

무선 센서 네트워크에서 트래픽 적응적인 wakeup 제어 메커니즘

김혜윤[†], 김성철^{**}, 전준현^{***}, 김종재^{****}

Traffic Adaptive Wakeup Control Mechanism in Wireless Sensor Networks

Hye-Yun Kim[†], Seong-Cheol Kim^{**}, Jun-Heon Jeon^{***}, Joon-Jae Kim^{****}

ABSTRACT

In this paper, we propose a traffic adaptive mechanism that controls the receiver's wakeup periods based on the generated traffic amounts. The proposed control mechanism is designed for military, wild animal monitoring, and forest fire surveillance applications. In these environments, a low-rate data transmission is usually required between sensor nodes. However, continuous data is generated when events occur. Therefore, legacy mechanisms are ineffective for these applications. Our control mechanism showed a better performance in energy efficiency compared to the RI-MAC owing to the elimination of the sender node's idle listening.

Key words: WSNs (Wireless Sensor Networks), Energy Efficiency, traffic adaptive, RI-MAC

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks: WSNs)는 센서 노드들을 통해 다양한 정보를 수집하여 싱크 노드에게 전달하는 기술로 넓은 지역에 많은 수의 센서 노드를 분포시켜 정보를 수집할 수 있는 기술이다. 이러한 기술은 군사 지역에서 적의 이동을 추적이나 환경을 모니터링 하는 실제 응용을 위한 핵심적인 기반 기술로 이용되고 있다. 최근 저가의 무선 센서 노드의 개발로 인해 여러 종류의 센싱 모듈을 장착한 센서 노드를 대규모 지역에 배포시켜 정보를 수집할 수 있게 되었다. 이는 환경을 감지하는 등의 다양한 연구로 진행되고 있다[1-4].

무선 센서 네트워크에서 사용되는 센서 노드는 제한된 에너지 량 등 여러 제약사항을 가지고 있다 [2,5]. 특히 센서 노드의 배터리 교체가 어렵기 때문에 제한된 에너지로 동작하기 위해 효율적인 에너지 사용이 매우 중요하다. 따라서 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 여러 방법들이 연구되어져 왔다[2,3]. 무선 센서 네트워크에서는 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 방법으로 센서 노드들의 active 구간과 sleep 구간을 두어 에너지를 절약하는 방식이 있다 [4]. 이러한 방식으로 동작하는 것은 S-MAC[6], T-MAC[7], B-MAC[8], Wise MAC[9], RI-MAC[10] 등을 들 수 있다. S-MAC은 경쟁기반의 프로토콜로서 고정된 active 구간과 sleep 구간을

※ Corresponding Author: Seong Cheol Kim, Address: (110-743) 7 Hongi-Dong Jongno-Gu, Seoul, 110-743 Korea, TEL: +82-2-2287-5315, FAX: +82-2-2287-0072, E-mail: sckim@smu.ac.kr

Receipt date: Feb 10, 2014, Revision date: Apr. 9, 2014
Approval date: May. 7, 2014

[†] Dept of Computer Science, Sang-Myung University (hyeyun0201@gmail.com)

^{**} Dept of Computer Science, Sang-Myung University

^{***} Dept of Computer Science, Sang-Myung University (cloud0305@naver.com)

^{****} Dept of Computer Science, Sang-Myung University (joongjae@itse.co.kr)

반복적으로 되풀이 하는 고정적 duty cycle을 사용한다. active 구간에 이웃 노드와 통신하며 sleep 구간에는 데이터를 송수신 하지 않고 전원 오프 상태를 유지하는 통신하는 방식이다. T-MAC은 active 구간과 sleep 구간의 duty cycle로 활성 구간을 조절함으로써 에너지 소비를 줄여 노드의 수명을 연장 시키는 장점이 있다. B-MAC[8]은 비동기 방식으로 동작하는 MAC 프로토콜로 고정된 sleep 구간을 가지며 전송 노드는 각 노드들의 샘플 사이클보다 길이보다 더 긴 프리앰블(long preamble)을 보내어 각 노드들이 동기 할 수 있도록 한다. 이러한 B-MAC은 센서 노드들 간에 동기를 위한 절차를 없애고 기존의 프로토콜보다 에너지 효율성을 향상 시켰다는 장점이 있다. 하지만 긴 프리앰블은 다른 수신 노드들의 헤더까지 들어야 한다는 단점을 가진다. Wise MAC은 긴 프리앰블을 사용하는 B-MAC의 단점을 보완한 프로토콜이다. 수신 노드의 센싱 구간 동안 긴 프리앰블을 전송하는 대신 표준 크기의 프리앰블을 보낸다. 패킷의 헤더에 각 노드의 스케줄 정보를 넣어 보냄으로써 제어 패킷의 오버 헤드를 줄일 수 있다.

기존의 X-MAC[11]은 같은 송신 노드의 제어 신호로 데이터 전송이 시작되는 프로토콜 방식으로 수신 노드가 wakeup할 때 까지 계속해서 제어 신호를 전송함으로써 발생하는 에너지 소모의 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 연구된 RI-MAC은 B-MAC[8], X-MAC[11]과는 달리 수신 노드 기반의 데이터 전송 프로토콜 방식으로 DATA 프레임을 전송하는 송신 노드가 wakeup 모드로 대

기하는 방식이다. 각 송신 노드들은 각자의 주기에 따라서 다른 시간에 깨어나 수신 노드에게 자신이 깨어나 있음을 알리는 비콘 프레임을 전송한다. 전송해야 할 DATA 프레임에 있는 송신 노드의 경우 수신 노드가 깨어날 때까지 wakeup 모드로 기다리게 된다. 만약 수신 노드로부터 비콘 프레임을 수신한 경우 송신 노드는 DATA 프레임을 전송한다. DATA 프레임을 정상적으로 수신한 수신 노드는 정상적으로 수신했다는 의미로 비콘 프레임을 전송한다. 이러한 방식은 송신 노드의 제어 신호로 발생하는 에너지 낭비를 절약하는 장점을 가지고 있다. 그러나 RI-MAC은 송신 노드가 수신 노드의 비콘 프레임이 도착할 때까지 기다리는 idle listening을 하는 동안 송신 노드의 에너지가 소모되는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 RI-MAC의 수신 노드 기반의 메커니즘을 기반으로 하여 트래픽에 적응적인 수신 노드의 wakeup 주기를 제어함으로써 에너지 효율을 높이는 적응적 메커니즘을 제안한다. 이는 군사 지역에서 적의 침투나 야생 동물 서식지 관찰, 산불 감지 등의 순간적인 이벤트 발생 시 이벤트를 측정하는 환경에 적합하게 설계 되었으며 기존의 RI-MAC 프로토콜에 비해 에너지 효율적인 측면과 전송 지연 측면에서 더 좋은 성능을 보여준다.

2. 제안된 wakeup 제어 메커니즘

2.1 wakeup 주기 제어 메커니즘

그림 1은 본 논문에서 제안되는 wakeup 제어 메커니즘이다. 제안하는 메커니즘은 수신 노드의 송신

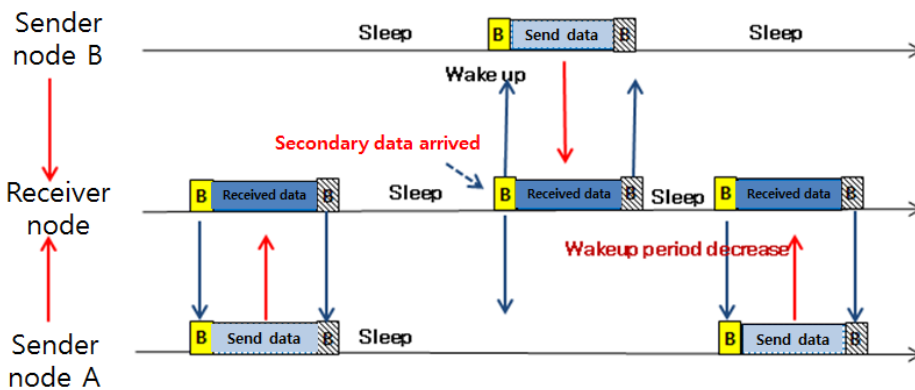


Fig. 1. A wakeup control mechanism

노드의 비콘 프레임으로 DATA 프레임 전송이 시작된다. 전송할 데이터 패킷이 있는 송신 노드_A는 wakeup해서 수신 노드의 비콘 프레임을 기다린다. 송신 노드_A는 수신 노드의 비콘 프레임을 수신하고 DATA 프레임을 전송한다. 전송이 완료된 송신 노드_A는 sleep한다. 송신 노드_B는 수신 노드의 비콘 프레임을 기다린다. 수신 노드는 주기적 wakeup 이후 비콘 프레임을 방송(broadcast)한다. 이를 수신한 송신 노드_B는 DATA 프레임을 전송한다. 그림 1에서 수신 노드는 송신 노드_A와 송신 노드_B로부터 DATA 프레임을 연속적으로 수신한다. 이때 수신 노드는 연속적으로 데이터를 전송받은 상태를 기억한다. 수신 노드가 연속적인 데이터 프레임을 수신하고 계속해서 송신 노드로부터 연속 2회 DATA 프레임을 전송 받으면 네트워크 트래픽이 증가하고 있다고 판단하고 자신의 wakeup 주기를 감소시킨다. 이는 트래픽이 증가하는 네트워크에서 전송 지연을 감소시키고, 송신 노드의 idle listening으로 발생하는 에너지 소모를 줄인다. 그림 1은 정상적인 wakeup 이후 감소된 wakeup 주기로 데이터 패킷 전송이 되고 있음을 보여준다.

수신 노드와 송신 노드 사이에 DATA 프레임 전송이 없을 경우도 wakeup 주기를 증가 시키는 경우와 같이 연속적으로 데이터 패킷을 2회 수신하지 못할 때 wakeup 주기는 증가 된다. 증가된 wakeup 주기 동안 연속적으로 송신 노드로부터 DATA 프레임 전송이 없을 경우 수신 노드는 데이터의 전송이 없는 이벤트를 기억한다. 수신 노드가 다시 송신 노드로부터 2회 DATA 프레임을 전송 받지 못하였을 때 수신 노드는 wakeup 주기를 증가시킨다. 이는 트래픽이 감소하고 있는 환경에서 수신 노드의 active 구간을 줄이고, sleep 구간을 증가시켜 에너지가 절약되게 된다. 연속적으로 DATA 프레임을 수신한 경우는 Wakeup 주기를 줄인다. 트래픽의 변화에 따라 급격하게 주기를 변화 시키거나 너무 빈번한 주기 조절은 오히려 에너지 소모의 문제를 가진다. 이러한 문제점 때문에 제안한 메커니즘에서는 DATA 프레임이 연속으로 전달받았거나 받지 못한 상태를 기억하고 다시 동일한 상태의 DATA 프레임 전송 시 wakeup 주기를 조절함으로써 에너지 소모의 문제점을 해결 할 수 있다.

```

1:RECEIVER: Periodic default wakeup_period
2:RECEIVER: Channel sensing
3:RECEIVER: if Channel == idle
    {transfer Beacon }
4:RECEIVER: if received Data_pkt
    {Truth_pkt = Truth_pkt +1}
5:RECEIVER: if Truth_pkt==4
    {wakeup = decrease_wakeup_period until minimum
wakeup_period }
    {Truth_pkt=0}
6:RECEIVER: else
    {wakeup= now_wakeup_period}
7:RECEIVER: else if not received Data_pkt
    {False_pkt=False_pkt+1}
8:RECEIVER: if False_pkt==4
    {wakeup = increase_wakeup_period maximum wake-
up_period }
    {False_pkt=0}
9:RECEIVER: else
    {wakeup= now_wakeup_period}
    
```

Fig. 2. A wakeup period control algorithm of receiver node.

2.2 제어 알고리즘

그림 2의 수신 노드 알고리즘은 트래픽의 변화 환경에 적응하여 자신의 wakeup 주기를 변경한다. 처음 동작할 때 수신 노드는 자신의 wakeup 주기를 기본 값으로 세팅한다. 채널이 사용 중인지 확인한다. 채널이 idle일 경우 수신 노드는 비콘 프레임을 주변의 송신 노드들에게 브로드캐스트하여 데이터를 받을 수 있는 상태를 알린다. 수신 노드는 송신 노드로부터 어떠한 데이터의 전송도 이루어지지 않았을 경우 상태를 기억한다. 연속적으로 송신 노드로부터 데이터의 전송이 이루어지지 않았을 경우 수신 노드는 wakeup 주기를 알고리즘에 따라 증가시킨다. 송신 노드로부터 데이터의 전송을 연속으로 2회 받았을 경우 수신 노드는 wakeup 주기를 감소시킨다.

3. 성능 분석

본 장에서는 제안된 메커니즘과 RI-MAC 프로토콜을 비교하였다. 센서 노드의 데이터 패킷은 10% ~ 60%까지 임의로 발생하며, 동일한 전송 범위 내

Table 1. Simulation parameters [9]

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	30 μ W
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	1.1 μ s
T_{SP}	slotted preamble time	100ms
T_{sample}	channel sampling time	2.08ms

에서는 송신 노드 2개와 수신 노드 1개로 제한하였다. 성능 비교를 위하여 표 1의 파라미터 값들을 사용하였다[10]. 환경은 50m × 50m의 공간에 50개의 센서 노드가 있으며, 데이터 패킷의 발생은 4개 이상의 연속적인 데이터 패킷발생, 연속적인 데이터 패킷 발생, 연속적으로 전송할 데이터 패킷이 발생하지 않음, 그리고 연속적인 데이터 패킷 2번 발생, 연속적으로 전송할 데이터 패킷이 2번 발생하지 않은 상황을 가정하였으며 10번 측정을 통하여 평균값을 취하였다.

그림 3는 전송 노드의 수의 증가에 따른 전송 지연을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안된 메커니즘은 전송 노드 수, 즉 홉 수가 증가할수

록 RI-MAC 프로토콜보다 적은 에너지를 소모하는 것으로 나타났다. 이는 전송 노드 수가 증가할수록 RI-MAC 프로토콜은 주기적인 wakeup을 하는 반면 제안하는 메커니즘은 트래픽에 적응적으로 wakeup을 하기 때문에 RI-MAC 프로토콜에 비해 전송 지연이 감소한다.

그림 4은 송신 노드로부터 싱크 노드로 데이터를 전송할 때까지 노드 수의 증가에 따른 에너지 소모를 보여준다. 본 논문에서 제안하는 메커니즘에서는 앞서 살펴 본 대로 네트워크 트래픽에 따른 수신 노드의 wakeup 주기를 조절한다. 그렇기 때문에 트래픽이 많을 때 기존의 RI-MAC 프로토콜에서 발생할

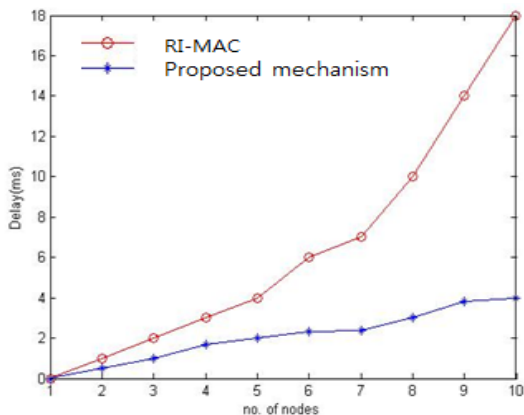


Fig. 3. Transmission delay over no. of nodes.

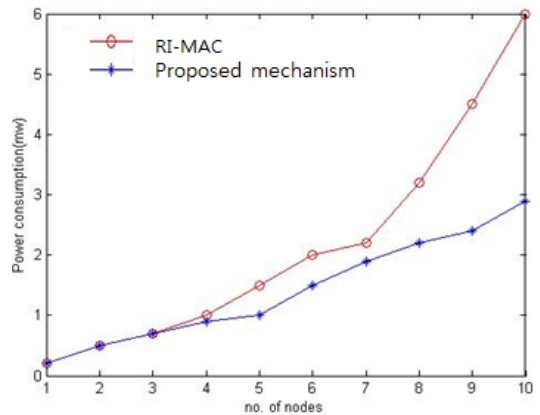


Fig. 4. Energy consumption over no. of nodes.

수 있는 송신 노드의 idle listening 에너지 소모를 줄이고, 트래픽이 적을 때 트래픽 적응적인 수신 노드의 wakeup 주기 조절로 에너지를 절약한다. 그림 4에서 보듯이 전송 노드 수가 증가할수록 RI-MAC 프로토콜에 비해 에너지가 더 적게 소모된다.

4. 결 론

본 논문에서는 이동 물체 감지 환경에서 정상시에는 wakeup 구간을 늘여 에너지 소모를 줄이고, 물체 출현 발생 시 wakeup 구간을 줄임으로써 전송 지연과 에너지 소모를 줄일 수 있는 wakeup 제어 메커니즘을 제안하였다. 실제로 본 논문에서 제안된 wakeup 제어 메커니즘은 전송 노드 수가 증가할수록 트래픽이 많은 환경에서 지연 및 에너지 소모를 기존의 RI-MAC 프로토콜보다 줄였으며, 트래픽이 적은 환경에서도 에너지소모를 줄였다. 무선 센서 네트워크에서 노드에서 소모하는 에너지 절약을 전체 네트워크의 수명을 증가시키는 효과를 가져 온다. 추후 에너지 수확 무선 센서 네트워크에서의 성능 변화와 큰 규모의 센서 네트워크에서의 적용방법에 대해 지속적인 연구가 이루어질 예정이다.

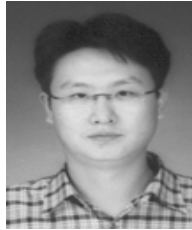
REFERENCE

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, Issue 8, pp. 102-114, 2002.
- [2] J. Hui, Z. Ren, and B.H. Krogh, "Sentry-based Power Management in Wireless Sensor Networks," *Second International Workshop on Information Processing in Sensor Networks*, pp. 458-472, 2003.
- [3] I. Howitt and J. Wang, "Energy Balanced Chain in Distributed Sensor Networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Vol. 3, pp. 1721-1726, 2004.
- [4] P. Huang, L. Xiao, S. Soltani, M.W. Mutka, and N. Xi, "The Evolution of MAC Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, Vol. 15, Issue 1, pp. 101-120, 2013.
- [5] 최동민, 모상만, 정일용, "무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 가변 영역 라우팅 프로토콜," 한국멀티미디어학회 논문지, vol. 11. no. 8, pp. 1072-1081, 2008.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] A. El-Hoiydi and J.D. Decotignie, "WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for Multi-hop Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the First International Workshop on Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks*, pp. 18-31, 2004.
- [10] 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.
- [11] 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.



김 성 철

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



전 준 현

2012년~현재 상명대학교 컴퓨터과학과 박사과정
관심분야: 무선 센서 네트워크, MAC 프로토콜, Qos 통신



김 혜 윤

2008년 2월 상명대학교 정보통신공학과 학사
2010년 8월 상명대학교 교육대학원 정보컴퓨터교육전공 석사
2013년~현재 상명대학교 컴퓨터과학과 박사과정

관심분야 : WSNs, MAC 프로토콜, 유비쿼터스



김 중 재

2000년 초당대학교 학사
2005년 상명대학교 정보통신학전공 석사
2013년~현재 상명대학교 컴퓨터과학과 박사과정
2005년~2007년 한티기술 부설연구소

2007년~현재 아이티사이언스 시스템사업본부
관심분야: 무선 센서 네트워크, 임베디드 소프트웨어