

# 에너지 수확 무선 센서 네트워크에서 효율적인 버스티 데이터 전송 메커니즘

전준현\* · 김성철\*\* · 박현주\*\*

\*상명대학교

Efficient data transmission mechanism for bursty traffics in the  
energy-harvesting wireless sensor networks

Jun-Heon Jeon\* · Seong-Cheol Kim\*\* · Hyun-Joo Park\*\*

\*SangMyung University

E-mail : cloud0305@naver.com, sckim@smu.ac.kr, cathy2369@naver.com

## 요 약

본 논문에서는 에너지 수확 무선 센서 네트워크에서 버스티 데이터 전송에 효율적인 수신자 기반의 MAC 프로토콜을 제안한다. 에너지 수확 무선 센서 네트워크는 기존의 배터리에 의해 동작하는 센서 네트워크에 비해 태양열과 같은 주변의 환경으로부터 에너지를 수확하여 사용함으로써 전체 네트워크의 수명을 향상시킬 수 있는 장점으로 인하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 에너지 수확 무선 센서 네트워크에서 데이터 전송에 참여하는 센서 노드의 에너지를 참고하여 비콘(beacon) 주기를 조절하고 수신자(receiver) 비콘에 응답(acknowledgment)신호를 포함시킴으로써 버스티 데이터(bursty data) 전송에 효율적이면서, 센서 노드의 에너지를 절약할 수 있는 MAC 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서는 제안된 MAC 프로토콜과 기존에 연구되었던 ODMAC 프로토콜과 에너지 절약 및 버스티 데이터 전송 효율면에서 비교분석한다.

## 키워드

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network), 에너지 수확(Energy Harvesting),  
MAC 프로토콜(MAC Protocol), 수신자 기반(Receiver based)

## 1. 서 론

기존의 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)에 대한 연구는 에너지 소모를 줄여서 네트워크의 수명을 연장할 수 있는 분야에 대한 연구가 주를 이루었다. 그러나 무선 센서 네트워크 분야에서 에너지 수확(Energy Harvesting)에 관한 연구가 활발히 진행되면서 에너지 절약에서 에너지의 효율적인 사용방법에 대한 연구로 바뀌고 있다. 에너지 수확이 가능한 무선 센서 네트워크에서는 각각의 센서 노드(sensor node) 에너지 소모 보다는 전체 네트워크에서 에너지 수확으로 차이가 생기는 센서노드들의 에너지를 어떻게 효율적으로 사용할 것인가를 주 현안으로 연구되고 있다.

본 논문에서는 에너지 수확이 가능한 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들의 에너지 상태를 참고하여 네트워크를 구성하는 MAC 알고리즘을 제안한다. 에너지 수확이라 함은 모든 노드에서 지속적으로 발생하지 않는다. 예를 들어 태양에너지는 흐린 날, 그림자가지는 곳에서는 수확을 기대하기 어렵다. 바람에너지는 바람이 안 부는 곳(건물 안)이나 날씨는 수확이 어렵다. 이렇듯 현실에서 에너지 수확은 모든 센서들이 동등하지 않기 때문에 기존의 MAC 프로토콜 사용 시 전송 지연(delay)이나 손실(loss)을 가져올 수 있다. 그러므로 센서들은 자신의 에너지 상태를 확인하여 에너지가 많은 경우는 주위의 에너지가 없는 센서들을 대신하여 데이터가 전송될 수 있도록

비콘(Beacon) 주기를 증가하고, 에너지가 적은 센서들은 비콘 주기를 감소시켜 수면(sleep)상태를 유지함으로써 에너지를 수확할 수 있는 시간적 여유를 가질 수 있는 방안을 제안한다.

## II. 관련 연구

기존의 연구는 에너지 소모를 줄이기 위한 연구로 크게 동기식과 비동기식으로 구분할 수 있다. 동기식은 센서 노드간 동기를 맞추는 방식으로 대표적으로 S-MAC[1]을 들 수 있다. S-MAC[1]은 고정적인 듀티 사이클(duty cycle)을 가짐으로써 수면구간에 에너지 소모를 줄이는 방식이다. 이 방식은 넓은 무선 센서 네트워크 환경에서는 동기를 맞추기 힘들며 고정적인 듀티 사이클로 불필요한 listening을 가진다는 단점이 있다. 이러한 동기식의 단점을 보완하고자 제안된 방식이 비동기식인 B-MAC[2]이다. B-MAC[2]은 S-MAC[1]의 불필요한 listening을 줄였으나, 긴 프리앰블(long preamble)을 가진다는 단점을 가진다. 이러한 단점을 보완한 방식이 X-MAC[3]이다. X-MAC[3]은 짧은 프리앰블(short preamble)을 나누어 전송함으로써 B-MAC[2]에서 가지는 불필요한 에너지 소모를 줄여주었다.

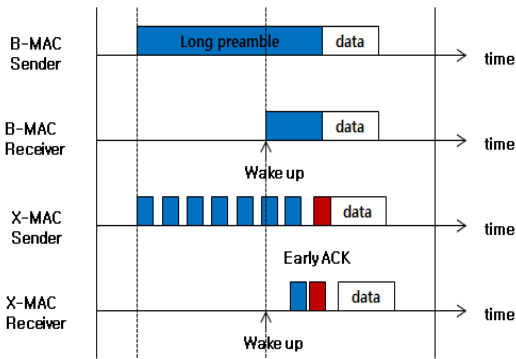


그림 1. B-MAC과 X-MAC의 비교

그림 1은 B-MAC[2]과 X-MAC[3]를 보여준다. X-MAC[3]은 B-MAC[2]과 달리 짧은 프리앰블을 나누어 전송한다. 수신자는 어느 순간 깨어서(wake up) 송신 프리앰블을 수신하고 그에 대한 빠른 응답(early ACK)을 전송한다. 송신자는 빠른 응답 신호를 수신 후 데이터 전송을 한다. 그러나 이러한 기존의 MAC 프로토콜(protocol)은 에너지 수확 개념이 포함되지 않는 무선 센서 네트워크만을 고려했다. 당연히 현재 연구되어지고 있는 에너지 수확 무선 센서 네트워크에는 적합하지 않다.

에너지 수확이 무선 센서 네트워크에서는 에너지 소모 감소보다는 센서 노드의 에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 방안이 연구되어지고 있

다. 그중에 ODMAC[4](On-demand MAC protocol)이 있다. ODMAC는 에너지 수확 환경에서는 네트워크의 수명이 물리적인 결함만 없으면 무한 수명이 가능하다는 전제로 연구되어졌다. 센서 노드의 에너지 상태를 고려하여 비콘 주기를 높게, 낮게 가짐으로써 에너지를 효율적으로 사용하는 방식을 제안하고 있다. 그러나 적은 트래픽 환경에서만 고려하였으며, 데이터 전송의 신뢰성 확보가 어렵고 숨은 터미널(hidden terminal) 문제가 존재하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하여 데이터 전송에 대한 신뢰성을 높였으며, 숨은 터미널 문제도 개선하였다. 뿐만 아니라, 버스티(bursty) 데이터 전송도 함께 고려함으로써 보다 다양한 네트워크 환경에서도 효율적인 사용을 이룰 수 있다.

## III. 본 론

앞에서 설명하였듯이 기존에 연구되어진 MAC 프로토콜은 에너지 수확이 없는 환경에서 연구되어진 프로토콜이다. 이러한 프로토콜을 에너지 수확이 가능한 무선 센서 네트워크 환경에 적용한다면 확실히 데이터 지연(delay) 및 손실(loss)이 발생할 것이다. 또한 에너지 수확을 고려한 ODMAC[4] 경우 적은 트래픽 환경, 데이터 응답 및 재전송 없음, 숨은 터미널 문제 존재 등의 제한 조건 및 문제점이 존재한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 MAC 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜은 수신자 기반의 비동기식 프로토콜이다. 센서 노드의 에너지 상태를 고려하여 비콘 주기를 동적으로 할당함으로써 에너지가 없는 센서 노드의 수면주기를 증가시켜 충분한 에너지 수확이 가능한 시간적 여유를 줌으로써 전체 네트워크의 수명을 증가시킨다.

전송방식은 다음과 같다. 보낼 데이터가 있는 송신자는 깨어나서 수신자 비콘을 받기 위해 채널을 listening 한다. 주기적으로 수신자는 깨어나서 자신의 에너지 상태를 확인한다. 에너지가 기준치(최소 한번의 데이터 전송이 가능한 에너지) 이상이면 자신이 데이터 전송이 가능하다는 비콘 신호를 브로드캐스팅(broadcasting)한다. 에너지가 기준치 이하이면 수신자는 데이터 전송을 할 수 없는 상태임이 포함된 비콘을 브로드캐스팅하여 송신자들로부터 해당 수신자를 사용하여 전송할 수 없음을 인지하여 불필요하게 매체 listening을 지속하지 않고 수면으로 전환 될 수 있도록 한다. 송신자는 전송이 가능하다는 수신측 비콘을 받으면 즉시 데이터를 전송한다. 송신자의 데이터 헤더에는 1bit를 추가하여 연속적인 데이터가 있는지 상태를 나타낸다. 이 데이터를 전송받은 수신자는 이 상태 bit를 보고 같은 송신자로부터 연속적인 데이터를 받을지 여부를 결정하여 같은 송

신자로부터 데이터를 받을 수 있다. 이렇게 함으로써 버스티(bursty)한 데이터에 대해서도 효율적으로 전송이 가능하다. 전송방식의 흐름도를 나타내면 그림 2와 같다.

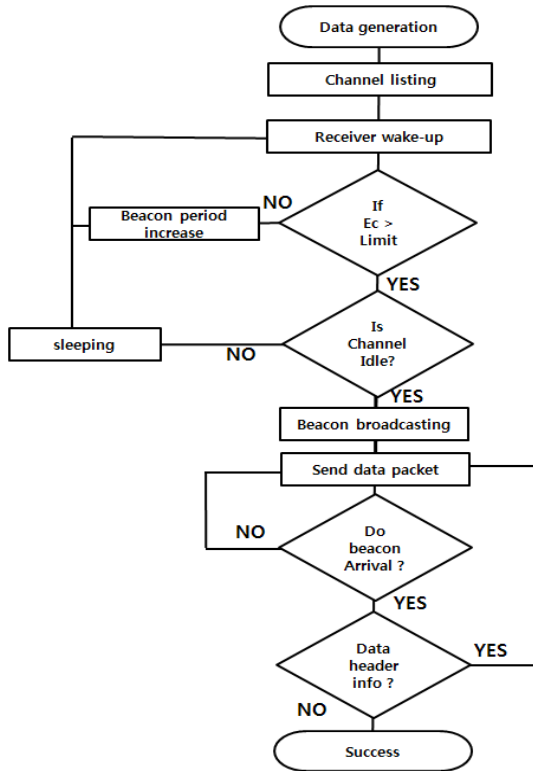


그림 2. 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜 흐름도

IEEE 802.11은 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 적용된 기술로 무선 LAN에 많이 사용된다. 근래에는 PAN(Personal Area Network)에서 사용되는 IEEE 802.15.4 표준이 WI-FI, 블루투스 및 센서 네트워크에서 많이 사용되고 있다. IEEE 802.15.4 MAC 기준에 보면 4가지 프레임 구성(Frame format)을 지원한다. beacon frame format, data frame format, acknowledgement frame format, command frame format이 지원된다. 본 논문에서는 비콘 프레임 구성과 데이터 프레임 구성만을 정의한다.

그림 3은 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜의 비콘 프레임 구성을 보여준다. 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜의 비콘 프레임 구성에는 비콘타입(beacon type)과 Dst 영역을 포함한 특별한 영역을 두었다. 비콘타입은 1bit로 구성되어 수신자가 데이터 전송이 가능한지 에너지가 부족하여 불가능한지에 대한 정보를 나타낸다. 데이터 전송이 가능한 경우, Dst(목적지 주소) 영역의 정보가 있는지 없는지에 따라 기본 비콘인지 응답

(acknowledgment)이 포함된 비콘인지 구분한다. 응답이 포함된 비콘은 앞서 받은 데이터의 전송이 이상 없음을 알리는 응답과 다음 데이터를 받을 수 있다는 2가지 의미를 갖는다.

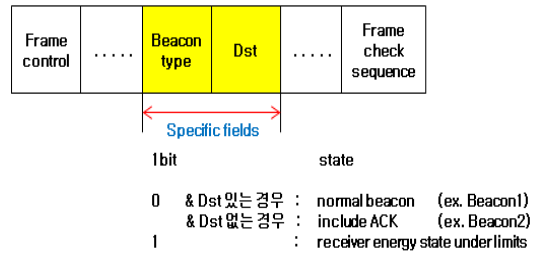


그림 3. 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜의 Beacon frame format

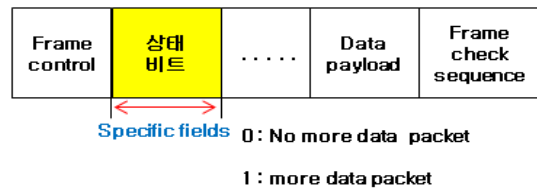


그림 4. 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜의 Data frame format

그림 4는 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜의 데이터 프레임 구성이다. 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜의 데이터 프레임 헤더에는 연속적인 데이터가 존재하는지 여부를 나타내는 상태 비트를 추가하여 연속적으로 데이터인 경우 수신자가 알고 비콘을 통하여 송신자를 지정함으로써 연속적인 데이터를 받을 수 있다.

앞서 설명한 연속적인 데이터 즉 버스티(bursty) 데이터 전송시 송신자와 수신자의 매체 접근 방식을 보면 그림 5와 같다.

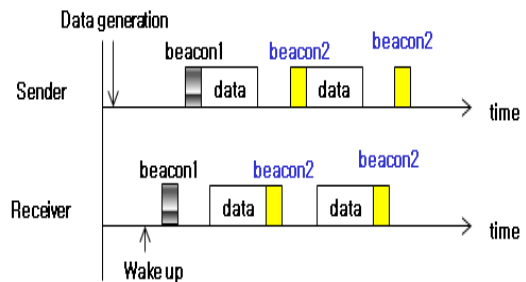


그림 5. 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜의 매체접근 방법

본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜은 특징은 수신자의 에너지 수확에 따른 에너지 상태를 고

려하여 능동적으로 비콘 주기를 증감시켜 에너지가 많은 수신자가 전송에 더 많이 참가하고, 에너지가 적은 수신자는 에너지 수확을 할 수 있는 시간을 할당함으로써 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다. 또한 수신자의 비콘에 응답신호를 포함함으로써 데이터 전송에 신뢰성을 증가시킬 수 있으며, ODMAC[4]에서 해결하지 못한 숨은 터미널(hidden terminal) 문제 및 버스티(bursty) 데이터의 전송도 지원할 수 있다.

#### IV. 성능 분석

성능분석을 위해 ODMAC와 비교분석한다. 비교를 위해 다음과 같이 가정한다.

- ▶  $E_{data} = 1000$  mW
- ▶  $P_{TX} = 20$  mW
- ▶  $P_{backoff} = 5$  mW
- ▶ 연속적인 데이터가 발생한 트래픽환경

$E_{AERB}$  : 제안하는 MAC에서 데이터 전송시 소모되는 에너지

$E_{ODMAC}$  : ODMAC에서 데이터 전송시 소모되는 에너지

$E_{data}$  : data 전송에 소모되는 에너지

$E_{beacon}$  : beacon 전송에 소모되는 에너지

$E_{beacon2}$  : beacon2(응답이 포함된 비콘) 전송에 소모되는 에너지

$P_{TX}$  : 전송에 소모되는 전력

$P_{backoff}$  : back off로 소모되는 전력

$P$  : 동시에 2개이상의 송신자가 데이터를 전송할 확률 (충돌이 발생할 확률)

에너지를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$E_{AERB} = E_{beacon} + E_{data} + E_{beacon2} + E_{data}$$

$$E_{ODMAC} = E_{beacon} + E_{data} + E_{beacon} + E_{data}$$

$$E_{beacon} = beacon길이 * P_{TX} * (1 - P) + \{(beacon길이 * P_{TX}) + P_{backoff} + (beacon길이 * P_{TX})\} * P$$

$$E_{beacon2} = beacon길이 * P_{TX}$$

#### 결 론

성능분석 결과 버스티 데이터 전송시 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜이 ODMAC보다 에너지 측면에서 약 15%의 성능이 향상됨을 알 수 있다. 또한 센서 노드의 에너지에 따라 비콘 주기를 조절함으로써 무선 센서 네트워크 전체 수명을 증가시킬 수 있다.

향후 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜에 대한 심층적인 연구와 다양한 네트워크 평가 기준을 적용한 시뮬레이션을 통한 연구가 진행될 예정이다.

#### 참고문헌

[1] W. Ye and Heidemann, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Networks, vol. 12, no. 3, pp. 493-606, 2004.

[2] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," ACM SenSys '04, November 2004, Baltimore, Maryland, USA

[3] Michael Buettner, Gary V. Yee, Eric Anderson, Richard Han. "X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks," ACM SenSys '06, October, 2006.

[4] Xenofon Fafoutis, Nicola Dragoni. "ODMAC: an on-demand MAC protocol for energy harvesting - wireless sensor networks," ACM PE-WASUN '11, November, 2011.