는 깨우기 신호를 수신할 수 있을 정도의 짧은 시간 동안만 활성 상태로 전환함으로써 전력 소모를 줄이는 방법이다.

깨우기 제어 신호 전송을 위한 스마트폰 앱을 구현하고 BLE 모듈이 장착된 아두이노 기반 사물인터넷 장치를 구현하여 실험을 하였다. 실험을 통해 본 논문에서 제안한 반복 깨우기 기법이 기존의 주기적 수면/활동 기법보다 최대 5배 이상 전력 소모를 줄일 수 있음을 보였다. 향후 연구 방향으로서는 BLE 모듈 대신 BLE 칩을 사용하여 전력 소모 절감 효과를 분석하는 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by X-mind Corps program of National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT (2019H1D8A1105647).

References

- [1] K. J. Singh and D. S. Kapoor, "Create Your Own Internet of Things: A Survey of IoT Platforms," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 57-63, 2017.
- [2] A. Pötsch, A. Berger, and A. Springer, "Efficient analysis of power consumption behaviour of embedded wireless IoT systems," *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp. 1-6, 2017.
- [3] A. M. Holberg and A. Saetre, "Innovative Techniques for Extremely Low Power Consumption with 8-bit Microcontrollers," *AVR Marketing Manager*, 2008.
- [4] S. D. Vu and S. Yoon, "Duty Cycle Scheduling considering Delay Time Constraints in Wireless Sensor Networks," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 18, no. 2, pp. 169-176, 2018.
- [5] J. Haimour and O. A. Sharkh, "Energy Efficient Sleep/Wake-up Techniques for IOT: A survey," *IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology*, pp. 478-484, 2019.
- [6] S. G. Hong, N. S. Kim, and W. W. Kim, "Sensor Module Architecture and Data Processing Framework for Energy Efficient Seamless Signal Processing in WSN," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 48, no. 6, pp. 9-16, 2011.
- [7] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the IEEE INFOCOM 2002 Twenty-First Annual Joint Conference of Computer and Communications Societies*, vol. 3, pp. 1567-1576, 2002.
- [8] T. V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 1st ACM international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 171-180, 2003.
- [9] E. J. Woo, Y. S. Moon, J. H. Choi, J. H. Kim, and J. W. Kim, "Suggestion to Improve Power Efficiency by Changing Sleep-Wakeup Period in Wireless Network Environment for

- Internet of things,” *Journal of IKEEE*, vol. 22, no. 3, pp. 862-865, Sep. 2018.
- [10] J. J. Shin, S. B. Eun, S. S. So, and B. H. Kim, “Design and Implementation of LoRa-based Emergency Exit Guide System,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 569-574, Apr. 2018.
- [11] Y. S. Yoon, S. Ha, K. A. Son, and S. Eun, “A Low Power Consumption Management Scheme Based on Touch & Play for Smart Memory Tags,” *EMEK Journal of Embedded Systems and Applications*, vol. 12, no. 3, pp. 131-138, Jun. 2017.
- [12] Two phase. Measurement of current consumption of MCU [Internet]. Available: <http://blog.naver.com/twophase/>.
- [13] ICbanQ. Arduino HM-10 Bluetooth 4.0 V2 module for keystudio [Internet]. Available: <https://www.icbanq.com>.



강카이(Kai Kang)

2019년: 한남대학교 정보통신공학과 학사
2021년: 한남대학교 정보통신공학과 석사
관심분야: IoT, WPAN 통신



김진천(Jinchun Kim)

1996년: KAIST 전산학 박사
1996년~ 현재: 경성대학교 소프트웨어 학과 교수
※ 관심분야: 컴퓨터 네트워크, 멀티미디어 통신



은성배(Seongbae Eun)

1985년: 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1987년: KAIST 전산학 석사
1987년~1990년: 한국전자통신연구원
1995년: KAIST 전산학 박사
1995년~현재: 한남대학교 정보통신공학과 교수
※ 관심분야: 실시간 시스템, 임베디드 시스템 등