

# 백스캐터 기반 단말의 에너지 효율적인 선택적 채널경쟁 및 데이터 전송 프로토콜

최은진\*, 김경민\*, 이태진<sup>o</sup>

## Energy-Efficient Selective Channel Contention and Data Transmission Protocols for Backscatter-Based Devices

Eun-Jin Choi\*, Kyoung Min Kim\*,  
Tae-Jin Lee<sup>o</sup>

### 요약

본 논문에서는 기존의 WuR(Wake-up Radio) 단말에 무전원 데이터 전송이 가능한 백스캐터(Backscatter) 통신 기술을 적용하고, 단말이 잔여 에너지양에 따라 주송수신기(Main Radio Transceiver) 혹은 백스캐터 송수신기(Backscatter Transceiver)를 활용하여 데이터를 전송하는 에너지 효율적인 프로토콜을 제안하였다. 제안 프로토콜에서 단말은 데이터 전송 이후 단말이 속한 그룹의 에너지양이 충분하지 않은 경우 백스캐터 송수신기를 활용하여 데이터 전송을 수행하거나 에너지를 수확한다. 제안 프로토콜을 통해 단말을 주기적으로 채널경쟁에 참여시켜 데이터 처리율 성능을 향상시켰으며, 백스캐터 송수신기를 활용하여 에너지 효율 성능을 향상시킬 수 있었다.

**Key Words** : Backscatter, Wake-up Radio, Internet of Things(IoT), Wireless Power Transfer(WPT), Wireless Information Transfer(WIT)

### ABSTRACT

In the proposed protocol, the WuR device uses the Main Radio Transceiver to transmit data, and if the amount of remaining energy in the group containing the device that transmitted data last is not sufficient, each device uses the Backscatter Transceiver to transmit data or harvest energy. Through the proposed protocol, we can improve the network throughput by periodically participating devices in channel contention, and improve the energy efficiency by utilizing Backscatter Transceiver.

### 1. 서론

최근 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 단말로 구성된 무선 네트워크에서 단말의 에너지 효율을 높이기 위한 다양한 통신 기술이 주목받고 있다<sup>1)</sup>. 단말의 에너지 효율을 높이기 위하여 IEEE 802.11ba에서는 단말이 웨이크업 신호(Wake-up Signal) 수신 시 통신 모드를 변경하여 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있는 WuR(Wake-up Radio) 표준을 정의하였다. 표준에서 정의된 WuR 단말은 sleep 모드에서 저전력으로 동작을 수행할 수 있는 WuR 수신기(Wake-up Radio Receiver)를 사용하여 외부 신호를 감지하고, 웨이크업 신호 수신 시 주송수신기(Main Radio Transceiver)를 사용하여 데이터를 전송한다<sup>2,3)</sup>. 단말의 에너지 효율을 높이기 위한 또 다른 기술로는 외부 신호를 반사시켜 무전원 데이터 전송이 가능한 백스캐터(Backscatter) 통신 기술이 있다. 백스캐터 통신은 단말의 전력을 소비하지 않고도 데이터 전송이 가능하기 때문에 에너지 효율을 향상시킬 수 있으며, 여기에 주변 신호원(Emitter) 신호를 활용하여 더 넓은 범위에서 에너지 효율적인 데이터 전송이 가능하다<sup>4)</sup>.

네트워크 내 다수의 단말이 에너지 효율적인 데이터 전송을 수행하기 위해서는 저전력 통신 기술을 활용하는 단말을 효율적으로 관리할 수 있는 MAC(Medium Access Control) 프로토콜이 요구된다. 최근, 네트워크 내 단말의 수가 증가함에 따라 AP

※ 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021R1A2B5B01002661).

• First Author : Sungkyunkwan University, Department of Electrical and Computer Engineering, ej.choi@skku.edu, 학생(석사), 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Sungkyunkwan University, Department of Electrical and Computer Engineering, tjlee@skku.edu, 정교수, 종신회원

\* College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, sisrla@skku.edu, 학생(박사), 학생회원  
논문번호 : 202009-230-B-LU, Received September 20, 2020; Revised December 31, 2020; Accepted February 15, 2021

(Access Point) 통신 범위 내 단말 간 충돌이 발생하는 확률이 증가하는 문제가 발생하고 있다<sup>5)</sup>. 또한, 백스캐터 통신을 지원하기 위해 배치된 신호원은 단말이 데이터를 전송하지 않을 때에도 지속적으로 신호를 전송하므로 에너지를 낭비하게 된다는 문제가 있다<sup>6)</sup>. 따라서 다수의 단말 간 데이터 전송 시 발생하는 충돌을 완화시켜 데이터 처리율을 높이고, 단말과 신호원이 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 통신 프로토콜이 요구된다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 백스캐터 통신 기능이 추가된 저전력 WuR 단말로 구성된 네트워크에서 잔여 에너지양에 따라 동작 모드를 결정하는 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안 프로토콜에서 H-AP(Hybrid-AP)는 단말과 데이터 교환을 수행하는 기존 AP의 역할과 RF(Radio Frequency) 신호를 이용하여 단말로 에너지를 전송하는 PB(Power Beacon)의 역할을 수행하며, 단말은 주송수신기를 활용하여 채널 경쟁에 참여할 수 있다. H-AP는 채널 선점에 성공한 단말로부터 데이터를 수신한 이후 해당 단말이 속한 그룹에서 동작 임계값  $O_m$  이하의 에너지를 보유한 단말의 수가 특정 임계값  $E_m$  이상일 경우 네트워크 내 모든 신호원과 그룹 내 모든 단말에게 웨이크업 신호를 전송하며, 신호를 수신한 단말은 백스캐터 송수신기(Backscatter Transceiver)와 주변 신호원 신호를 활용하여 데이터 송수신 및 에너지 수확이 가능하다. 제안 프로토콜에서 단말은 에너지 소모 없이 데이터를 전송하거나 에너지를 수확할 수 있으므로 네트워크 처리율 성능과 단말의 에너지 효율 성능을 향상시킬 수 있다.

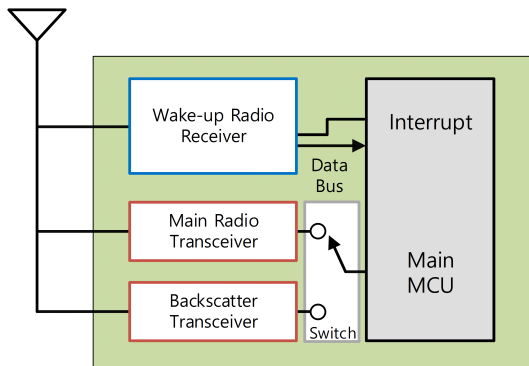


그림 1. IEEE 802.11ba 기반 WuR 단말  
Fig. 1. WuR device based on IEEE 802.11ba

## II. 기존 네트워크 구성 및 프로토콜

기존 네트워크는 하나의 H-AP와 다수의 단말로 구성되어 있다. 기존 네트워크에서 단말은 H-AP로 데이터를 전송하고(WIT, Wireless Information Transfer) H-AP는 단말과 경쟁을 수행하여 네트워크를 구성하는 모든 단말에게 에너지를 전송할 수 있다(WPT, Wireless Power Transfer)<sup>7)</sup>.

H-AP와 단말들은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 프로토콜에 기반한 DCF(Distributed Coordination Function) 방식의 채널경쟁을 수행한다<sup>8)</sup>. 단말은 경쟁 윈도우 내에서 임의의 백오프 값을 선택하고 매 슬롯마다 1씩 감소시키며, 가장 먼저 백오프 값이 0이 된 단말은 H-AP로 RTS(Request To Send) 메시지를 전송한다. RTS 메시지를 수신한 H-AP는 CTS(Clear To Send) 메시지를 전송하고, CTS 메시지를 수신한 단말은 채널 선점에 성공하여 H-AP로 데이터를 전송할 수 있다. 데이터 전송 이후 단말의 잔여 에너지양이 동작 임계값 이하일 경우 해당 단말은 데이터 전송에 참여하지 않고 H-AP로부터 충분한 에너지를 수신하기까지 sleep 모드로 대기한다.

## III. 제안 네트워크 구성 및 프로토콜

제안 네트워크는 그림 2와 같이 하나의 H-AP와 다수의 백스캐터 기반 WuR 단말과 신호원으로 구성되어 있다. 네트워크를 구성하는 WuR 단말은 주송수신

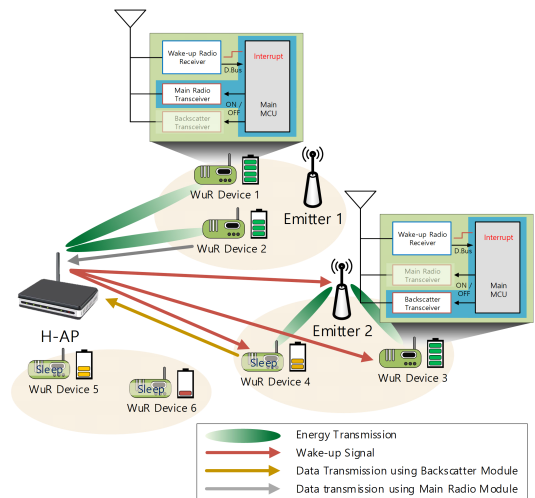


그림 2. 제안 네트워크 모델  
Fig. 2. Proposed network model

기를 사용하여 데이터를 전송하며, 추가로 백스캐터 송수신기를 사용하여 에너지 효율을 향상시킬 수 있다. 단말은 데이터 전송 과정에서 잔여 에너지 정보를 포함한 데이터를 H-AP로 전송하고, H-AP는 SME(Station Management Entity) 모듈을 활용하여 그룹화한 단말의 수신한 에너지양 정보와 단말, 신호원의 배치 정보를 관리할 수 있다. 따라서 단말은 주송수신기를 사용하여 채널경쟁에 참여할 수 있으며, 단말의 잔여 에너지양이 동작 임계값 이하인 경우에도 백스캐터 송수신기를 사용하여 데이터를 전송할 수 있다.

### 3.1 Basic Period

Basic Period에서 동작 임계값 이상의 에너지를 보유한 단말은 H-AP와 채널경쟁을 수행한다. 단말은 잔여 에너지양에 따라 채널경쟁 여부를 결정하므로, Basic Period에서 네트워크 내 총 단말의 개수가  $n$ 개 일 때 채널 경쟁에 참여하는 총 단말 수  $N_{basic}$ 은 H-AP를 포함하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{basic} = P_b n + 1. \quad (1)$$

여기서  $P_b$ 는 단말의 잔여 에너지가 동작 임계값 이상일 확률을 의미한다. 따라서 Basic Period에서 랜덤하게 선택한 시간 슬롯에서 단말이 메시지를 전송할 확률이  $\tau_{basic}$  일 때 단말이 전송에 성공할 확률  $P_{S, basic}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{S, basic} = \frac{N_{basic} \tau_{basic} (1 - \tau_{basic})^{N_{basic} - 1}}{1 - (1 - \tau_{basic})^{N_{basic}}}. \quad (2)$$

따라서, Basic Period에서의 처리율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{basic} = \frac{P_{S, basic} P_{tr, basic} E[P]}{(1 - P_{tr, basic})\sigma + P_{tr, basic} P_{S, basic} T_s + P_{tr, basic} (1 - P_{S, basic}) T_c}. \quad (3)$$

여기서  $\sigma$ 는 슬롯 시간,  $P_{tr, basic}$ 은 Basic Period에서 특정 슬롯 시간동안 최소 한 개 이상의 데이터가 전송되었을 확률,  $T_s$ 는 단말이 데이터 전송에 성공하였을 때 걸리는 시간,  $T_c$ 는 단말이 충돌로 인해 데이터 전송에 실패하였을 때 걸리는 시간을 의미한다.

단말의 데이터 전송 이후, H-AP는 해당 단말과 동일 그룹에 속해 있는 단말들의 잔여 에너지양을 확인하고 동작 임계값 이하의 에너지를 갖는 단말의 수가 특정 임계값 이상일 경우 모든 신호원에게 웨이크업

신호를 전송하며 Basic Period가 종료된다. 그림 3 (b)에서, Device 2의 데이터 전송 이후 Emitter 1 주변의 단말이 전부 sleep 모드로 동작하고 있기 때문에 H-AP는 ACK 메시지 이후 웨이크업 신호를 전송하게 된다.

### 3.2 Backscatter Period

Basic Period에서 웨이크업 신호를 수신한 신호원이 주변 단말로 에너지 신호를 전송하면 Backscatter Period가 시작된다. Backscatter Period에서는 마지막으로 데이터 전송을 수행한 단말이 속한 그룹 내 단말들은 주변 신호원으로부터 수신한 신호로 에너지를 수확하고, 남은 단말들은 백스캐터 기반의 데이터 전송을 위한 채널경쟁을 수행하게 된다. 이때 에너지가 부족한 단말들도 주변 신호원으로부터 수신한 신호로 데이터를 전송할 수 있으므로 채널경쟁에 참여할 수 있다. 따라서 네트워크 내 전체 단말  $n$ 개 중에서 그룹 Backscatter Period에서 채널경쟁에 참여하는 평균 단말의 수  $N_{back}$ 은 에너지를 수신하는 특정 그룹에 속한 단말을 제외한 모든 단말로, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{back} = n - \frac{n}{N_E} = \frac{n(N_E - 1)}{N_E}. \quad (4)$$

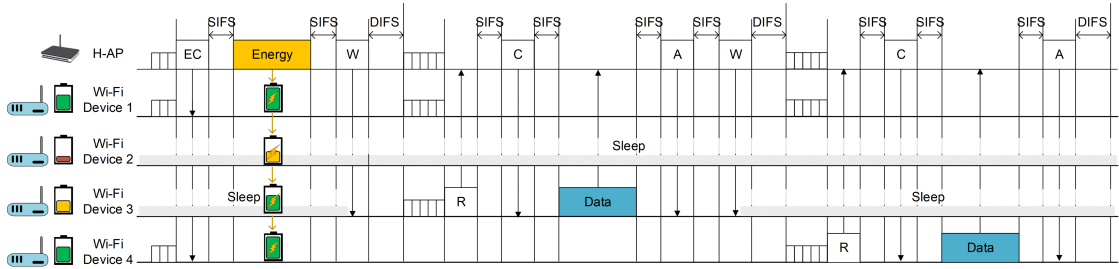
여기서  $N_E$ 는 네트워크 내 신호원의 개수를 의미하며, 이를 바탕으로 Backscatter Period에서 랜덤하게 선택한 시간 슬롯에서 단말이 메시지를 전송할 확률이  $\tau_{back}$  일 때 단말이 데이터 전송에 성공할 확률  $P_{S, back}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{S, back} = \frac{N_{back} \tau_{back} (1 - \tau_{back})^{N_{back} - 1}}{1 - (1 - \tau_{back})^{N_{back}}}. \quad (5)$$

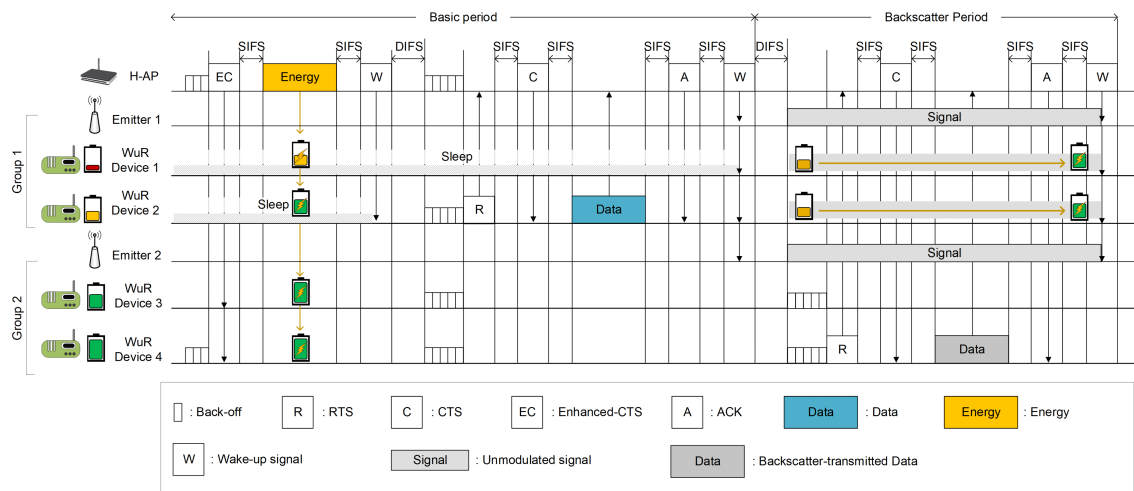
따라서 Backscatter Period에서의 처리율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{back} = \frac{P_{S, back} P_{tr, back} E[P]}{(1 - P_{tr, back})\sigma + P_{tr, back} P_{S, back} T_s + P_{tr, back} (1 - P_{S, back}) T_c}. \quad (6)$$

여기서  $P_{tr, back}$ 은 Backscatter Period에서 특정 슬롯 시간동안 최소 한 개 이상의 데이터가 전송되었을 확률을 의미한다. 해당 구간에서 단말의 데이터를 수신한 H-AP는 신호원의 동작을 중지하라는 메시지를



(a) 기존 프로토콜의 동작 과정  
(a) Process of the conventional protocol



(b) 제안 프로토콜의 동작 과정  
(b) Process of the proposed protocol

그림 3. 기존 프로토콜과 제안 프로토콜의 동작 과정  
Fig. 3. Process of the conventional protocol and the proposed protocol

전송한다. 단말이 해당 메시지를 수신하면 Backscatter Period가 종료되고 다시 Basic Period가 시작된다.

그림 3 (b)에서, Device 1, 2는 Emitter 1과 하나의 그룹으로 동작하며 Device 3, 4는 Emitter 2와 하나의 그룹으로 동작한다. Device 1은 이전 통신 구간에서 마지막으로 데이터를 전송한 Device 2와 같은 그룹에 속해 있으므로, Device 1, 2는 에너지를 수신하고 다른 그룹에 속한 Device 3, 4는 데이터 전송을 위한 채널경쟁을 진행하게 된다. H-AP가 채널 선점에 성공하였을 때에만 에너지를 수신할 수 있었던 Basic Period와는 달리, Backscatter Period에서 단말은 신호원의 신호를 활용한 데이터 전송 및 에너지 수신이 가능하므로 에너지 효율적인 동작이 가능해진다.

#### IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 프로토콜과 기존 방법의 데이터 처리율 및 에너지 효율 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 제안 프로토콜에서 WuR 단말은 총 배터리 용량의 절반을 동작 임계값으로 설정하여 Basic Period에서 잔여 에너지양에 기반한 동작을 수행하며, Backscatter Period에서 주송수신기를 활용할 때의 1/1000배 수준인 10 μW 전력을 소비하여 데이터를 전송하므로 에너지 효율적인 동작이 가능하다. 기존 방식에서 단말과 H-AP는 Backscatter Period 없이 Basic Period만으로 동작을 수행한다. 총 전송된 비트 수를 시뮬레이션 수행 시간으로 나누어 처리율을 계산하였으며, 시뮬레이션에서 사용한 파라미터는 표 1과 같다.

그림 4는 단말 수 변화에 따른 기존 방법과 제안 프로토콜의 데이터 처리율 성능을 수식에 기반하여

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation Parameter

Parameter	Value
Minimum Contention Window, $CW_{min}$	32, 64, 128
Maximum Backoff Stage, $m$	3
Number of Devices, $n$	10 ~ 200
Number of Emitters, $N_E$	5
Operation Threshold, $O_{th}$	50 %
Energy Threshold, $E_{th}$	50 %
Data Transmission Rate, $R_{data}$	1 Mbit/s
Wi-Fi Transmission Power, $P_{WiFi}$	63 mW
Receive Power, $P_{Rx}$	77 mW
Backscatter Transmission Power, $P_{Back}$	10 $\mu$ W
Payload, $E[P]$	8184 bits

도출된 분석 결과와 비교한 그래프이다. 제안 프로토콜에서 단말들은 기존 방식에 비해 더 많은 에너지를 수신할 수 있으며, 에너지가 부족한 단말도 Backscatter Period에서 데이터를 전송할 수 있어 처리율 성능이 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한, 단말의 최소 경쟁 윈도우 크기를 증가시킬수록 Backscatter Period에서 충돌이 발생할 확률이 감소하여 제안 프로토콜에서 처리율의 감소폭이 작아짐을 확인할 수 있다.

그림 5는 단말 수 변화에 따른 에너지 효율 성능을 비교한 그래프이다. 기존 방법에서 동작 임계값 이하의 에너지를 보유한 단말들은 데이터를 전송하지 않고 에너지 수신을 기다리지만, 제안 프로토콜에서 동작 임계값 이하의 에너지를 보유한 단말들은 백스캐터 방식으로 데이터를 전송하기 때문에 기존 방법보

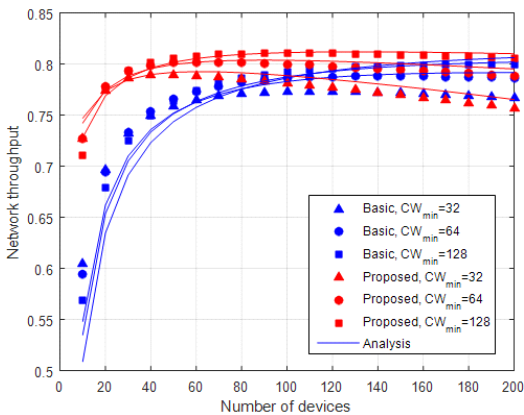


그림 4. 단말 수 변화에 따른 처리율 성능  
Fig. 4. Throughput for varying number of devices

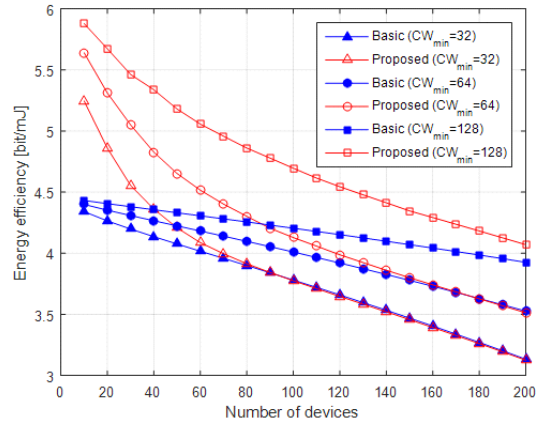


그림 5. 단말 수 변화에 따른 에너지 효율  
Fig. 5. Energy efficiency for varying number of devices

다 높은 에너지 효율을 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 제안 프로토콜에서는 단말의 수가 증가할수록 경쟁에 참여하는 단말의 수가 증가하여 데이터 전송 시 충돌이 발생할 확률이 증가하므로 에너지 효율이 빠르게 감소하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 다수의 백스캐터 기반 WuR 단말들로 구성된 네트워크에서 단말이 신호원의 신호를 활용하여 효율적으로 데이터 전송을 수행할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안 방법에서 채널 선전에 성공한 단말은 데이터 전송 시 잔여 에너지를 포함한 정보를 전송하며, H-AP는 그룹별 잔여 에너지양에 따라 다음 동작 모드를 결정하여 단말이 에너지 효율적인 동작을 수행할 수 있도록 한다. 제안 방법을 통해 향후 배터리 제한적인 다수의 사물인터넷 단말로 구성된 네트워크에서 데이터 처리율과 에너지 효율을 높일 수 있다.

### References

- [1] J. Pullmann and D. Macko, "Increasing energy efficiency by minimizing collisions in long-range IoT networks," in *Proc. 2019 42nd Int. Conf. Telecommun. and Sign. Process. (TSP)*, pp. 178-181, Budapest, Hungary, Jul. 2019.
- [2] R. Piyare, A. L. Murphy, C. Kiraly, P. Tosato and D. Brunelli, "Ultra low power wake-up

- radios: A hardware and networking survey,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 19, no. 4, pp. 2117-2157, Fourthquarter 2017.
- [3] K. Han and K. Huang, “Wirelessly powered backscatter communication networks: Modeling, coverage, and capacity,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 16, no. 4, pp. 2548-2561, Apr. 2017.
- [4] W. Liu, K. Huang, X. Zhou, and S. Durrani, “Next generation backscatter communication: systems, techniques, and applications,” *EURASIP J. Wireless Commun. and Netw.*, vol. 2019, pp. 1-11, Mar. 2019.
- [5] Y. Kim, “Fourth industrial revolution(4IR) hyper-connected society and internet of things age,” *J. Korea Contents Assoc.*, vol. 17, no. 3, pp. 14-19, Sep. 2019.
- [6] N. Van Huynh, D. T. Hoang, X. Lu, D. Niyato, P. Wang, and D. Kim, “Ambient backscatter communications: A contemporary survey,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 20, no. 4, pp. 2889-2922, Fourthquarter 2018.
- [7] F. Rezaei, C. Tellambura, and S. Herath, “Large-scale wireless-powered networks with backscatter communications—a comprehensive survey,” *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 1, pp. 1100-1130, Jul. 2020.
- [8] G. Bianchi, “Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.