

무선 센서 네트워크에서 트래픽에 적응적인 Demand-Wakeup MAC 프로토콜

김혜윤 · 김성철*

A Traffic Aware Demand-Wakeup MAC(TADW-MAC) Protocol for Wireless Sensor Networks

Hye-Yun Kim · Seong-Cheol Kim*

Department of Computer Science, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea

요약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 센서 노드들로부터 전송되는 데이터 트래픽에 따라 낮은 지연과 높은 데이터 효율을 지원하는 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 TADW-MAC은 기존의 멀티 홉 전송에서 해당 Sleep 구간에서 오직 하나의 패킷 전송만을 스케줄할 수 있는 DW-MAC의 문제점을 해결하며, 물체 트래킹(object tracking)이나 화재 감시 시스템 등의 응용에 적합한 duty cycling 메커니즘을 가진다. 이러한 응용에서는 평소에는 데이터 전송이 이루어지지 않지만, 물체의 나타남과 화재 발생 등 이벤트가 발생하는 경우에는 많은 데이터를 전송해야 하며, 낮은 지연을 요구한다[6-8]. 따라서 TADW-MAC에서는 이러한 이벤트가 발생하였을 경우에 duty cycle을 조절함으로써 보다 높은 효율과 적은 에너지를 소모할 수 있다. 여러 시뮬레이션을 통해 TADW-MAC은 기존의 RMAC이나 DW-MAC에 비해 에너지 효율과 전송 지연 면에서 더 나은 성능을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper we propose a traffic aware Demand Wakeup MAC(TADW-MAC) protocol, in which low data delay and high throughput can be achieved, for wireless sensor networks. With the TADW-MAC protocol, the problem of the DW-MAC protocol, which schedules only one packet to deliver during the Sleep period in a multi-hop transmission is resolved. DW-MAC is not adequate for the applications such as object tracking and fire detection, in which busy data should be transmitted in a limited time when an event occurs [6-8]. When an event occurs, duty cycle can be adjusted in the TADW-MAC protocol to get less energy consumption and low latency. The duty cycle mechanism has been widely used to save energy consumption of sensor node due to idle listening in wireless sensor networks. But additional delay in packet transmission may be increased in the mechanism. Our simulation results show that TADW-MAC outperforms RMAC and DW-MAC in terms of energy efficiency while achieving low latency.

키워드 : 듀티-사이클링, 에너지, 지연, 매체접근제어, 무선센서 네트워크

Key word : Duty-Cycling, Energy, Latency, Medium Access Control, Wireless Sensor Networks

Received 07 October 2016, Revised 17 October 2016, Accepted 04 January 2017

* Corresponding Author Seong-Cheol Kim(E-mail:sckim@smu.ac.kr, Tel:+82-2-2287-5315)

Department of Computer Science, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2017.21.1.180>

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. 서론

무선 센서 네트워크는 배터리에 의해 동작하는 작고 많은 센서 노드들로 구성되어 주로 ad-hoc 방식으로 목적지 노드인 싱크 노드로 데이터가 전달되어진다. 이러한 노드들은 배터리 교체의 어려움 등으로 인하여 전체 네트워크 수명을 늘이기 위해 각 센서 노드들의 에너지 소모를 줄이는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 많은 연구들이 이루어져 왔는데, 특히 센서 노드들이 wakeup과 sleep을 반복함으로 에너지를 절약하는 duty cycling 방식에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다[1-5]. 이 방식에서 센서 노드들은 Sync 구간에서 다른 노드들을 동기화 한다. 이후 Data 구간에서 데이터 전송이 이루어지고, 전송 노드와 수신 노드들도 데이터 송수신 후에 off 상태로 들어가 에너지 소모를 줄인다. 그러나 이 방법을 사용할 때 노드들이 off상태에 있을 경우에는 데이터 전송에 참여할 수 없기 때문에 전체 데이터 전송 지연이 늘어나는 문제점을 가진다[2]. 특별히 송신 노드에서 여러 노드들을 거쳐 목적지 싱크 노드로 전송되는 멀티 홉 네트워크 구조에서는 전송 지연이 더 커지게 된다[6]. 뿐만 아니라 duty cycling 방식에서 짧은 시간에 모든 노드들이 wakeup하여 데이터 전송에 참여하기 때문에 전송된 데이터 충돌 확률이 늘어나는 문제점이 있다[7]. 또한 노드들이 에너지 소모를 줄이기 위해 짧은 시간에 wakeup하여 데이터를 전송하기 때문에 전체적인 네트워크 효율이 떨어지는 것도 이 방식의 문제점 중의 하나로 볼 수 있다. 위의 문제들을 해결하기 위해 다양한 MAC 프로토콜에 대한 연구들이 이루어져 왔다. 이 연구들 중에는 cross-layer 정보를 이용하는 RMAC(Routing Enhanced MAC)[6]을 들 수 있는데, 이 프로토콜에서는 단일 동작 사이클 동안에 여러 홉에 걸쳐 데이터 패킷을 에너지 효율적으로 전송할 수 있다. 그러나 RMAC에서도 여러 전송 노드들 사이에 동시에 데이터를 전송하여 충돌이 발생할 수 있는 문제점을 가진다. 이 문제를 해결하기 위해 설계된 DW-MAC(Demand Wakeup MAC)[7]에서는 노드들이 동시에 데이터 전송하는 것을 막기 위해 제어 프레임의 전송시간 비율에 따라 데이터를 전송한다. 그러나 이 DW-MAC 방식에서 비록 하나의 노드가 보낼 데이터를 가지는 경우에도 Sleep 구간의 시작하는 시점에서 데이터 패킷을 바로 보내지 못하는 문제

점을 가진다. 뿐만 아니라 DW-MAC은 적은 데이터를 전송하는 네트워크나 긴급 전송을 요구하는 데이터 전송에 적합하지 않다. 일반적으로 물체 트래킹(object tracking)이나 화재 경보 시스템과 같은 응용에서는 평소에 노드들 간에 적은 데이터 전송이 이루어지지만, 이벤트가 발생하였을 경우에는 많은 데이터들이 빠르게 목적지 노드로 전송되어야 할 필요가 있다. 이와 같은 이벤트 검출 응용에 대한 연구들이 최근까지 많이 이루어져왔다[8,9,10]. 따라서 본 논문에서는 데이터 전송의 충돌과 지연을 줄일 뿐만 아니라, 버스티한 데이터를 보낼 수 있는 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문에서 기여하는 것은 다음과 같다.

- Data 구간에서 SCH 패킷을 처음 보낸 노드는 Sleep 구간의 맨 처음에 데이터 패킷을 전송함으로 전체 지연을 줄일 수 있다.
- 버스티한 데이터 패킷을 보내려는 노드는 Data 구간에서 여러 개의 SCH 프레임을 전송할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 설명한다. 3장에서는 제안하는 TADW-MAC 프로토콜에 대해 자세히 다루고, 4장에서 성능분석을 통해 본 논문에서 제안하고 있는 MAC 프로토콜을 평가한 후, 5장에서 결론으로 구성된다.

II. 관련 연구

2.1. RMAC 프로토콜

RMAC은 duty-cycle 기반의 MAC 프로토콜이고, 멀티 홉 네트워크 구조에서 하나의 패킷을 하나의 사이클 내에 전달하는데 매우 유효한 프로토콜이다. 그림 1은 RMAC의 동작 방식을 보여 준다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 RMAC 프로토콜에서 전체 동작은 Sync, Data, 그리고 Sleep 세 구간으로 구성된다. Sync 구간에서 가상 클러스터에 있는 노드들이 동기화된다. 전송할 데이터를 가지는 노드는 Data 구간에서 PION 프레임을 전송하는데, 이 PION 프레임은 IEEE 802.11 프로토콜의 RTS/CTS 역할을 담당한다. Data 구간에서 PION 프레임을 전송한 노드와 이 PION을 수신한 노드를 제외하고 다른 모든 노드들은 Sleep 구간에서 sleep 모드로 들어간다. 그러나 PION 프레임을 전송한 노드들과 수신

한 노드들은 정해진 시간에 wakeup하여 데이터 전송에 참여한다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 송신 노드 A가 Sync 구간에서 wakeup하여 노드 B에게 PION 패킷을 전송한다. PION 패킷을 받은 노드 B는 PION 패킷에 포함되어 있는 목적지 노드의 주소를 확인한 후에, 노드 C에게 PION 패킷을 전송한다.

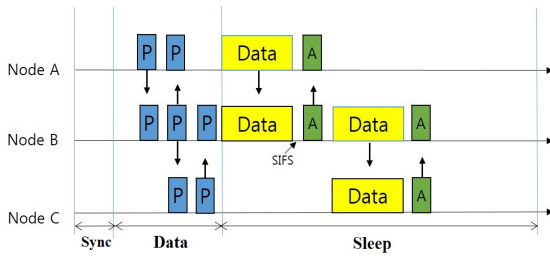


Fig. 1 RMAC(Routing Enhanced MAC)

Data 구간에서 PION 패킷을 보낸 노드는 Sleep 구간이 시작되는 곳에서 패킷 전송을 시도한다. 따라서 하나 이상의 노드들이 패킷 전송을 시도할 경우, 데이터 패킷 충돌이 일어날 수 있다. 따라서 충돌된 데이터 패킷을 재전송해야 하므로 전송 에너지가 증가하고 또한 전송 지연이 늘어나는 문제점을 가진다.

2.2. DW-MAC 프로토콜

RMAC의 데이터 충돌 문제점을 해결하기 위해 DW-MAC이 제안되었다. DW-MAC 역시 Sync, Data, Sleep 구간으로 나누어진 동기화된 duty cycle MAC 프로토콜이다. DW-MAC에서는 RMAC의 PION 프레임과 같은 역할을 하는 SCH 스케줄링 프레임을 사용한다. 이 SCH 프레임은 CSMA/CA의 RTS/CTS 역할을 담당한다. 송신 노드는 Data 구간에서 이 SCH 프레임을 전송하는데, 이 SCH 프레임을 전송한 시간과 SCH 프레임 구간 값이 나중에 Sleep 구간에서 데이터 패킷을 전송하는데 필요한 시간 및 구간을 결정하는데 사용된다. 그림 2는 DW-MAC의 동작 방식을 보여 준다. 그림 2에서 송신 노드 A는 Data 구간에서 SCH 프레임을 노드 B에게 전송한다. 이 때 SCH 프레임 전송 시간이 Data 구간의 시작부터 T1 떨어진 곳에서 시작했고, SCH 프레임 폭 T3 이기 때문에, 노드 A와 노드 B는 데이터 송신을 위하여 T2와 T4 동안 Wakeup 해야 한다.

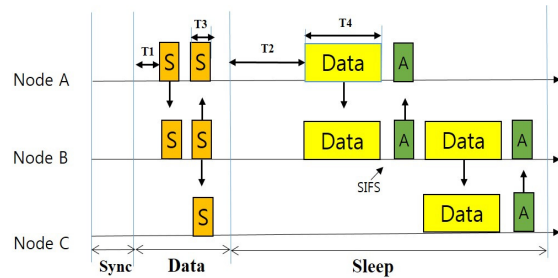


Fig. 2 DW-MAC(Demand Wakeup MAC)

이 때 T3와 T4의 값은 아래의 수식 관계를 통해 구해질 수 있다.

$$\frac{T1}{T2} = \frac{T3}{T4} = \frac{T_{data}}{T_{sleep}} \tag{1}$$

Data 구간에서 SCH 패킷이 보내진 시간과 SCH 패킷 구간의 비율에 따라 Sleep 구간에 패킷을 보내기 때문에 충돌이 발생할 확률을 줄일 수 있다. 그러나 DW-MAC은 다음과 같은 데이터 전송 시나리오에서는 문제점을 가진다.

1. 데이터를 보내려는 송신 노드가 하나뿐이며, 또한 그 송신자가 보낼 데이터 생성이 늦어 Data 구간의 맨 끝에 SCH를 보내게 되는 경우 송신 노드는 자신의 패킷을 Sleep 구간의 맨 마지막에 보낸다.
2. 오직 하나의 노드만 보낼 많은 데이터를 가지고 다른 모든 노드들은 보낼 데이터가 없을 경우, 그 송신 노드는 오직 하나의 패킷만 보낼 수 있다. 이 경우에 전송 노드는 하나의 전체 구간(Sync-Data-Sleep)에서 하나의 데이터 패킷만을 보낼 수 있다. 따라서 전송할 데이터의 양이 많을수록 전체 데이터 전송지연은 급격히 늘어나게 된다.

2.3. LO-MAC(Low Overhead MAC)프로토콜

위에서 언급한 RMAC이나 DW-MAC 모두 Data 구간에서 PION 패킷 혹은 SCH 패킷과 같은 제어 패킷을 전송한다. 따라서 소스 노드로부터 목적지 노드까지 홉수가 증가할수록 Data 구간이 길어지고, 따라서 모든 노드들이 ON 상태에서 기다리므로 많은 에너지를 소모하게 된다. 특별히 데이터 전송이 없을 경우에는 이

와 같은 long Listening 문제가 발생한다. LO-MAC[11]은 이러한 long Listening 문제를 해결하기 위해 제안되었다. 즉, LO-MAC에서는 낮은 트래픽 네트워크 환경에서 자주 발생하는 이러한 long Listening 문제를 해결하기 위해 반송자 감지(carrier sensing) 기술을 이용한다. 이를 위해 Sync 구간 뒤에 반송자 감지 구간인 CS 구간을 가진다. 이 구간에서 보낼 데이터를 가지지 않은 노드들은 채널이 busy 혹은 idle인지 판단하기 위해 clear sensing assessment(CCA)를 사용한다. 보낼 데이터를 가지는 노드들과 채널이 busy인 것을 감지한 노드들은 즉각 bust tone을 브로드캐스트한다. 따라서 채널이 busy인 것을 감지한 노드들과 busy tone을 전송한 노드들은 데이터 패킷이 전송될 것을 인식하고 다음 구간인 Data 구간에서 On 상태로 머무른다. 이웃 노드들로부터 데이터 전송이 없을 경우에 오직 하나의 노드만이 Data 구간에서 깨어 있고, 모든 노드들이 Data 구간에서 On 상태에 머무는 것이 아니기 때문에 에너지 소모를 막을 수 있는 장점을 가진다. 그러나 LO-MAC은 낮은 데이터 전송을 가지는 네트워크에 국한되었고, 평소에는 낮은 데이터 전송의 특성을 가지나 이벤트가 발생했을 경우 많은 데이터를 제한된 시간에 전송해야 하는 물체 감지 혹은 화재 감지와 같은 응용에는 적용할 수 없는 단점을 가진다.

III. TADW-MAC

위의 두 경우의 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 TADW-MAC(Traffic Aware Demand Wakeup)을 제안한다. TADW-MAC의 특성은 다음과 같다.

- Data 구간에서 SCH 패킷을 처음 보낸 노드는 Sleep 구간의 맨 처음에 데이터 패킷을 전송한다.
- 버스터한 데이터 패킷을 보내려는 노드는 Data 구간에서 여러 개의 SCH 패킷을 전송할 수 있다.
- Data 구간에서 연속적인 SCH의 송수신이 이루어질 경우 Data 구간이 확장되고, 확장된 비율에 따라 Sleep 구간이 늘어나게 되어 더 많은 데이터의 송수신이 이루어질 수 있다.

TADW-MAC의 전체 스케줄링은 기본적으로 DW-MAC과 같다. 그러나 Data 구간과 Sleep 구간은 고정되

어 있지 않고 가변이다. 가상 클러스터에 속한 모든 노드들은 Sync 구간에서 wakeup한다. 이 후에 Data 구간에서 보낼 데이터를 가지는 노드들은 이웃 노드들에게 SCH 패킷을 전송한다. 이 때 일정 버퍼 큐 이상의 데이터 패킷을 가지는 노드는 SCH 패킷에 1 비트의 M(more) 필드에 마크하여 보내어 자신이 많은 데이터를 전송할 것임을 이웃 노드들에게 알린다. 그림 3은 사용되어지는 SCH 패킷의 형식을 보여 준다.

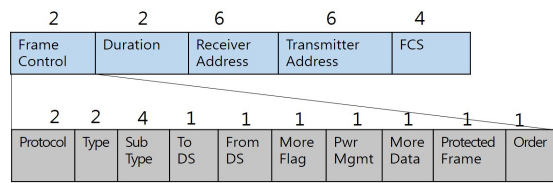


Fig. 3 SCH packet format

More 필드가 마크될 경우 다음 전체 스케줄링에서 Data 구간과 Data 구간이 더 확장된다. 이 때 Data 구간의 확장은 단순한 버퍼 임계치 이상의 패킷 전송을 원하는 노드에 의해 이루어지나 1비트의 M 비트의 마크는 Data 구간의 종료 시점에 연관되어 이루어진다. 즉, 마지막 SCH 패킷을 전송을 남겨 놓고 Data 구간이 종료되어 아래의 식 (2)의 관계가 이루어질 때에 이루어진다.

$$T_{data} - T_{lapse} < 2 \times T_{SCH} \quad (2)$$

여기서 T_{data} 는 Data 구간의 길이이고, T_{lapse} 는 전송할 데이터가 많아 전송할 SCH 패킷을 두 개 가지는 노드가 마지막 두 번째 패킷을 보내기 전까지 소요된 시간이고, 마지막으로 T_{SCH} 는 SCH 패킷을 전송하는데 필요한 시간을 나타낸다.

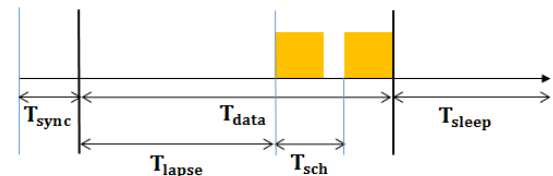


Fig. 4 Condition of Data period extension

그림 4에서 이들과의 관계 보여 준다. 데이터 구간 확장이 가능한 것은 Data 구간 동안 모든 노드들이 ON 상태에 있기에 M 비트의 마크 여부를 알 수 있기 때문이다. SCH 패킷은 DW-MAC에서와 같이 RTS/CTS 패킷에 들어가는 정보, 즉, 송신자와 수신자 노드의 주소, 전송 기간, cross-layer 정보에 1 비트의 M 필드로 구성된다. Data 구간이 확장됨에 따라 많은 데이터 패킷 전송이 필요한 노드는 Data 구간 동안에 여러 개의 SCH 패킷을 전송할 수 있다. Data 구간이 확장될 경우 이에 비례하여 Sleep 구간도 확장된다. Sleep 구간에서 노드의 동작은 수정된 DW-MAC 동작을 따른다. 즉, 맨 처음 SCH 패킷을 전송한 노드는 Data 구간의 시작 포인트에서 데이터를 전송한다. 같은 클러스터에 있는 모든 노드들은 SCH 패킷을 받을 수 있기 때문에 처음 SCH 패킷 발생 시간을 알 수 있다. 따라서 하나의 노드만이 Data 구간의 처음에 패킷을 보낼 수 있다. 그 이후부터는 DW-MAC과 동일한 방식으로 동작한다. 따라서 이후에도 노드간의 충돌은 피할 수 있게 된다. 이처럼 동작이 가능한 것은 일반적으로 SCH 패킷의 길이는 일정하고, 또한 데이터 패킷의 크기를 동일하다고 가정할 때에 충돌 없이 전송할 수 있게 된다. 그림 5는 TADW-MAC의 동작 방식을 보여 준다. 위의 그림 5에서 볼 수 있듯이 두 개의 송신노드와 한 개의 수신 노드로 이루어진 네트워크를 고려해 본다.

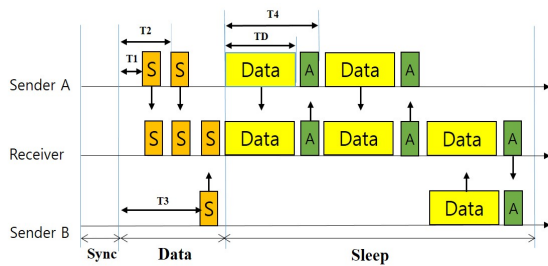


Fig. 5 TADW-MAC protocol operation

Sender A는 보낼 데이터 패킷을 두 개 가지고 있으므로 연속적으로 SCH 프레임 보내고, Sender B는 한 개의 SCH 프레임을 전송한다. Sender A는 비록 첫 번째 SCH 프레임을 T1 이후에 보냈지만, 이 SCH 프레임이 해당 Data 구간에서 첫 번째 SCH 프레임이므로 Sender A는 Sleep 구간 시작하는 곳에서 데이터를 전송한다.

이 후에 두 번째 데이터 전송은 아래의 관계식을 통하여 얻을 수 있다.

$$T_4 = [T_d + (T_2 - T_1) \frac{T_d}{T_s}] \quad (3)$$

멀티 홉 네트워크의 경우 앞에서 살펴보았던 RMAC이나 DW-MAC에서 PION이나 SCH 패킷 전송과 같이 TADW-MAC에서도 동일한 방식으로 이루어진다. 이 방식은 Unicast 패킷 전송에서만 지원되며, 각 노드에서의 라우팅 정보는 Proactive 라우팅 알고리즘에 의해 사전에 결정되어 각 노드에 저장된다.

IV. 성능평가

이 절에서는 본 논문에서 제안된 TADW-MAC 프로토콜과 기존의 DW-MAC 프로토콜, R-MAC 프로토콜과의 성능 비교가 이루어진다. 성능 비교에서는 적은 데이터 전송 구간과 버스티한 데이터 전송 구간이 반복되는 물체 트래킹 응용을 모델로 하는 네트워크 환경을 고려하였다. 물론 적은 데이터 전송 구간이 버스티한 데이터 전송 구간보다 훨씬 크고, 그 길이는 3~5배 사이에 random하게 변한다고 가정하였다. 본 논문에서 송신 노드와 싱크 노드의 거리는 네트워크 크기와 전송 범위를 고려하여 최대 4홉 거리로 한정한다. 1,000m x 1000m의 사각형 구조의 네트워크의 구성은 임의로 배치된 100개의 노드와 오른쪽 위 코너에 위치하는 1개의 싱크 노드로 구성된다. 총 10회 실험을 통하여 평균값을 취한다. 본 논문에서 사용되는 네트워크 파라미터는 표 1과 같다.

Table. 1 Network parameters

parameters	value
Bandwidth	20kbps
Rx power	0.5w
Tx range	250m
Tx power	0.5w
Idle power	0.45w
Sleep power	0.05w
Carrier sensing range	550m
Contention window	64ms
DIFS	10ms

또한 전송 파라미터 값은 표 2와 같다.

Table. 2 Transmission parameters

parameter	FrameSize (byte)	Tx Latency (ms)
RTS/CTS	10	11.0
ACK	10	11.0
PION/SCH	14	14.2
DATA	50	43.0

이러한 환경에서 소스 노드는 데이터 패킷을 임의로 1개로부터 7개를 생성한다고 가정하였다. 각 센서 노드에서 발생하는 패킷 수에 따른 각 노드에서 소모되는 평균 에너지의 비교는 그림 6에서 보여 준다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 TADW-MAC 프로토콜이 다른 두 프로토콜보다 더 적은 에너지를 소모하는 것을 알 수 있다. 이는 동일한 크기의 데이터를 전송함에 있어서 버스티한 데이터 구간이 전송되는 데이터의 양에 따라 조절되는 기능 때문이다. 기존의 방식에서는 센서 노드에서 발생하는 패킷의 개수에 따라 평균 에너지 소모가 증가하는데, 본 논문에서 제안한 프로토콜에서는 에너지 소모에서 변화를 거의 보이지 않는다. 이는 제안된 프로토콜에서는 하나의 동작 주기에서 전송이 가능하므로 평균이 같음을 알 수 있다. 그림 7에서는 3개의 프로토콜의 평균 지연에 대한 비교를 보여 준다. 마찬가지로 버스티한 데이터 전송이 많을수록 TADW-MAC 프로토콜이 가장 낮은 지연을 보임을 알 수 있었다.

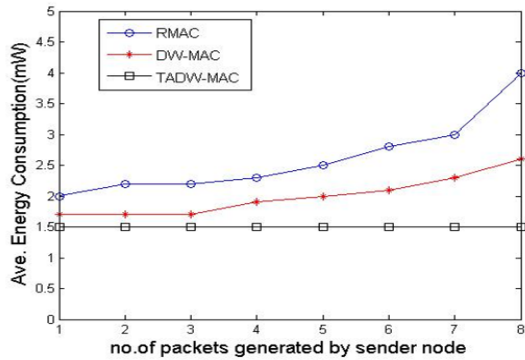


Fig. 6 average energy consumption of sensor node

이는 TADW-MAC에서 버스티한 데이터 전송이 필요할 경우 데이터 구간과 Sleep 구간 확장을 통해 하나의 동작 사이클에서 전송할 수 있기 때문이다.

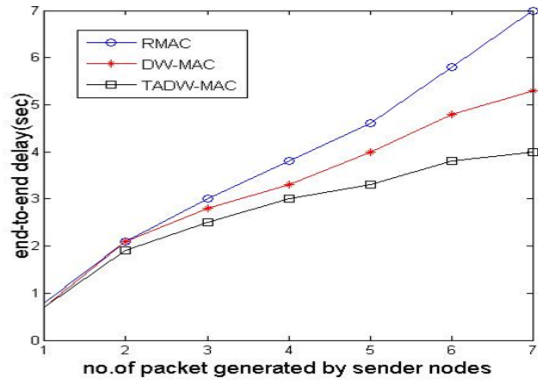


Fig. 7 packet delivery latency comparison

V. 결론

본 논문에서는 평소 적은 데이터 전송을 하다가 이벤트가 발생하였을 때에 많은 데이터를 제한된 시간에 전송을 요구하는 물체 트래킹과 같은 응용에서 에너지 효율적이고 낮은 지연을 가지는 새로운 duty cycle MAC 프로토콜인 TADW-MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 TADW-MAC은 각 센서 노드들에서 전송되는 데이터 트래픽 양에 따라 제어 프레임 전송 구간인 Data 구간과 데이터 전송 구간인 Sleep 구간을 조절한다. 이와 같이 전송되어지는 데이터의 양에 따라 전송 구간의 확장 기능을 통하여 버스티한 데이터 전송을 적은 지연을 통해 수행할 수 있도록 한다. 뿐만 아니라 기존의 DW-MAC에서의 문제점을 해결하여, 데이터 구간의 시작점에서 전송을 시작하게 함으로 전송 지연을 줄일 수 있었다. 시뮬레이션 분석을 통해 TADW-MAC은 이벤트 발생과 같은 환경에서 하나의 센서 노드에서 생성되는 데이터 패킷의 수가 증가할수록 기존의 MAC 프로토콜에 비해 전송지연에 있어서 대략 19.8%, 에너지 소모에 있어서 대략 32%의 성능 향상을 보였다.

REFERENCES

[1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in *Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM*

- '02), vol. 3, pp. 1567-1576, June 2002.
- [2] T. V. Dam and K. Langendoen, "An adaptive energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in *Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'03)*, pp. 171-180, Nov. 2003.
- [3] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'04)*, Baltimore, Maryland, USA, pp. 95-107, Nov. 2004.
- [4] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, "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 (SenSys '06)*, pp. 307-320, Oct. 2006.
- [5] Y. Sun, O. Gurewitz, D.B. Johnson, "RI-MAC: a receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 6th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '08)*, pp. 1-14, Nov. 2008.
- [6] S. Du, A. Saha and D. Johnson, "RMAC: a routing-enhanced duty-cycle MAC protocol for wireless sensor networks," *Proceedings of the 26th Annual IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM 2007)*, pp.1478-1486, May 2007.
- [7] Y. Sun, S. Du, O. Gurewitz and D. Johnson, "DW-MAC: a low latency, energy efficient demand wakeup MAC protocol for wireless sensor networks," *Proceedings of the Ninth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc'08)*, pp. 53-62, May 2008.
- [8] H. Tang, J. Cao, X. Liu, and C. Sun, "SR-MAC: A Low Latency MAC Protocol for Multi-Packet Transmission in Wireless Sensor Networks," *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 28, no. 2, pp. 329-342, March 2013.
- [9] X. Sun, A. Zhuang, B. Wang, T. Li, and Q. Liu, "INFLE: An Improved Neighbor-Based Fuzzy Logic Event Detecting Algorithm for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, vol. 7, no. 3, pp. 13-24, 2014.
- [10] D. C. Harrison, W. K. G. Seah, and R. Rayudu, "Rare Event Detection and Propagation in Wireless Sensor Networks," *Journal of ACM Computing Surveys*, vol. 48, no. 58, May 2016.
- [11] K. Nguyen, Y. Ji and S. Yamada, "Low Overhead MAC Protocol for Low Data Rate Wireless Sensor Networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2013, pp. 1- 9, April 2013.



김혜윤(Hye-yun Kim)

상명대학교 컴퓨터과학과 박사과정
 ※ 관심분야: 무선 센서네트워크, MAC 프로토콜, 멀티미디어통신, 유비쿼터스



김성철(Seong-cheol Kim)

상명대학교 컴퓨터과학과 교수
 ※ 관심분야: 무선 센서네트워크, MAC 프로토콜, QoS 통신, 초고속통신망, 멀티미디어통신