

무선 센서 네트워크에서 수신 및 싱크 노드를 위한 효율적인 데이터 전송 방법

Efficient Mechanism for receiver and sink node in Wireless Sensor Networks

전준헌[†]

JunHeon Jeon[†]

요 약

무선 센서 네트워크에서 데이터 패킷은 싱크 노드 방향으로 전송되기 때문에 싱크 노드에 가까운 센서 노드들은 데이터 트래픽이 증가한다. 이러한 문제로 인하여 데이터 패킷은 전송 지연되거나 손실될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 half rotation antenna를 사용하는 방법을 제안한다. half rotation antenna를 사용함으로써 데이터 패킷의 전송 지연을 감소시킬 수 있다. 또한 BRN(backup receiver node)를 사용하여 센서 노드들의 에너지를 효율적으로 소모할 수 있었고, 네트워크 전체 수명을 증가시키는 효과를 볼 수 있었다. 제안하는 방법은 RI-MAC 프로토콜과 성능 분석을 하였으며, 기존의 RI-MAC 프로토콜에 비해 에너지 소모 및 지연에 더 좋은 성능을 보였다.

주제어: 지연, 에너지 소모, 안테나, 백업 노드, 무선 센서 네트워크

ABSTRACT

In wireless sensor networks, data packets are send to the sink node. So traffic increases near the sink node. This causes delay and collision. To solve this problem, the proposed mechanism used half rotation antenna. By using a half rotation antenna, the delay of data packets can be reduced. Also we propose a method to efficiently use the energy of the node using BRN(backup receiver node) and increase the lifetime of the entire networks. Our numerical analysis and simulation results show that our mechanism outperforms RI-MAC protocol in terms of energy consumption and transmission delay.

Keywords: delay, energy consumption, antenna, backup node, WSNs

1. 서론

무선 센서 네트워크의 일반적인 환경은 한정된 지역에 임의로 센서 노드들을 배포하는 형태로 구성된다. 배포된 센서 노드들은 스스로 네트워크를 구성하고 싱크 노드 방향으로 데이터 패킷 전송이 이루어진다[1]. 무선 센서 네트워크에서는 센서 노드들은 제한된 배터리로 네트워크를 구성하기 때문에 효율적인 에너지 소모에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 이는 센서 노드의 에너지 고갈로 인한 수명단축은 전체 네트워크의 수명을 단축시킬 수 있기 때문이다. 그렇기 때문에 무선 센서 네트워크

의 센서 노드는 기본적인 듀티 사이클(duty-cycle)의 형태로 sleep mode와 wakeup mode의 반복적인 형태를 가진다. 기본적 듀티 사이클에서 sleep mode의 시간을 길게 하면 에너지 소모가 줄어드는 장점을 가지지만 반대로 데이터 패킷 전송이 지연되는 단점을 가진다. 물론 wakeup mode의 시간을 길게 하면 데이터 패킷 전송 지연은 감소되지만 에너지 소모가 커지는 단점을 가진다 [2]. 무선 센서 네트워크에서 에너지 소모와 지연에 대한 트레이드 오프는 가장 일반적인 내용으로 이 분야에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

과거의 무선 센서 네트워크는 데이터 트래픽이 적고,

[†] 정 회 원: 한양대학교 창의융합교육원 교수

논문접수: 2020년 04월 24일, 심사완료: 2020년 05월 13일, 게재확정: 2020년 05월 13일

데이터의 크기도 작은 형태가 주를 이루었다. 현재는 IoT(Internet of Things, 사물인터넷)의 근간이 되면서 사진, 영상 같은 데이터의 전송이 이루어지는 환경 및 데이터 트래픽도 증가한 형태를 가진다. 이러한 현재의 환경에 과거의 전송 방법은 효율적이지 않기 때문에 새로운 전송 방법이 필요하다.

본 논문은 RI-MAC[3] 프로토콜과 성능 비교 분석을 했다. RI-MAC 프로토콜은 수신 노드 기반의 대표적인 MAC 프로토콜이다. RI-MAC 프로토콜은 송신 노드의 신호가 아닌 수신 노드의 비콘 신호를 시작으로 데이터 패킷의 송수신이 이루어지며, 전송방법은 다음과 같다. 전송할 데이터 패킷을 가지는 송신 노드는 wakeup하여 수신 노드의 신호를 기다린다. 수신 노드는 주기적으로 wakeup하여 비콘 신호를 전송한다. 비콘 신호를 수신한 송신 노드는 데이터 패킷을 전송한다. 수신 노드는 데이터 패킷 수신이 완료되면 다시 비콘 신호를 전송한다. 이러한 RI-MAC 프로토콜의 비콘 신호는 2가지 의미를 가진다. 첫째 데이터 패킷의 전송 시작을 의미한다. 둘째는 데이터 패킷이 이상 없이 전송 되었다는 응답 신호의 의미를 가진다.

본 논문은 싱크 노드와 1-hop일 때와 싱크 노드를 제외한 센서 노드들의 multi-hop일 때의 데이터 전송에 효율적인 방법을 제안한다.

2. 제안하는 메커니즘

2.1 제안하는 메커니즘 환경

무선 센서 네트워크에서 제안하는 MAC 프로토콜의 환경은 싱크 노드(sink node)가 전체 네트워크 중앙이 아닌 그림 1과 같이 최종 목적지를 의미한다. 센서 노드(sensor node)들은 싱크 노드를 기준으로 한쪽방향만 랜덤하게 배포되어 있는 형태로 그림 1과 같다.

제안하는 논문에서 싱크노드는 그림 1에서 보듯이 효율적인 데이터 전송을 위해 half rotation antenna를 이용한다. 이는 싱크 노드의 데이터 손실 및 지연을 효율적으로 관리하기 위해 제안하는 방법이다. 이 메커니즘에 대해서는 2.2에 자세히 설명한다. 또한 싱크 노드를 제외한 센서 노드는 효율적이 데이터 수신 및 노드들의 에너지 효율적인 데이터 전송을 위하여 backup receiver node(BRN)를 사용하는 방법을 제안한다. 이 메커니즘에 대해서는 2.3에 자세히 설명한다.

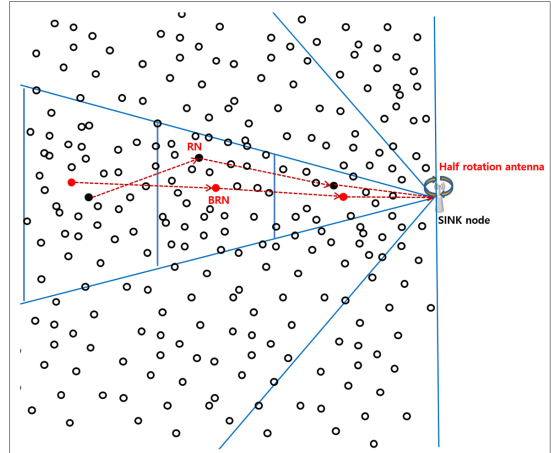


그림 1. 제안하는 MAC 프로토콜의 환경

2.2 싱크 노드에서 데이터 수신 방법

그림 1과 같은 환경의 무선 센서 네트워크에서는 싱크 노드에 가까울수록 데이터 부하 및 트래픽이 증가한다. 이러한 데이터 부하 및 트래픽 증가의 인하여 데이터 전송은 지연이 되고, 나아가 전송 우선순위가 뒤로 밀리는 센서 노드는 오랫동안 전송에 참여하지 못하고 결국 데이터가 손실이 되는 경우가 발생할 수 있다. 이렇게 싱크 노드에 데이터 전송이 집중되는 현상을 funneling effects [4] 라고 한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하는 위한 방법으로 싱크 노드에서 사용하는 안테나에 half rotation antenna를 이용하는 방법을 제안한다. 그림 2는 싱크 노드에 half rotation antenna를 사용한 형태이다. 그림 2에서 보듯이 싱크 노드의 안테나는 일정한 간격 및 주기를 가지고 회전을 한다. 그림 2의 (a)는 회전을 통해서 빨간색으로 되어 있는 정해진 구역에서만 전송되는 데이터를 수신한다. 전송되는 데이터가 없거나 일정한 시간을 지나면 다시 회전을 시작한다. 그림 2의 (b)에서 싱크 노드의 안테나는 회전되었으므로 정해진 구역도 회전에 맞추어 변경되고, 그 지역에 있는 센서 노드의 데이터를 수신한다. 그림 2의 (c)는 위와 같은 방법으로 싱크 노드의 안테나의 회전과 그에 따른 수신 영역의 변경을 나타내고 있다. 본 논문에서 제안하는 half rotation antenna를 사용하기 위하여 다음과 같은 조건을 가정한다.

- 센서 노드들은 자신의 위치정보(GPS)를 가지고 있다.
- 싱크 노드의 안테나와 센서 노드의 안테나 사이에 높이 차이는 고려하지 않는다. (센서 노드와 싱크 노드는 모두 2-D(평면) 상태로 가정한다.)

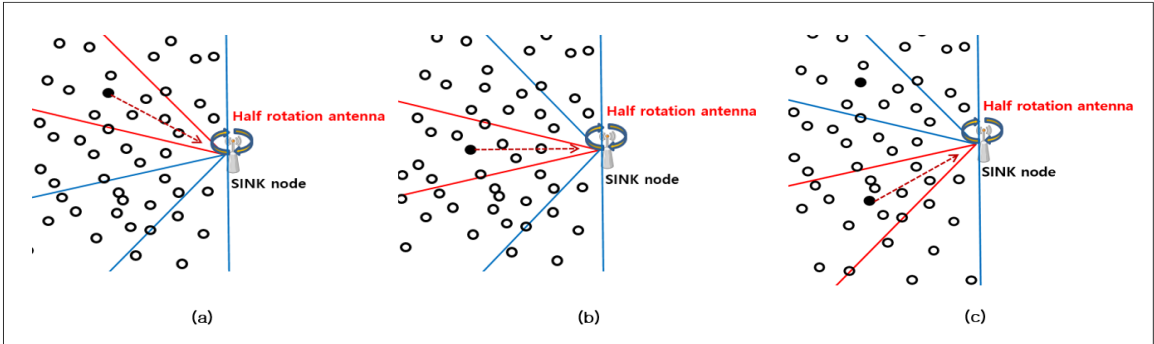


그림 2. half rotation antenna를 이용한 전송방법

- 모든 센서 노드에서 출발하는 신호 세기(강도)는 일정하다.
- 싱크 노드 안테나의 회전은 θ_{min} 에서 θ_{max} 안에서 회전한다.
- 싱크 노드 안테나를 기준으로 아래의 22.5° 에 해당하는 직선을 X 축으로 가정하고, 안테나를 기준으로 위의 22.5° 에 해당하는 직선을 Y 으로 가정한다.
- 싱크 노드 안테나가 오른쪽으로 회전할 때는 데이터를 전송하고자 하는 센서 노드의 위치와 X 축 사이의 값을 θ 로 한다.
- 싱크 노드 안테나가 왼쪽으로 회전할 때는 데이터를 전송하고자 하는 센서 노드의 위치와 Y 축 사이의 값을 θ 로 한다.

제안하는 메커니즘 개략도는 그림 3과 같다.

센서 노드들의 데이터 전송방식은 RI-MAC[3] 프로토콜을 변형한 방법을 사용한다. 이 방법은 싱크 노드와 1-hop 거리의 센서 노드만 해당하는 방법으로 multi-hop에서의 전송방법은 다음절에서 설명한다. 전송방법은 다음과 같다.

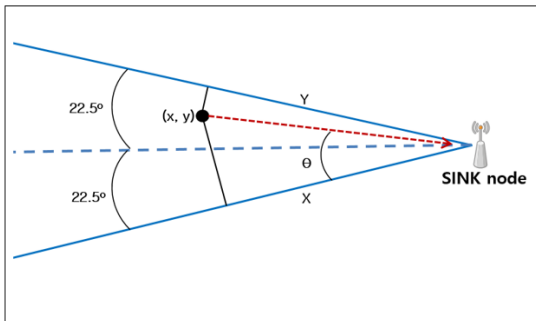


그림 3. 제안하는 메커니즘 개략도

전송할 데이터를 가지고 있는 센서 노드는 wake up 상태로 주기적으로 싱크 노드 방향으로 비콘 신호(beacon signal)를 전송한다. 여기서 비콘 신호의 전송방식은 일반적인 CSMA/CA[5] 방식을 따른다. 센서 노드의 비콘 신호를 수신한 싱크 노드는 신호의 세기와 방향을 계산한다. 비콘 신호의 세기로 센서 노드와 싱크 노드의 거리를 계산하고 수식(1)에 의해 데이터를 수신할 위치의 센서 노드인지 계산한다.

$$\cos \theta = \frac{D_x}{D_s} \quad (1)$$

D_s 는 센서 노드와 싱크 노드의 거리이며, D_x 는 센서 노드의 싱크 노드 X축에 해당하는 거리로 센서 노드의 위치정보를 통해 계산된다.

여기서 θ 값의 범위는 변경되는 X 축을 기준으로 $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ 이며 이 범위에 해당할 경우 싱크 노드는 데이터를 수신 할 수 있다는 의미의 비콘 신호를 전송한다. 물론 θ 의 범위가 위 범위에 해당하지 않을 경우 싱크 노드는 비콘 신호를 전송하지 않는다.

센서 노드는 싱크 노드의 비콘 신호를 수신할 경우에만 데이터 전송을 한다. 싱크 노드는 센서 노드의 데이터가 모두 수신될 때 까지 안테나를 회전하지 않는다. 싱크 노드는 센서 노드의 데이터를 모두 수신하거나 일정 시간 동안 비콘 신호가 전송되지 않으면 안테나를 회전한다.

싱크 노드의 전송 알고리즘은 다음과 같다.

```

algorithm 1: function of sink node
while antenna rotation
    and received beacon signal:
        if beacon signal strong:
             $\cos \theta = D_x / D_s$ 
    
```

```

if  $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$  about X axis:
    sink node transmits beacon signal
    sensor node transmits data packet
else:
    sink node antenna rotation
else:
    sink node antenna rotation
    
```

2.3 센서 노드들의 데이터 송수신 방법

본 논문에서는 센서 노드와 센서 노드 사이의 효율적인 데이터 전송 방법을 제안한다. 이 데이터 전송방법은 RI-MAC 프로토콜을 변형한 QAEE MAC[6] 프로토콜의 기본 전송방법을 따른다. 그림 4는 본 논문에서 제안하는 센서 노드에서의 효율적인 데이터 전송 방법을 보여준다.

센서 노드는 주기적으로 Tx-beacon 신호를 전송한다. 그림 4에서는 송신 노드(sender node)의 데이터 패킷을 수신할 수 있는 수신 노드(receiver node)가 3개 있다고

가정했다. 3개의 수신 노드 중 수신 노드1이 데이터 패킷을 수신하기 위하여 Rx-beacon 신호를 전송한다. 송신 노드는 수신 노드1로 데이터 패킷을 전송한다. 2번째로 전송할 데이터 패킷을 가지고 있는 송신 노드는 데이터 패킷 전송을 위해 Tx-beacon signal을 전송한다. 앞에서처럼 데이터 패킷을 수신할 수 있는 수신 노드가 3개 있다고 할 때, 수신 노드1은 이미 앞에서 전송에 참여했기 때문에 BRN(backup receiver node) 상태값으로 2를 가지며, 전송에 참여하지 않을 때 마다 1씩 감소된다. 그리고 BRN 상태값이 0이 될 때 까지 전송에 참여하지 않는다. 그림 4에서는 2번째 데이터 패킷 전송에 수신 노드2가 참여하여 데이터를 수신하였으며 방법은 위와 동일하다. 3번째로 전송할 데이터 패킷을 가지고 있는 송신 노드는 데이터 패킷을 전송하기 위하여 Tx-beacon signal을 전송한다. 위와 마찬가지로 수신 노드1은 BRN 상태값이 2에서 1로 변경되었으며, 수신 노드2는 BRN 상태값이 2로 변경된다. BRN 상태값은 전송에 참여하면 2로 시작되고, BRN 상태값은 2, 1, 0 으로 3단계로 구성되어 있다. 3단계로 구성한 이유는 2개의 수신 노드가 서로 돌아가면서 반복적으로 데이터 패킷을 수신하는 hot spot problem[8][9]의 문제를 해결하기 위함이다.

그림 5는 BRN를 이용한 전송방법을 보여준다. 센서 노드의 전송 알고리즘은 다음과 같다.

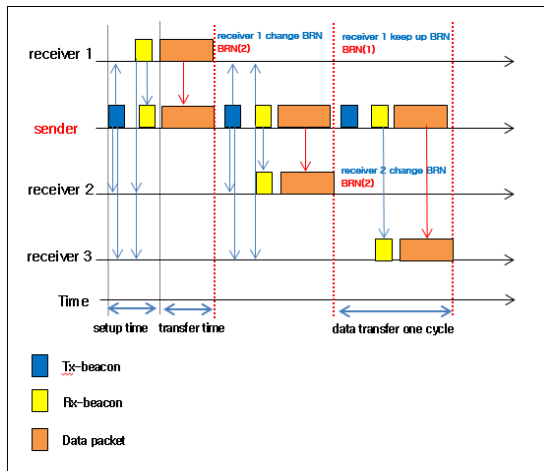


그림 4. 센서 노드들의 데이터 송수신 방법

algorithm 2: function of sensor node

```

while sender node transmits Tx-beacon:
    if receiver node received Tx-beacon
    and BRN is zero:
        receiver node transmits Rx-beacon
        sender node transmits data packet
    else if receiver node received Tx-beacon
    and BRN is two:
        BRN change one
    
```

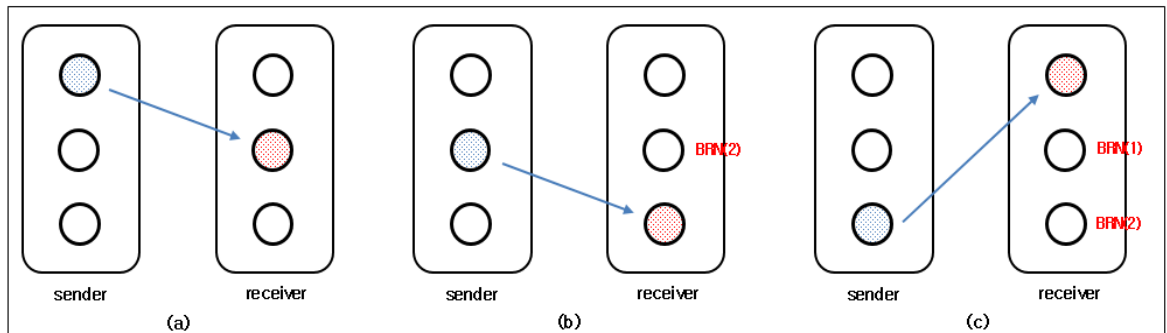


그림 5. BRN을 이용한 전송방법

```

sleep mode
else if receiver node received Tx-beacon
and BRN is one:
BRN change zero
sleep mode
    
```

3. 성능 분석

본 장에서는 제안하는 방식과 기존의 RI-MAC 프로토콜의 성능을 비교 분석한다. 성능 분석은 싱크 노드와 1-hop인 경우 및 싱크 노드를 제외한 multi-hop인 경우 2가지로 나누어 시행한다.

첫 번째 1-hop인 경우는 2개 이상 서로 다른 지역에 있는 임의의 노드에서 동시적으로 전송할 데이터 패킷이 있다고 가정하였고, 총 10회를 실험하여 평균으로 계산한다.

두 번째 싱크 노드를 제외한 multi-hop인 경우는 각 노드에서의 데이터 발생은 30%의 범위에서 임의로 발생한다고 가정하였고, 동일한 전송 범위 안에서 3번이상의 연속적인 데이터가 발생하는 환경을 만들어 성능 변화를 비교 분석한다. 총 10회를 실험하여 평균값을 취한다. 다른 프로토콜과의 성능 비교를 위하여 표 1의 파라미터 값을 사용하였다[3][9][10].

그림 6은 싱크 노드와 1-hop에 위치한 센서 노드의 데이터 패킷 증가에 따른 지연을 보여준다. 그림에서 보듯이 싱크 노드 주위의 센서 노드들이 전송해야 될 데이터 패킷이 증가할수록 RI-MAC 프로토콜은 제안하는 방법에 비해 지연시간이 급격히 증가되고 있음을 알 수 있다. 이는 제안하는 방법은 정해진 지역 안에 있는 센서 노드만 경쟁에 참여하여 전송이 이루어지는 반면 RI-MAC 프

표 1. Networks Parameters

Parameter	Explanation	Value
P_{TX}	Power consumption in TX mode	57.6mA
P_{idle}	Power consumption in idle mode	10mA
P_{sleep}	Power consumption in sleep mode	10 μ A
P_{RX}	Power consumption in RX mode	10mA
T_{data}	Data packet transfer time	7.744ms
Data_Rate	Data rate	250kbps
$B_{capacity}$	Battery capacity	1000mAh
BEACON	beacon size	44byte
DATA	data packet size	220byte
SIFS	Short Interframe Space	192 μ s
ACK	Acknowledgement size	5B
preamble	Short preamble size	6B

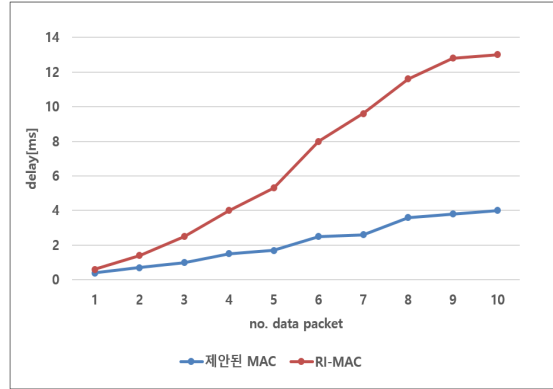


그림 6. sink node와 1-hop에서의 성능비교

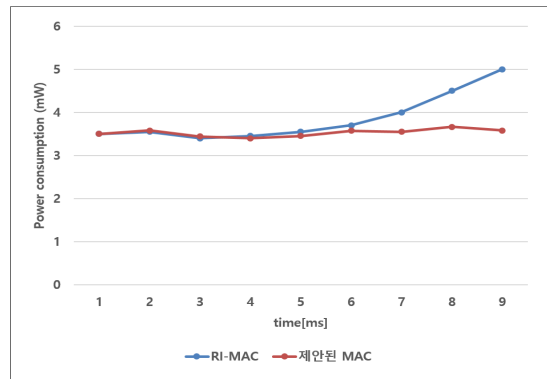


그림 7. sensor node의 에너지 소모

로토콜의 경우 모든 센서 노드들이 경쟁에 참여함으로써 데이터 패킷이 증가할수록 병목현상이 발생하고 이로 인하여 지연이 증가되고 있다. 제안하는 메커니즘은 RI-MAC 프로토콜에 비해 평균 약 25%의 지연이 감소되었다.

그림 7은 싱크 노드를 제외한 multi-hop 환경에서 센서 노드들의 평균 에너지 소모를 보여준다. 그림에서 보듯이 시간이 증가함에 따라 RI-MAC 프로토콜은 센서 노드들의 에너지 소모가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 RI-MAC 프로토콜은 전송에 참여 여부와 상관없이 수신 노드가 결정되기 때문에 한번 참여한 노드가 계속 전송에 참여하는 문제가 발생하기 때문이다. 제안하는 방법은 BRN을 이용하기 때문에 센서 노드들이 비슷한 에너지 소모를 보이고 있다. 제안하는 방법은 RI-MAC 프로토콜에 비해 평균 약 10%의 에너지가 감소되었다.

4. 결론

본 논문에서는 BRN을 사용하여 1~2개의 수신 노드가 지속적으로 데이터 패킷 전송에 참여하여 노드의 에너지가 고갈 될 수 있는 문제를 해결하는 방법을 제안하였다. 또한 데이터 패킷이 싱크 노드에 집중되는 문제를 해결하기 위하여 half rotation antenna를 사용하는 효율적인 데이터 패킷 전송방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 데이터 전송이 가끔 일어나는 환경보다는 자주 발생하는 환경에 더 효율적임을 알 수 있다. 추후 보다 더 큰 네트워크 환경에 적합한 방법 및 IoT(사물인터넷)과 접목된 환경에 대한 연구가 이루어질 예정이다.

참고문헌

[1] Huang, P., Xiao, L., Soltani, S., Mutka, M. W., & Xi, N. (2012). The evolution of MAC protocols in wireless sensor networks: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 15(1), 101-120.

[2] Ye, W., Heidemann, J., & Estrin, D. (2002, June). An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks. In *Proceedings. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies* (Vol. 3, pp. 1567-1576). IEEE.

[3] Sun, Y., Gurewitz, O., & Johnson, D. B. (2008, November). RI-MAC: a receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks. In *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems* (pp. 1-14).

[4] Wan, C. Y., Eisenman, S. B., Campbell, A. T., & Crowcroft, J. (2005, November). Siphon: overload traffic management using multi-radio virtual sinks in sensor networks. In *Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems* (pp. 116-129).

[5] IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local metropolitan area networks-Specific requirements, Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), (2006). *IEEE Std. 802.15.4*.

[6] Kim, S. C., Jeon, J. H., & Park, H. J. (2012, August). QoS aware energy-efficient (QAEE) MAC protocol for energy harvesting wireless sensor networks. In *International Conference on Hybrid Information Technology* (pp. 41-48). Springer, Berlin, Heidelberg.

[7] Delaney, D. T., Higgs, R., & O'Hare, G. M. (2014). A stable routing framework for tree-based routing structures in WSNs. *IEEE Sensors Journal*, 14(10), 3533-3547.

[8] Liu, X. (2015). Atypical hierarchical routing protocols for wireless sensor networks: A review. *IEEE Sensors Journal*, 15(10), 5372-5383.

[9] Buettner, M., Yee, G. V., Anderson, E., & Han, R. (2006, October). X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks. In *Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems* (pp. 307-320).

[10] Oak, J. Y., Choi, Y. J., & Pak, W. (2012). EP-MAC: Early Preamble MAC To Achieve Low Delay And Energy Consumption In Duty Cycle Based Asynchronous Wireless Sensor Networks. *KSII Transactions on Internet & Information Systems*, 6(11).



전 준 헌

2015년 상명대학교 컴퓨터학과(박사)
 2019년~현재 한양대학교
 창의융합교육원 교수
 관심분야: IoT(사물인터넷), 데이터 과학,
 인공지능, 무선 센서 네트워크
 E-Mail: junheon@hanyang.ac.kr