

# Wake-Up Radio를 활용한 지역화 TSCH 슬롯프레임 기반 항공 데이터 수집 연구

권정혁<sup>1</sup>, 최효현<sup>2\*</sup>, 김의직<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한림대학교 스마트컴퓨팅연구소 연구교수, <sup>2</sup>인하공업전문대학 컴퓨터정보과 교수, <sup>3</sup>한림대학교 소프트웨어학부 부교수

## Regionalized TSCH Slotframe-Based Aerial Data Collection Using Wake-Up Radio

Jung-Hyok Kwon<sup>1</sup>, Hyo Hyun Choi<sup>2\*</sup>, Eui-Jik Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Research Professor, Smart Computing Laboratory, Hallym University

<sup>2</sup>Professor, Department of Computer Science, Inha Technical College

<sup>3</sup>Associate Professor, Division of Software, Hallym University

**요약** 본 논문은 Wake-up radio를 활용한 지역화 Time Slotted Channel Hopping (TSCH) 슬롯프레임 기반 항공 데이터 수집 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 무인항공기가 대규모 서비스 영역 내 배치된 센서 기기들의 데이터를 수집할 때 소요되는 지연 시간 및 소모 에너지를 최소화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해, 제안 기법은 서비스 영역을 다수의 지역으로 분할하고, 각 지역 내 센서 기기들이 요구하는 셀의 수에 따라 지역별로 TSCH 슬롯프레임의 길이를 결정한다. 이후, 각 지역 내 센서 기기들의 ID를 활용하여 TSCH 슬롯프레임 내 데이터 전송 전용 셀을 할당한다. 에너지 효율적인 데이터 수집을 위해, 센서 기기는 Wake-up radio를 활용한다. 구체적으로, 센서 기기는 Wake-up radio를 활용하여 비콘 수신 및 데이터 전송을 위해 할당된 셀에서만 네트워크 인터페이스를 활성화한다. 시뮬레이션 결과는 제안 기법이 기존 기법 대비 지연 시간 및 에너지 소모 측면에서 더 우수한 성능을 가지는 것을 보여주었다.

**주제어** : 무선 센서 네트워크, 무인항공기, 지역화 TSCH 슬롯프레임, 항공 데이터 수집, Wake-up radio

**Abstract** This paper presents a regionalized time slotted channel hopping (TSCH) slotframe-based aerial data collection using wake-up radio. The proposed scheme aims to minimize the delay and energy consumption when an unmanned aerial vehicle (UAV) collects data from sensor devices in the large-scale service area. To this end, the proposed scheme divides the service area into multiple regions, and determines the TSCH slotframe length for each region according to the number of cells required by sensor devices in each region. Then, it allocates the cells dedicated for data transmission to the TSCH slotframe using the ID of each sensor device. For energy-efficient data collection, the sensor devices use a wake-up radio. Specifically, the sensor devices use a wake-up radio to activate a network interface only in the cells allocated for beacon reception and data transmission. The simulation results showed that the proposed scheme exhibited better performance in terms of delay and energy consumption compared to the existing scheme.

**Key Words** : Wireless sensor networks, Unmanned aerial vehicle, Regionalized TSCH slotframe, Aerial data collection, Wake-up radio

이 논문은 2018년도 정부 (교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2018R1D1A1B07049577). 이 논문은 2020년도 정부 (교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2020R111A3052733). 이 성과는 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021R1C1C2095696).

\*교신저자 : 최효현(hchoi@inhatc.ac.kr), 김의직(ejkim32@hallym.ac.kr)

접수일 2022년 2월 14일 수정일 2022년 3월 30일 심사완료일 2022년 4월 6일

## 1. 서론

최근, 정보통신 융합 기술이 발전됨에 따라, 무인항공기 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)를 활용한 모니터링 서비스가 다양한 산업 분야에서 각광받고 있다 [1,2]. 특히, 무인항공기가 서비스 영역 상공을 이동하면서 센서 기기의 데이터를 수집하는 항공 데이터 수집 기술은 인프라 구축이 어렵거나 서비스 영역이 넓은 산림, 농업, 국방, 건설 산업 분야에서 그 수요가 증가하고 있는 추세이다 [3].

일반적으로, 무인항공기는 항공 데이터 수집을 위해 계획된 비행경로를 이동하면서 통신 범위 내 존재하는 모든 센서 기기들의 데이터를 수신한다. 그러나, 무인항공기와 센서 기기는 제한적인 용량을 가진 배터리로부터 전원을 공급받기 때문에, 기기들의 에너지 고갈 문제로 인해 안정적인 데이터 수집이 어려울 수 있다 [4-6]. 따라서, 무인항공기 및 센서 기기의 에너지 효율적 운용은 원활한 항공 데이터 수집을 위해 필수적인 요구사항으로 고려되고 있다. 이에, 최근에는 데이터 수집의 효율화를 통해, 무인항공기 및 센서 기기의 에너지 소모를 최소화하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

Say et al. 및 Kim et al.은 센서 기기의 전송 우선순위 및 통신 범위 내 센서 기기의 수에 따라 최소 경쟁원도우 ( $CW_{min}$ )을 적응적으로 조절하는 항공 데이터 수집 기법을 제안하였다 [7,8]. 해당 기법은 데이터 수집 과정에서 발생하는 백오프 지연 및 충돌 횟수를 줄여, 무인항공기가 데이터 수집을 조기에 완료하게 하며, 센서 기기의 불필요한 동작을 줄여 에너지 소모량을 감소시킨다. 그러나, 해당 기법은 경쟁 기반의 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)를 활용하기 때문에, 반송파 감지, 재전송 등으로 인한 에너지 소모 및 전송 지연을 발생시킨다.

이 문제를 해결하기 위해, Poudel & Moh는 기기 군집화 기술과 비경쟁 기반의 Time Division Multiple Access (TDMA)를 활용한 항공 데이터 수집 기법을 제안하였다 [9]. 해당 기법에서, 센서 기기들은 Cluster Head (CH)를 선정하고, 자신에게 할당된 전용 슬롯을 통해 자신들의 데이터를 CH에게 전송한다. CH는 수신된 데이터를 통합하고 Sleep 모드로 대기한다. CH가 무인항공기로부터 비콘을 수신하면 통합된 데이터를 전송한다. 해당 기법은 무인항공기의 비행시간을 크게 줄일 수 있다. 그러나, 해당 기법에서 CH는 주변 센서 기기들

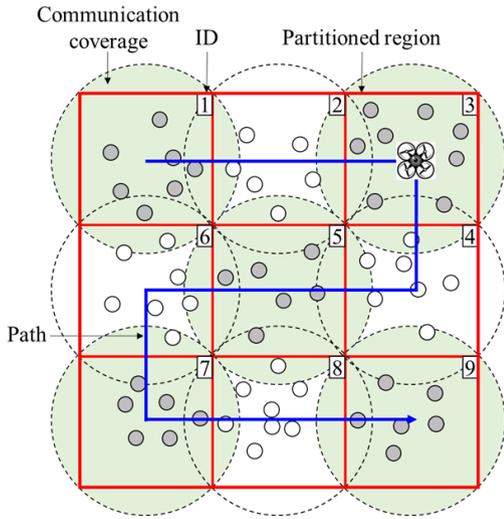
의 데이터를 수집, 통합, 전송하는 역할을 수행해야 하므로, 소모하는 에너지가 매우 크다. 또한, 무인항공기의 비콘을 수신하기 위해, 항상 Radio를 On 상태로 두어야 하므로 에너지가 낭비된다.

본 논문에서는 항공 데이터 수집에서의 지연 시간 및 소모 에너지를 최소화하기 위한, Wake-up radio (WUR)를 활용한 지역화 Time Slotted Channel Hopping (TSCH) 슬롯프레임 기반 항공 데이터 수집 기법을 제안한다. 제안 기법에서 서비스 영역은 다수의 지역으로 분할되며, 무인항공기는 각 영역을 이동하면서 데이터를 수집한다. 구체적으로, 각 지역의 중앙에서 무인항공기는 WUR 신호를 전달하여 센서 기기의 동작을 활성화시킨다. 이후, 비콘을 통해 TSCH 슬롯프레임의 길이 및 할당정보를 센서 기기에게 전달하고, 개별 센서 기기로부터 데이터를 수집한다. 제안 기법에서는 지역마다 서로 다른 TSCH 슬롯프레임 길이를 가지며, 이는 지역 내 존재하는 센서 기기들이 요구하는 셀 수에 따라 결정된다. 셀 할당의 경우 각 지역 내 센서 기기들의 ID를 활용하여 순차적으로 할당된다. 각 센서 기기는 전용 셀을 통해 데이터를 전송하고, 비콘 수신 및 할당된 셀에서만 Radio를 On시킨다. 제안기법의 우수성을 확인하기 위해, 시뮬레이션을 수행했다. 실험 결과는 제안 기법이 기존 기법 대비 13.70% 더 짧은 총 지연 시간 및 22.25% 더 낮은 평균 에너지 소모량을 갖는 것을 보여주었다.

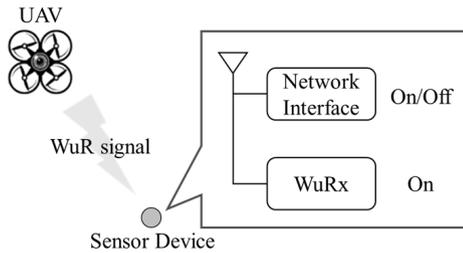
이어지는 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 구조를, 3장에서는 TSCH 슬롯프레임 길이 결정 및 셀 할당에 대해 설명한다. 4장에서는 실험결과에 대해 설명하고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 시스템 구조

[Fig. 1]은 넓은 서비스 영역에 배치된 다수의 센서 기기로부터 하나의 무인항공기가 데이터를 수집하는 항공 데이터 수집 시스템 구조를 보여준다. 그림과 같이, 모니터링을 수행할 전체 서비스 영역은 다수의 지역으로 분할된다. 각 지역 분할의 경우, 무인항공기의 비행 고도에 따른 통신 범위에 따라 결정되며, 각 영역의 크기는 통신 범위 내 포함되도록 설정된다. 각 영역마다 ID가 할당되며, 센서 기기는 자신의 속해 있는 영역의 ID를 무인항공기의 비콘을 통해 전달받는다.



[Fig. 1] System architecture



[Fig. 2] Receiver structure

무인항공기는 다수의 지역으로 분할된 영역을 이동하면서, 주기적으로 주변 환경을 감지하는 센서 기기의 데이터를 수집하는 역할을 수행한다. 이를 위해, 무인항공기는 기 설정된 비행계획에 따라 분할된 지역을 이동하면서 데이터 수집을 수행한다. 무인항공기가 각 지역의 중앙에 도착하면, WUR 신호를 센서 기기에게 전달한다.

센서 기기는 에너지 소모를 최소화하기 위해 [Fig. 2]와 같이 WuRx 및 네트워크 인터페이스를 갖는 수신기 구조를 갖는다 [10]. WuRx는 WUR을 수신하기 위한 인터페이스로 항상 On 상태로 유지된다. 반면, 네트워크 인터페이스는 On/Off 상태가 전환된다. 구체적으로, 센서 기기의 WuRx는 무인항공기의 WUR 신호를 수신하면 Off 상태에 있는 네트워크 인터페이스를 On 상태로 전환한다. 무인항공기가 WUR 신호를 전송하고 나면, 지역 내 모든 센서 기기에게 비콘 정보를 전송한다. 비콘에는 현재 지역 ID, 센서 기기별 지역 ID, 지역별 TSCH

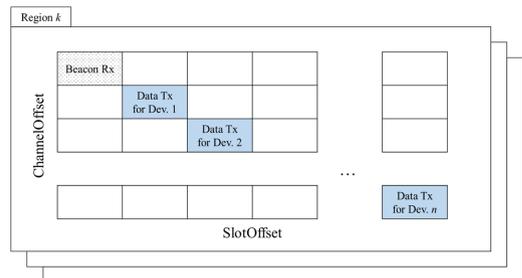
슬롯프레임 크기 및 셀 할당 정보를 포함한다. 비콘 정보는 비행 이전 무인항공기에 입력되며, TSCH 슬롯프레임의 크기 및 셀 할당에 관련한 내용은 3장에서 자세히 설명한다. 비콘을 수신한 센서 기기는 네트워크 인터페이스를 Off 상태로 전환한다. 이후, 센서 기기는 TSCH 슬롯프레임 데이터 전송을 위해 할당된 셀에서만 네트워크 인터페이스를 On 상태로 유지시키고 데이터를 전송한다. 센서 기기가 데이터 전송을 완료하면 자신의 네트워크 인터페이스를 Off 상태로 전환한다.

무인항공기는 특정 지역의 데이터를 모두 수집하면 다음 지역으로 이동하고, 모든 지역 내 센서 기기의 데이터를 수집하면 항공 데이터 수집을 종료한다.

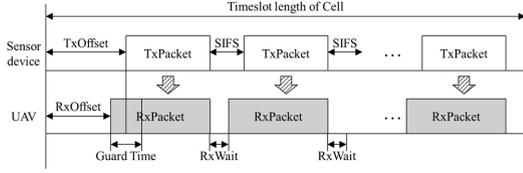
### 3. TSCH 슬롯프레임 길이 결정 및 셀 할당

제안하는 항공 데이터 수집 기법은 불필요한 지연 및 에너지 소모를 최소화하기 위해, 비경쟁 기반 초저전력 Medium Access Control (MAC) 프로토콜인 IEEE 802.15.4 TSCH를 활용한다 [11]. 구체적으로, 지역마다 서로 다른 길이를 갖는 TSCH 슬롯프레임을 결정하고, 이를 활용하여 각 지역 내 센서 기기에게 셀을 할당한다. 이후, 해당 정보를 무인항공기에 입력하여 각 지역의 센서 기기의 데이터 수집을 수행한다.

[Fig. 3]은 특정 지역의 TSCH 슬롯프레임 구조를 보여준다 [12]. 그림과 같이 TSCH 슬롯프레임은 다수의 셀로 구성된다. 각 셀은 SlotOffset 및 ChannelOffset 쌍으로 표현되며, 슬롯프레임의 길이는 SlotOffset의 수로 결정된다 [13]. 그림과 같이 첫 번째 셀은 비콘 수신을 위한 구간으로 사용되고, 나머지 셀들은 센서 기기들이 데이터를 전송하기 위한 구간으로 사용된다.



[Fig. 3] TSCH slotframe structure



[Fig. 4] TSCH Tx/Rx timing diagram

지역 내 센서 기기의 수는 고정되어 있다. 따라서, 각 지역 별 TSCH 슬롯프레임의 길이는 지역 내 개별 센서 기기들이 필요로 하는 셀의 수에 따라 결정된다. 이를 결정하기 위해, [Fig. 4]와 같이 하나의 셀에 다수의 패킷 전송을 지원하는 TSCH 송수신 타이밍을 고려한다 [14]. 송신측에서는 셀 초기에 전송 준비를 위해 TxOffset 만큼의 유휴 시간이 유지되고, 패킷은 SIFS 단위로 연속 전송된다 [15]. 한편, 수신측에서는 송신 동기화 문제를 해결하기 위해, 가드 타임이 고려된다. 특정 센서 기기가 하나의 셀에서 전송 가능한 최대 패킷의 수 ( $N_{txPktCell}$ )는 식 (1)과 같이 구해진다. 해당 센서 기기가 전송할 패킷의 수가  $N_{pkt}$ 이면, 요구하는 셀의 수 ( $N_{cell}$ )는 식 (2)와 같이 구해진다.

$$N_{txPktCell} = \left\lfloor \frac{t_{cell} - TxOffset}{SIFS + t_{pkt}} \right\rfloor \quad (1)$$

$$N_{cell} = \left\lceil \frac{N_{pkt}}{N_{txPktCell}} \right\rceil \quad (2)$$

여기서,  $t_{cell}$ 은 셀의 타임 슬롯 길이를 의미하고,  $t_{pkt}$ 는 패킷 전송에 걸리는 시간을 의미한다.  $t_{pkt}$ 는 패킷의 크기를 전송율로 나누어 구해진다. 또한,  $\lfloor \cdot \rfloor$ ,  $\lceil \cdot \rceil$ 는 각각 내림함수 및 올림함수를 의미한다.

식 (2)를 통해, 특정 지역에서의 TSCH 슬롯프레임 길이 ( $L_{slotframe}$ )를 결정할 수 있으며, 이는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{slotframe} = t_{cell} \times \sum_{i=1}^n N_{cell,i} \quad (3)$$

여기서,  $N_{cell,i}$ 는  $i$ 번째 센서 기기가 요구하는 셀의 수를 의미한다. 결과적으로,  $k$ 번째 지역의 TSCH 슬롯프레임 길이는  $L_{slotframe,k}$ 로 나타낼 수 있다.

특정 지역 내 개별 센서 기기에 대한 셀 할당은 기기들의 ID를 활용하여 구해진다. 구체적으로, 제안 기법은 센서 기기의 ID를 오름차순으로 정렬하고, ID 순서대로 SlotOffset을 결정한다. 특정 지역 내 존재하는 모든 센서 기기에 대한 SlotOffset의 집합 (SlotOffset)은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{SlotOffset} = \{SO_0, SO_1, \dots, SO_n\} \quad (4)$$

여기서,  $SO_n$ 는  $n$  번째 센서 기기에 할당된 SlotOffset의 집합을 나타낸다. 알고리즘 1은 SlotOffset 결정 절차를 자세히 보여준다.

Algorithm 1. SlotOffset determination	
1:	INITIALIZE SlotOffset to 0
2:	FOR each $i, i \in [0, n]$
3:	IF $i == 0$ //Beacon Rx
4:	SO[0] ← SlotOffset;
5:	ELSE
6:	FOR each $j, j \in [0, N_{cell,i}-1]$ //Packet Tx
7:	SlotOffset ← SlotOffset + 1;
8:	SO[j] ← SlotOffset;
9:	ENDFOR
10:	ENDIF
11:	SlotOffset[i] ← SO;
12:	ENDFOR
13:	RETURN SlotOffset

한편, ChannelOffset은 센서 기기가 변경될 때 마다 변경된다. 즉, 센서 기기의 ID가 증가될 때 마다, ChannelOffset은 1씩 증가한다. 이는 알고리즘 2에서 자세히 보여준다.

Algorithm 2. ChannelOffset determination	
1:	INITIALIZE ChannelOffset to 0
2:	FOR each $i, i \in [0, n]$
3:	FOR each $j, j \in [0, N_{cell,i}-1]$
4:	CO[j] ← ChannelOffset;
5:	ENDFOR
6:	ChannelOffset ← (ChannelOffset+1) mod $N_{ch}$ ;
7:	ChannelOffset[i] ← CO;
8:	ENDFOR
9:	RETURN ChannelOffset

여기서, ChannelOffset은 특정 지역 내 존재하는 모든 센서 기기에 대한 ChannelOffset의 집합을 나타내고, CO는  $i$  번째 센서 기기에 할당된 ChannelOffset의 집합을 나타낸다. 또한,  $N_{ch}$ 는 채널의 총 수이고, mod는 나머지 연산 (Modulo)을 의미한다.

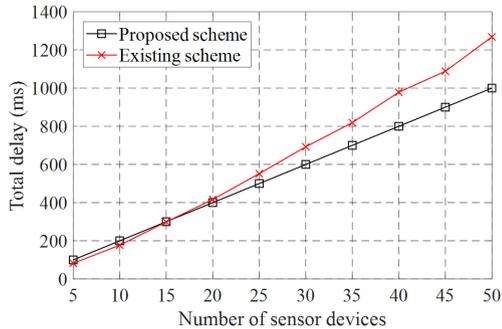
## 4. 실험 결과

제안 기법의 우수성을 확인하기 위해, MATLAB를 활

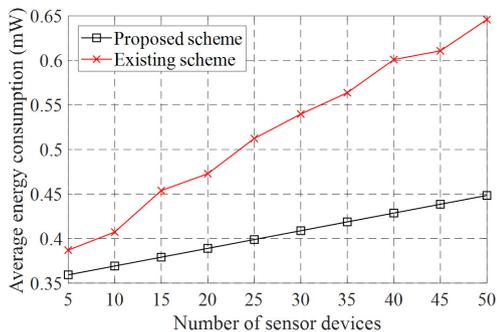
용한 시뮬레이션을 수행했으며, 기존 CSMA/CA 기반의 항공 데이터 수집기법과 결과를 비교하였다. <Table 1>은 시뮬레이션에서 활용한 파라미터에 대해 자세히 보여준다.

<Table 1> Simulation parameters

Parameter	Value
PHY/MAC	IEEE 802.15.4
Packet size	100 bytes
Data rate	250 kbps
Supply voltage	3V
Tx Energy Consumption	9.1 mA
Rx Energy Consumption	6.1 mA
RF Idle Energy Consumption	0.4 mA
WUR Energy Consumption	33 $\mu$ A
Timeslot length	10 ms
Tx Offset	2120 $\mu$ s
SIFS	192 $\mu$ s



[Fig. 5] Total delay



[Fig. 6] Average energy consumption

[Fig. 5]는 특정 지역 내 센서 기기의 수가 증가함에 따라 변화되는 총 지연 시간을 보여준다. 총 지연 시간은

센서 기기로부터 데이터를 수집하는데 걸린 총 시간을 의미한다. 그림에서, 센서 기기의 수가 15 보다 더 큰 경우, 제안 기법의 총 지연 시간이 기존 기법 대비 더 짧았다. 특히, 센서 기기의 수가 더 많아질수록 차이는 더 벌어졌다. 이는, 제안 기법의 경우, 센서 기기들이 전용 슬롯을 통해 데이터를 전송하여 센서 기기의 갯수에 영향을 받지 않는 반면, 기존 기법의 경우, 센서 기기의 수가 많아지면 경쟁이 더 치열해져서 충돌 및 재전송이 빈번하게 발생되기 때문이다. 그러나, 센서 기기의 수가 15 미만일 경우, 제안 기법의 총 지연 시간이 기존 기법 대비 미세하게 더 길었다. 이는 센서 기기의 수가 적은 경우, 셀 내 TxOffset 및 잔여 슬롯 구간과 같은 오버헤드의 영향이 커지기 때문이다.

[Fig. 6]는 특정 지역 내 센서 기기의 수가 증가함에 따라 변화되는 평균 에너지 소모량을 보여준다. 전체적으로 제안 기법의 평균 에너지 소모량이 기존 기법 대비 더 낮았으며, 센서 기기의 수가 증가할수록 그 차이는 더 커졌다. 이는, 제안 기법이 WUR을 활용하여, 전송을 수행할 때만 네트워크 인터페이스를 활성화시키며, 비경쟁 방식으로 데이터를 전송하여 불필요하게 에너지를 소모하지 않기 때문이다.

## 5. 결론

본 논문은 WUR를 활용한 지역화 TSCH 슬롯프레임 기반 항공 데이터 수집 기법을 제안하였다. 제안 기법은 총 지연 시간 및 소모 에너지를 최소화하기 위해, 각 지역마다 서로 다른 길이를 갖는 TSCH 슬롯프레임을 결정하고, 센서 기기의 ID를 활용하여 셀을 할당한다. 또한, 센서 기기의 에너지 효율을 극대화하기 위해, 데이터를 전송할 시에만 네트워크 인터페이스를 활성화 시킨다. 실험 결과는, 제안 기법이 기존 기법 대비 총 지연 시간 및 평균 에너지 소모량 측면에서 각각 13.70% 및 22.25% 더 높은 성능을 가짐을 보여주었다.

## REFERENCES

- [1] M.Nekrasov, R.Allen, I.Artamonova, and E.Belding, "Optimizing 802.15.4 Outdoor IoT Sensor Networks for Aerial Data Collection," *Sensors*, Vol.19, No.16, pp.3479:1-3479:17, 2019.
- [2] X.Wang, X.Liu, C.-T.Cheng, L.Deng, X.Chen, and

F.Xiao, "A Joint User Scheduling and Trajectory Planning Data Collection Strategy for the UAV-Assisted WSN," *IEEE Communications Letters*, Vol.25, No.7, pp.2333-2337, 2021.

[3] M.Mozaffari, W.Saad, M.Bennis, Y.-H.Nam, and M.Debbah, "A Tutorial on UAVs for Wireless Networks: Applications, Challenges, and Open Problems," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.21, No.3, pp.2334-2360, 2019.

[4] C.Zhan, Y.Zeng, and R.Zhang, "Energy-Efficient Data Collection in UAV Enabled Wireless Sensor Network," *IEEE Wireless Communications Letters*, Vol.7, No.3, pp.328-331, 2018.

[5] J.Baek, S.I.Han, and Y.Han, "Energy-Efficient UAV Routing for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.69, No.2, pp.1741-1750, 2020.

[6] A.Nazib and S.Moh, "Energy-Efficient and Fast Data Collection in UAV-Aided Wireless Sensor Networks for Hilly Terrains," *IEEE Access*, Vol.9, pp.23168-23190, 2021.

[7] S.Say, H.Inata, J.Liu, and S.Shimamoto, "Priority-Based Data Gathering Framework in UAV-Assisted Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, Vol.16, No.14, pp.5785-5794, 2016.

[8] E.-J.Kim, H.H.Choi, and J.-H.Kwon, "Regional Density-aware Data Collection Using Unmanned Aerial Vehicle in Large-scale Wireless Sensor Networks," *Sensors and Materials*, Vol.30, No.8(1), pp.1735-1742, 2018.

[9] S.Poudel and S.Moh, "Energy-Efficient and Fast MAC Protocol in UAV-Aided Wireless Sensor Networks for Time-Critical Applications," *Sensors*, Vol.20, No.9, pp.2635:1-2635:23, 2020.

[10] E.Lopez-Aguilera, I.Demirkol, E.Garcia-Villegas, and J.Paradells, "IEEE 802.11-Enabled Wake-Up Radio: Use Cases and Applications," *Sensors*, Vol.20, No.1, pp.66:1-66:16, 2020.

[11] IEEE, 802.15.4-2015, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC Sublayer", Oct. 2015.

[12] S.Jeong, J.Paek, H.-S.Kim, and S.Bahk, "TESLA: Traffic-aware elastic slotframe adjustment in TSCH networks," *IEEE Access*, Vol.7, pp.130468-130483, 2019.

[13] X.Vilajosana, T.Wattheyne, T.Chang, M.Vučinić, S.Duquennoy and P.Thubert, "IETF 6TiSCH: A Tutorial," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.22, No.1, pp.595-615, 2020.

[14] X.Vilajosana, Q.Wang, F.Chraim, T.Wattheyne, T.Chang, and K.S.Pister, "A realistic energy consumption model for TSCH networks," *IEEE Sensors Journal*, Vol.14, No.2, pp.482-489, 2014.

[15] J.-H.Kwon, H.-H.Lee, Y.Lim, and E.-J.Kim, "Dominant Channel Occupancy for Wi-Fi Backscatter Uplink in Industrial Internet of Things," *Applied Sciences*, Vol.6, No.12, pp.427:1-427:17, 2016.

**권 정 혁(Jung-Hyok Kwon) [정회원]**



- 2012년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학과 (공학석사)
- 2019년 2월 : 한림대학교 융합소프트웨어학과 (공학박사)
- 2013년 4월 ~ 2015년 6월 : LIG넥스원 SW연구센터 선임연구원
- 2019년 3월 ~ 현재 : 한림대학교 스마트컴퓨팅연구소 연구교수

<관심분야>

무선네트워크, 사물인터넷, 머신러닝, 블록체인

**최 효 현(Hyo Hyun Choi) [정회원]**



- 1996년 2월 : 서강대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 서강대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2005년 9월 ~ 2009년 2월: 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 컴퓨터정보과 교수

<관심분야>

네트워크 프로토콜, 도심항공교통, 무인비행기 군집 제어, 사물인터넷

**김 의 직(Eui-Jik Kim) [정회원]**



- 2004년 2월 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학과 (공학박사)
- 2006년 2월 ~ 2009년 7월 : 삼성전자 DMC연구소 선임연구원
- 2009년 8월 ~ 2013년 8월 : KT 융합기술원 선임연구원
- 2013년 9월 ~ 현재 : 한림대학교 소프트웨어학부 부교수

<관심분야>

무선네트워크, 사물인터넷, 머신러닝, 블록체인