Journal of Korea Multimedia Society Vol. 19, No. 8, August 2016(pp. 1460-1465)
http://dx.doi.org/10.9717/kmms.2016.19.8.1460

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적이고 멀티미디어 트래픽에 적합한 MAC 프로토콜

김성철[†], 김혜윤[††], 김중재[††]

Energy Efficient and Multimedia Traffic Friendly MAC Protocol in Wireless Sensor Networks

Seong Cheol Kim[†], Hye Yun Kim[††], Joong Jae Kim[†††]

ABSTRACT

In this paper, we propose an energy efficient and multimedia traffic friendly MAC protocol (EEMF-MAC) that controls sender's wakeup period based on the data packet's transmission urgency and the receiver's wakeup periods based on the received data packet traffic loads. The protocol is useful for applications such as object tracking, real time data gathering, in which priority-based packet transmission is required. The basic idea of EEMF-MAC is that it uses the priority concept with transmission urgency of sender's data packet to reduce the transmission delay of the urgent data and it also uses duty cycling technique in order to achieve energy efficiency. EEMF-MAC showed a better performance in energy efficiency and packet transmission delay compared to existing protocols, RI-MAC and EE-RI-MAC.

Key words: Wireless Sensor Networks, MAC Protocol, Energy Efficiency, Traffic Adaptive, Priority Tansmission.

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks: WSNs)는 교체하기 어려운 배터리에 의해 동작하는 많은 센서 노드들로 구성되어 있기 때문에 중단 없는 네트워크의 오랜 동작을 위하여 센서 노드의 에너지를 소모를 줄이는 방안에 대한 많은 연구들이 지속적으로 이루어지고 있다. 일반적으로 센서 노드의 에너지 소모의 원인으로 전송된 패킷의 충돌, idle listening, overhearing, 그리고 제어 패킷 오버헤드 등을 들 수 있다. WSNs에서 센서 노드의 에너지 소모를 줄이기 위하여 노드들이 데이터 전송에 참여하지 않을 경우에는 sleep 모드에 머물게 하고 전송 시에 wakeup하는 방식을 사용한다. 이 때 더 나은 에너지 효율을 얻기 위하여 가능하면 노드들이 sleep 모드에 오래 머물러야 하는데, sleep 모드에 있는 노드들은 데이터 전송에 참여할 수 없기 때문에 데이터 전송에서 전체 지연이 더 증가하게 된다. 센서 노드의 에너지 소모는 주로 MAC 계층, 네트워크 계층 등에서 일어나지만, 그 동안 MAC 계층에서의 에너지 효율적인 프로토콜들이 많이 연구되었다. 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 MAC 프로토콜은 크게 동기식, 비동기식, 그리고 하이브리드 식으로 구분될 수 있다[1]. 동기식 MAC 프로토콜로

※ Corresponding Author : Seong Cheol Kim, Address: (03016) 20, HongJiMun 20Gil, JongNo-gu, Seoul, Korea, TEL : +82-2-2287-5315, FAX : +82-2-2287-0072, E-mail : sckim@smu.ac.kr
Receipt date : Aug. 27, 2016, Approval date : Aug. 12, 2016
[†] Dept. of Computer Science, SangMyung University
[††] Dept. of Computer Science, SangMyung University (E-mail : hyeyun0201@gmail.com)
[†††] Dept. of Computer Science, SangMyung University (E-mail : joongjae.kim@hdel.co.kr)
※ This research was supported by a 2016 Research Grant from SangMyung University

의 대표적인 프로토콜로는 on-off 길이가 고정적인 듀티 사이클을 사용하는 S-MAC[2]과 이로 인한 문제점을 해결하기 위해 일정 기간 데이터 전송이 없을 경우 Time out을 통해 빠르게 sleep 모드로 바꾸어 에너지를 절약하는 T-MAC[3] 등을 들 수 있다. 비동기식 MAC 프로토콜에는 긴 프리앰블(long preamble)을 사용하는 B-MAC[4]과 slotted preamble을 통해 B-MAC의 단점을 해결한 X-MAC[5], 그리고 수신자 기반을 통해 송신자의 프리앰블로 소모되는 에너지를 절약하는 RI-MAC[6] 등이 있다. 여기서 B-MAC과 X-MAC은 송신자 기반의 프로토콜이고 이에 반해 RI-MAC은 수신자 기반의 프로토콜이다. 기존의 송신자 기반의 MAC 프로토콜에서는 송신 노드의 지속적인 제어(control) 신호의 전송으로 인한 에너지 소모가 발생된다는 문제점을 가진다. 이러한 단점을 해결하기 위해 수신자 기반의 프로토콜인 RI-MAC[6]에서는 수신 노드의 제어 신호를 받은 송신 노드가 데이터 전송을 시작하기 때문에 송신 노드의 에너지 소모를 줄일 수 있었다. 그러나 RI-MAC의 문제점으로는 송신 노드들이 수신 노드의 제어 신호를 기다리며(idle listening) 불필요한 에너지를 소모한다는 것이다. 데이터 전송과 함께 센서 노드의 idle listening은 에너지를 소모하는 주요 요소이기 때문이다. EE-RI-MAC[7]은 이러한 송신자 노드의 idle listening을 줄이기 위해 제안되었다. EE-RI-MAC에서는 데이터를 전송하려는 노드는 wakeup하여 수신자 노드로부터 전송되는 비콘 프레임을 감지하기 위해 계속 idle listening상태에 머물지 않고, 단지 W_p 기간 동안만 wakeup하고 다시 S_p 구간 동안 sleep 상태에 머물다 다시 wakeup한다. 즉, 송신 노드는 wakeup과 sleep을 반복함으로 idle listening으로 인한 에너지를 줄일 수 있다. 그러나 EE-RI-MAC에서는 송신자의 idle listening을 줄임으로 에너지를 소모하기 때문에 센서 노드들이 RI-MAC에서 보다 더 많은 시간을 sleep 모드에 머물게 된다. 따라서 송신 노드들이 데이터 전송을 위해 wakeup 했을 때 수신자 노드로부터의 비콘 신호를 감지할 수 있는 기회가 줄어들게 된다. 따라서 전체 전송 시간이 증가한다. 더욱이 전송에서 우선순위를 가지는 멀티미디어 트래픽이나 물체 검출 등과 같은 긴급 전송을 필요로 하는 데이터 전송에서 증가된 지연으로 인한 문제점을 가지게 된다[9]. 따라서 본 논문에서는 송신자 노드의 idle listening을 줄이면서도 전송 우선순위를 지원하는 MAC이 제안되어진다. 본 논문에서 제안된 MAC 프로토콜은 전송 우선순위를 지원하는 것 뿐만 아니라, 송신 노드들로부터의 데이터 전송량에 따라 수신자 노드의 wakeup 시간을 조절하는 기능도 지원한다. 수신 노드들이 자신이 수신된 데이터의 양에 따라 wakeup하는 제어 메커니즘은 본 연구의 선행 연구에서 이루어졌다[8]. 선행 연구에서는 단순히 수신된 데이터 패킷의 수에 따라 wakeup 주기를 조절하였으나, 본 연구에서는 이를 개선하여 데이터 패킷의 도착 간격 시간(inter_arrival time)을 고려하여 정확성을 개선하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문에서 제안한 EEMF-MAC 프로토콜의 전체적인 개요와 특성, 동작 방식에 대해 서술한다. 그리고 3장에서는 제안한 EEMF-MAC 프로토콜과 기존의 프로토콜들과 객관적인 지표로 비교하여 성능을 평가하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. EEMF-MAC 프로토콜 설계

본 논문에서 제안하는 에너지 효율적이며, 멀티미디어 트래픽에 적합한 wakeup 제어 메커니즘이 Fig. 1에서 설명되어진다. 에너지 효율적인 방법은 EE-RI-MAC에서와 같이 송신자 노드의 idle listening을 줄이며, 뿐 만 아니라 트래픽 전송의 우선순위를 지원하는 두 가지 메커니즘을 제공한다. 트래픽 적응적인 방법은 수신자 기반의 MAC 프로토콜에서 전송되어지는 데이터 트래픽에 따라 수신자 노드의 wakeup 주기를 조절함으로 이루어진다.

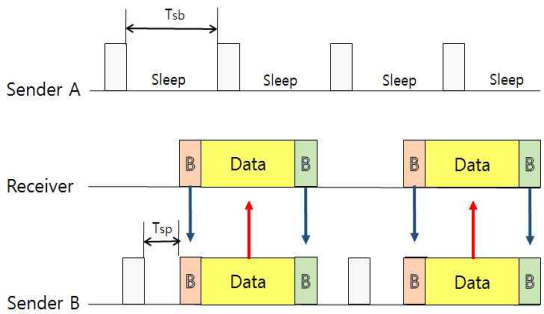

Fig. 1. Data Transmission in EEMF-MAC with two senders and one receiver.

먼저 본 논문에서 제안되는 EEMF-MAC 프로토콜의 에너지 효율적 전송 방식에 대해 설명한다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 전송할 데이터 패킷이 있는 전송 노드 A는 off 상태에서 wakeup하여 수신 노드로부터 비콘 신호가 있는지를 검사한다. 만약 비콘 신호를 수신하면 데이터를 전송하고 비콘 신호를 감지하지 못하면 off 상태로 들어간다. 이 때 전송 노드는 자신이 전송하려는 데이터의 속성에 따라 sleep 기간을 달리한다. 즉, 어떤 전송 노드가 자신이 전송하려는 데이터가 우선순위가 높은 데이터인 경우에는 T_{sp} 기간 동안 off 한 후에 다시 wakeup 하지만, 만약 전송하려는 데이터가 최선형(best-effort) 데이터인 경우에는 T_{sp}보다 조금 더 긴 T_{sb} 동안 sleep 한다.

$$T_{sp} < T_{sb} \quad (1)$$

여기서 T_{sp}와 T_{sb}는 각각 우선순위가 높은 데이터 전송과 최선형 데이터 전송을 위해 송신자 노드가 취하는 sleep 구간이다. Fig. 1에서는 송신 노드 B가 우선순위 데이터 전송을 원하기 때문에 송신 노드 A보다 wakeup 구간이 짧음을 볼 수 있다. 이와 같이 트래픽의 우선순위에 따라 전송 노드의 sleep 구간을 다르게 함으로 우선순위를 지원하는 것이 기존의 EE-RI-MAC과의 차이점이다. 데이터 전송을 완료한 후에 전송 노드 A는 on-off 제어 동작을 계속하고, 전송 노드 B는 수신 노드의 비콘 프레임을 동일한 방식으로 감지한다. 수신자 노드는 주기적인 wakeup 이후 비콘 프레임을 방송(broadcast)한다. 이를 수신한 송신 노드 B는 DATA 프레임을 전송한다. Fig. 1에서 수신 노드는 송신 노드 A와 송신 노드 B로부터 DATA 프레임을 연속적으로 수신한다.

다음은 수신자 기반의 MAC 프로토콜에서 전송되어지는 데이터 트래픽에 따라 수신자 노드의 wakeup 주기를 조절하는 트래픽 적응적인 메커니즘을 설명한다. 수신 노드는 송신 노드로부터 데이터를 전송받을 때 수신되는 데이터 간격을 기록한다. 즉, 수신 노드는 이웃 송신 노드들로부터 데이터 패킷을 받은 후에 수신된 데이터 패킷의 도착 간격 시간(inter_arrival time)을 기록한다. 기록된 패킷 도착 간격 시간을 기반으로 수신 노드는 wakeup 구간을 결정한다. 즉, 수신 노드가 연속적인 데이터 프레임을 송신 노드들로부터 수신하여 평균 패킷 도착 시간이 줄어들며, 일정 시간 내에 수신되는 데이터

```
1. Periodic wakeup_period: default value
2: Channel sensing
3. if Channel == busy
4.     stay at sleep
5: if Channel == idle
6.      transfer beacon signal
7:        if received Data_pkt
8.            Truth_pkt = Truth_pkt +1
9.              if Truth_pkt >=N and packet inter_arrival time < Ti
10.                 wakeup_period = decrease_wakeup_period until minimum
                                    wakeup_period
11.             else
12.                  wakeup_period= wakeup_period
13.         else if not received Data_pkt
14.             False_pkt=False_pkt+1
15.               if False_pkt==N
16.                 wakeup_period = increase_wakeup_period until maximum
                                    wakeup_period
17.               else
18.                 wakeup_period= wakeup_period
```

Fig. 2. The EEMF-MAC wakeup_period control algorithm of a receiver node.

패킷의 수가 증가할 경우 네트워크 트래픽이 증가하고 있다고 판단하고 자신의 wakeup 주기를 감소시킨다. 수신 노드의 wakeup 주기가 줄어들면 송신 노드들이 비콘 신호를 수신할 기회가 많아지고, 송신 노드들과 수신 노드 간의 데이터양이 증가하게 된다. 이로 인해 트래픽이 증가하고 전체 데이터 패킷 전송 지연을 감소시키고, 나아가 송신 노드의 idle listening으로 발생하는 에너지 소모를 줄일 수 있다. 이와 반대로 송신 노드들로부터 패킷 데이터를 받는 패킷 도착 시간 간격이 늘어날 경우, 수신 노드는 자신의 wakeup 구간을 늘려 불필요한 에너지 소모를 줄인다. 그러나 트래픽의 변화에 따라 급격하게 주기를 변화시키거나 너무 빈번한 주기 조절은 오히려 에너지 소모의 문제를 가진다. 이러한 문제에 대한 고려는 4장 성능 분석에서 다룰 예정이다. Fig. 2는 수신 노드의 수신되는 데이터 트래픽 변화에 따라 자신의 wakeup 주기를 변경하는 알고리즘을 보여 준다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 수신 노드는 초기에 자신의 wakeup 주기를 기본 값으로 세팅한다. wakeup한 수신 노드는 먼저 채널이 사용 중인지 확인한다. 채널이 idle일 경우 수신 노드는 비콘 프레임을 주변의 모든 송신 노드들에게 브로드캐스트하여 자신이 데이터를 받을 수 있는 준비가 되어 있는 상태임을 알린다. 비콘 신호를 브로드캐스트 한 후에 수신 노드는 송신 노드로부터의 데이터의 전송에 관한 정보를 기록한다. 즉, 패킷의 도착 간격 시간을 측정하여 이를 바탕으로 자신의 wakeup 시간을 결정한다.

3. 성능 분석 및 고찰

본 장에서는 본 논문에서 제안한 EEMF-MAC, RI-MAC 그리고 EE-RI-MAC 프로토콜의 성능을 비교하였다. 전체적인 성능 비교는 에너지 소모와 데이터 패킷 전송 지연에서 이루어진다. 시뮬레이션은 임의의 네트워크 토폴로지에서 이루어지되, 각 센서 노드의 데이터 패킷은 0.1에서 0.6까지 확률로 임의 발생되며, 동일한 전송 범위 내에서는 최대 송신 노드 4개와 수신 노드 1개로 제한하였다. 성능 비교를 위하여 Table 1의 파라미터 값들을 사용하였다. 각 센서 노드에서 데이터 패킷의 발생은 1~4개까지 임의로 연속적인 데이터 패킷 발생한다고 가정하였으며, 이들 값들은 10번 측정을 통하여 평균값을 취하였다. 또한 전송되어지는 패킷은 고정된 크기를 가지며, 네트워크를 구성하는 노드의 수 변화에 따라 성능 비교가 이루어진다.

Fig. 3은 전송되는 데이터 패킷의 평균 시간 비교를 보여 준다. Fig. 3에서와 같이 긴급 전송을 요하는 데이터 패킷의 평균 지연에서 본 논문에서 제안한 EEMF-MAC이 다른 두 프로토콜보다 나은 성능을 보여 준다. 이는 RI-MAC이나 EE-RI-MAC에서는 긴급 전송이 필요한 데이터 전송에서 우선순위를 지원하지 않기 때문이다. 여기서 긴급 전송을 필요로 하는 우선순위 데이터 패킷의 수는 일반 데이터 패킷의 20%라 가정하였다.

위의 Fig. 4는 비교하는 3개의 MAC 프로토콜에서 소모하는 에너지의 비교를 보여 준다. 이 에너지

Table 1. Simulation Parameters [6]

parameter	description	value
P_{TX}	power consumption in T_X mode	63mW
T_t	wake-up setup time in sleep mode	2.2ms
P_{sleep}	power consumption in sleep mode	30μW
P_{RX}	power consumption in R_X mode	69mW
T_{data}	data packet transmission time	7.744ms
T_{ack}	acknowledge time	0.288ms
T_{ta}	TX-RX/RX-TX transit time	1.1ms
Data_Rate	data rate	250kbps
$B_{capacity}$	battery capacity	1000mAh
T_{RTS}	transmission request time	1.1μs
T_{SP}	slotted preamble time	100ms
T_{sample}	channel sampling time	2.08ms

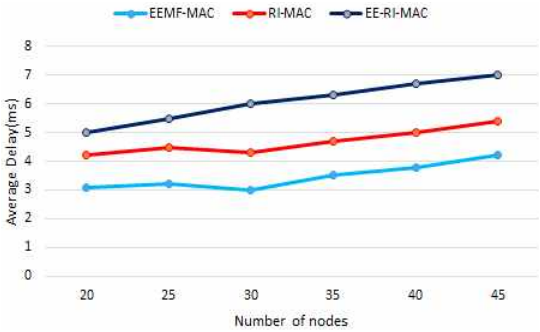

Fig. 3. The average delay of the urgent transmission data packet.

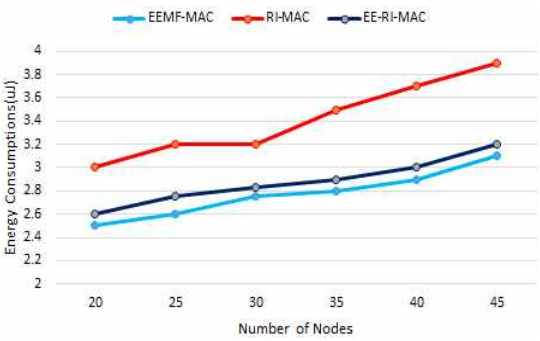

Fig. 4. The energy consumption for different number of nodes.

는 데이터 전송, 확인 응답 수신, idle listening, 그리고 채널 감지에 필요한 모든 에너지를 포함한다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 제안한 EEMF-MAC이 센서 노드의 수에 따라 소모하는 에너지가 다른 두 프로토콜보다 나은 성능을 보여 준다. 또한 EE-RI-MAC이 RI-MAC 보다 나은 에너지 소모를 보여주는데 이는 EE-RI-MAC에서 송신 노드는 RI-MAC과는 달리 송신 노드에서 수신자 노드로부터 비콘 신호를 받기 위해 계속 idle listening 상태에 머무르지 않고 sleep과 wakeup을 통해 에너지 소모를 줄이기 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 송신자 노드의 idle listening과 수신자 노드의 wakeup 주기를 줄이면서, 또한 전송 우선순위를 지원함으로 에너지 효율적이고 서비스의 질을 지원할 수 있는 멀티미디어 트래픽에 적합한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜에서는 각 센서 노드에서 전송에서 우선순위를 가지는 멀티미디어 트래픽이나 물체 검출 등과 같은 긴급 전송을 필요로 하는 데이터 전송에서 증가된 지연으로 인한 문제점을 해결할 수 있다. 즉, 송신 노드의 idle listening을 줄이기 위해 송신 노드의 on-off 동작으로 인한 수신자 노드로부터 브로드캐스트되는 비콘 신호를 수신하지 못함으로 인한 긴급 전송을 요하는 데이터 패킷의 전송 지연 문제를 해결할 수 있다. 실제로 본 논문에서 제안된 EEMF-MAC 프로토콜은 긴급 전송을 요하는 데이터 패킷의 평균 지연에서 비교하는 MAC 프로토콜보다 훨씬 나은 성능을 보였다. 뿐 만 아니라 센서 노느에서의 평균 에너지 소모가 기존의 프로토콜보다 줄었음을 알 수 있었다. 무선 센서 네트워크에서 노드에서 소모하는 에너지 절약은 전체 네트워크의 수명을 증가시키는 효과를 가져 온다. 추후 사용되어진 각 파라미터들의 성능에의 영향과 최적의 성능을 위한 파라미터 값들의 적정성 등에 대한 지속적인 연구가 이루어질 예정이다.

REFERENCE

[1] U. A. Patil, S. V. Modi, and Suma B. J., "A Survey: MAC Layer Protocol for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 3, pp. 203-211, 2013.

[2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Vol. 3, pp. 1567-1576, 2002.

[3] T.V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the First International Conference On Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 171-180, 2003.

[4] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the Second International Conference On Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 95-107, 2004.

[5] M. Buettner, G.V. Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-cycled Wireless Sensor Networks," *Proceeding of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 307-320, 2006.

[6] Y. Sun, O. Gurewitz, and D.B. Johnson, "RI-MAC: A Receiver-initiated Asynchronous Duty Cycle MAC Protocol for Dynamic Traffic Loads in Wireless Sensor Networks," *Proceeding of the 6th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, pp. 1-14, 2008.

[7] Y.T. Yong, C.O. Chow, J. Kanesan, and H. Ishii, "EE-RI-MAC: An Energy-Efficient Receiver-Initiated Asynchronous Duty Cycle MAC Protocol For Dynamic Traffic Loads in Wireless Sensor Networks," *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 6, No. 11, pp. 2263-2643, 2011.

[8] H.Y. Kim, S.C. Kim, J.H. Jeon, and J.J. Kim, "Traffic Adaptive Wakeup Control Mechanism in Wireless Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 17, No. 6, pp. 681-686, 2014.

[9] V. Nguyen, M. Gautier, and O. Berder, "FTA-MAC: Fast Traffic Adaptive Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceeding of EAI International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks*, pp. 207-219, 2016.

김 성 철

1995년 NYU Poly, PhD
1997년 2월~현재 상명대학교 컴퓨터과학과 교수
관심분야 : WSNs, 무선랜, 초고속통신망, 유비쿼터스

김 혜 윤

2008년 2월 상명대학교 정보통신공학과 학사
2010년 8월 상명대학교 정보컴퓨터교육 석사
2013년~현재 상명대학교 컴퓨터과학과 박사수료

관심분야 : WSNs, MAC 프로토콜, 유비쿼터스

김 중 재

2000년 초당대학교 학사
2005년 상명대학교 정보통신학 석사
2012년~현재 상명대학교 컴퓨터과학과 박사과정
2005년~2007년 한터기술 부설연구소
2007년~2014년 아이티사이언스 시스템사업본부
2014년~현대엘리베이터 기술연구소 선임연구원
관심분야 : 무선 센서 네트워크, 임베디드 소프트웨어