JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 4 : 855~860 Apr. 2017

무선 센서 네트워크에서 군 감시 정찰을 위한 저 지연 데이터 전송 메커니즘

전준헌[1] · 이성춘[2*]

Low Delay Data Transmission Mechanism for Military Surveillance in Wireless Sensor Networks

Jun-heon Jeon[1] · Sung-choon Lee[2*]

[1]Department of Electrical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea
[2*]Department of Military Science, Yongin University, Yongin 17092, Korea

요 약

무선 센서 네트워크에서 중요한 이슈 중 하나는 센서 노드의 에너지 절약이다. 그러나 군 정찰, 물체 추적과 같은 응용 분야에서는 지연 또한 중요한 문제이다. 이러한 응용에서 센서 노드는 물체가 감지되면 제한된 시간 내에서 많은 양의 데이터 패킷을 전송해야 한다. 그렇기 때문에 지연에 효율적인 데이터 전송 방법이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 응용에 적합한 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 무선 센서 네트워크에서 군 감시 정찰을 위한 저 지연 데이터 전송 메커니즘이다. MAC 프로토콜에서, 수신 노드는 송신 노드에서 데이터 패킷을 수신한 후 두 번째 비콘 프레임을 보낸다. 이 두 번째 비콘 프레임을 사용하여 빠른 hop-to-hop 전송이 가능하다. 성능분석을 통해 제안된 MAC 프로토콜과 RI-MAC 프로토콜을 비교하였고, 제안된 방법이 지연에 더 효율적이다.

ABSTRACT

One of the most important issues in Wireless Sensor Networks is to save energy of the sensor node. But transmission latency is also the problem to solve for some applications such as military surveillance, object tracking. In these applications sensor node needs to send lots of data in limited time when an even such as object appearance occurs. So a delay efficient data transmission method is required. In this paper we propose a MAC protocol adequate for those applications. This paper proposed a low delay data transmission mechanism for military surveillance in wireless sensor networks. In the MAC protocol, a receiver node sends another beacon frame to sender node after receiving data packet. Using this second beacon frame, fast hop-to-hop transmission can be performed. Results have shown that the proposed MAC control mechanism outperformed RI-MAC protocol in the terms of latency.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 감시·정찰 센서 네트워크, 지연, MAC 프로토콜

Key word : Wireless Sensor Networks, Surveillance Sensor Networks, Delay, MAC protocol

Received 25 January 2017, **Revised** 25 January 2017, **Accepted** 28 February 2017

* **Corresponding Author** Sung-Choon Lee(E-mail:mire2050@naver.com, Tel:+82-31-8020-3289)
Department of Military Science, Yongin University, Yongin 17092, Korea

Open Access https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.4.855 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/li-censes/ 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. 서 론

미래의 군대는 정보와 IT가 융합된 형태로 발전해 나갈 것이다. 현재 사람에 의존하는 감시·정찰 업무도 센서 노드를 사용하는 감시·정찰 센서 네트워크 및 로봇에 의해 수행될 것이다. 무선 센서 네트워크는 사람이 근접하기 힘든 지역(적지 또는 험난한 지역) 및 한정된 지역에 비행기와 같은 수단을 사용하여 임의로 배포된다. 센서 노드들은 작은 지역에 밀집된 형태로 배포되고, 배포된 센서 노드들은 자율적으로 정보를 주고받는 네트워크를 구성한다. 무선 센서 네트워크는 무선으로 구성된 네트워크 형태로 네트워크 전체적인 수명은 센서 노드의 배터리에 의존된다[1]. 몇 개의 센서 노드의 배터리 고갈은 전체적인 네트워크 수명을 단축시킬 수 있기 때문에 무선 센서 네트워크에서 중요한 쟁점 중 하나는 에너지 소모를 줄이는 것이다. 그래서 민간에서 연구되고 있는 무선 센서 네트워크의 많은 부분은 에너지 소모를 줄이는 데 중점을 두고 있다[2,3]. 그러나 군에서 사용되는 무선 센서 네트워크에서는 에너지 절약도 중요하지만 적 감지 시 지연을 최소화하여 중앙 지휘 통제실로 정보를 전달하는 것이 중요한 문제이다. 본 논문에서의 환경은 군 응용분야에서 감시·정찰을 수행하는 무선 센서 네트워크로서 적군의 침입을 감지하고 정찰하는 환경이다. 감시 및 정찰 분야에서의 이벤트는 드물게 발생하는 특징을 가진다. 또한 한번 발생하면 폭발적(bursty)으로 발생하는 특징을 가진다[4]. 본 논문에서는 군 감시·정찰을 위한 무선 센서 네트워크에서 지연은 최소화하여 데이터 패킷을 전송하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 본론에서는 제안하는 MAC 프로토콜의 메커니즘, 알고리즘 및 프레임 포맷에 대하여 설명한다. 3장 성능 분석에서는 MAC 프로토콜 중 대표적인 비동기 전송방식인 RI-MAC[5] 프로토콜과 제안하는 MAC 프로토콜을 비교한다. RI-MAC 프로토콜은 수신 노드의 비콘 신호로 통신을 시작하는 방식으로 다른 프로토콜이 송신 노드의 신호로 시작함으로서 발생하는 수신 노드의 불필요한 wake-up을 줄일 수 있는 특징을 가지는 프로토콜이다. 마지막으로 4장에서 결론은 맺는다.

Ⅱ. 저 지연 데이터 전송 메커니즘

2.1. 제안하는 MAC 프로토콜 환경

본 논문에서는 군 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 저 지연을 위한 데이터 전송 방법을 제안한다. 제안하는 센서 네트워크의 환경은 그림 1과 같이 일반적인 무선 센서 네트워크를 구성한다. 그림에서 보듯이 적 침투 시 센서 노드는 이를 감지하고, 구성된 무선 센서 네트워크를 통하여 중앙 지휘소인 베이스 스테이션(Base Station)으로 정보를 전송한다. 이러한 응용분야에서는 무선 센서 네트워크의 중요한 쟁점들 중에서 중요한 것은 지연을 최소화 하는 것이다. 군 감시·정찰에서는 적 감지 시 얼마나 빨리 정보를 전송하느냐가 중요한 쟁점이다. 제안하는 방법에서는 적 침투 발견 시 지연을 최소화 할 수 있는 방법을 제안한다.

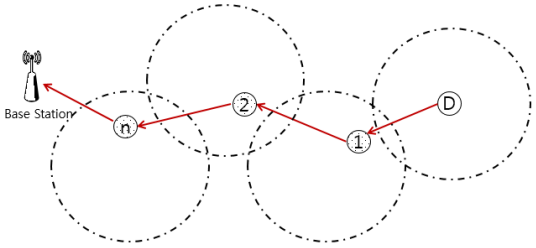


Fig. 1 Environments for the proposed MAC protocol

2.2. 제안하는 MAC 프로토콜의 메커니즘

본 논문에서는 기존의 무선 센서 네트워크에서 사용되는 비동기 방식 중 RI-MAC 프로토콜의 방식처럼 수신 노드의 비콘 프레임으로 전송을 시작한다. 적을 감지한 센서 노드는 wake up 상태로 수신 노드의 비콘 프레임을 기다린다. 제안하는 MAC 프로토콜은 센서 노드의 wake up 시간이 센서 노드마다 다른 비동기 방식이다. 이렇게 적을 감지한 감지 노드는 주위에 많은 수신 노드들이 있기 때문에 이러한 노드 중 일찍 wake up 한 노드와 데이터 송수신이 가능하다. 그렇기 때문에 감지 노드의 데이터 전송을 위하여 기다리는 시간은 길지 않다. 제안하는 MAC 프로토콜은 멀티-홉 네트워크를 위한 방법으로 지연을 최소화하기 위하여 데이터 패킷과 데이터 패킷 사이에 비콘 프레임을 전송하는 방식을 사용한다. 이 비콘 프레임을 통하여 다음 홉에 수신할 수신 노드는 자신이 wake up할 시간을 미리 예측할

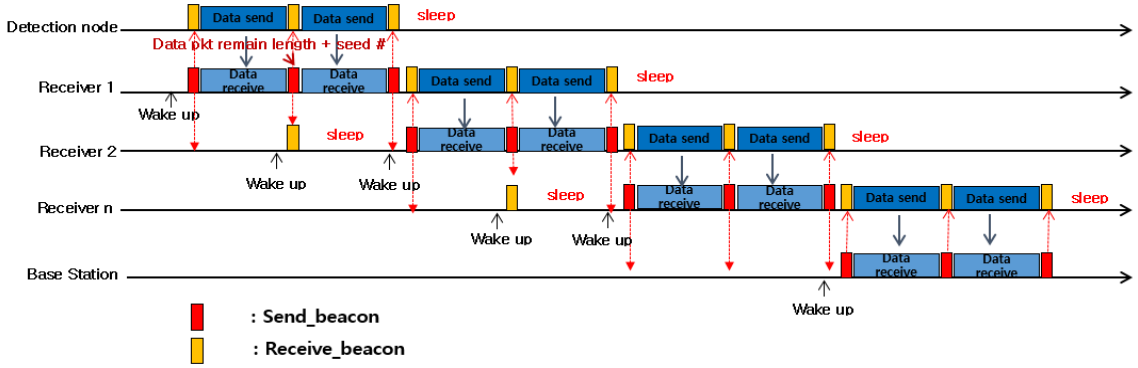


Fig. 2 Data transmission between receiver nodes and detection node

수 있고, 송신 노드는 지연 없이 데이터를 송신 할 수 있다. 그림 2에서는 제안하는 MAC 프로토콜의 방식을 보여준다.

제안하는 MAC 프로토콜 방식에서 수신 노드의 비콘 프레임은 3가지 기능을 가지고 있다. 첫째, 수신 노드가 데이터를 수신할 준비가 되었음을 송신 노드에 알리는 기능을 가진다. 감지 노드 및 송신 노드는 수신 노드의 비콘 프레임으로 데이터의 송신을 시작한다. 둘째, 수신 노드가 데이터의 수신을 문제없이 완료했다는 응답 신호의 기능을 가진다. 무선 네트워크에서 응답 신호는 데이터 송수신에 반드시 필요하다. 셋째, 현재 송수신 중인 데이터 전송이 언제 완료되는지를 다음 송신 노드에 알려주는 기능을 한다. 비콘 프레임의 3가지 기능을 통하여 현재 송·수신 중인 데이터 패킷 전송 완료 시간을 다음 수신할 수신 노드는 계산에 의해 예측할 수 있다.

$$Wake\,up\,Time = Data\,Transmission\,Time + Random\,Time \quad (1)$$

수식 (1)을 통하여 다음 홉의 수신 노드는 wake up 시간을 계산한다. 다음 홉 수신 노드의 wake up 시간은 현재 진행 중인 데이터 패킷 송·수신 완료 시간에 랜덤한 시간을 더한 값이 된다. 랜덤한 시간을 추가한 이유는 이웃하는 다음 홉 수신 노드들의 비콘 프레임 충돌을 막기 위함이다. 랜덤 시간은 비콘 신호를 보내기 전에 가지는 CW(Contention Windows)의 기본값으로 한다.

2.3. 제안하는 MAC 프로토콜의 알고리즘

다음은 감지 노드 및 송신 노드의 데이터 패킷 전송 알고리즘은 다음과 같다.

1:SENDER: Data detection
2:SENDER: Waiting beacon signal
3:SENDER: if beacon signal == arrived
{ Data packet transmission }
4:SENDER: else beacon signal == not arrived
{ waiting }
5:SENDER: if Data packet transmission == completed
{ waiting beacon signal }
6:SENDER: if beacon signal == arrived
7:SENDER: if next data packet == yes
{ next data packet transmission }
8:SENDER: els next data packet == no
{ sleep }

다음은 수신 노드의 알고리즘은 다음과 같다.

1:RECEIVER: wake up
2:RECEIVER: channel sensing
3:RECEIVER: if channel == idle
{ beacon signal broadcasting }
4:RECEIVER: else channel == busy
{ some time wait }
{ sleep }

{ goto 1 }
5:RECEIVER: if data packet == received
{ beacon signal broadcasting }
6:RECEIVER: else beacon signal == received
{ predicted time calculation }
{ sleep }
7:RECEIVER: if data packet received == completed
{ beacon signal broadcasting }
8:RECEIVER: { waiting next receiver beacon signal }

제안하는 MAC 프로토콜 방식은 기존의 프로토콜 방식과 비교하여 지연을 최소화하기 위하여 버스트한 데이터 패킷과 패킷사이에 추가적으로 수신 노드의 비콘 프레임을 전송한다. 이러한 방식으로 지연을 최소화함으로서 군 감시 감찰 환경에 적합한 프로토콜 방식을 제안한다. 데이터 패킷 사이의 비콘 프레임은 감지 노드 및 송신 노드에게 데이터 패킷이 이상 없이 전송되었음을 알려준다. 또한 다음 홉에 수신할 수신 노드에게는 현재 송수신중인 데이터 패킷의 완료 시간을 예측할 수 있는 시드 값을 전송해 준다. 다음 홉에 수신할 수신 노드는 시드 값을 통하여 패킷 완료 시간을 예측하고, 예측된 시간만큼 sleep하여 에너지 소모를 줄인다. 또한 다음 수신할 수신 노드는 예측된 시간에 wake up 하여 지연 없이 데이터 패킷을 수신할 수 있다.

2.4. 제안하는 MAC 프로토콜의 프레임 포맷

제안하는 MAC 프로토콜에서는 IEEE 802.15.4[6]의 비콘 프레임 포맷(beacon frame format)과 데이터 프레임 포맷(data frame format)을 수정하여 사용한다. 표준 프로토콜의 프레임을 수정하여 사용함으로서 프레임 포맷의 길이의 증가 및 전송시간의 증가를 가져올 수 있으나, 변경된 프레임의 크기는 작은 비트로 구성되어 있으므로 전송시간 및 에너지 소모의 차이는 거의 발생하지 않는다. 비콘 프레임 포맷에는 다음 홉의 wake up 시간을 예측할 수 있도록 시드(seed) 값이 포함되어 있다. 그림 3은 제안하는 MAC 프로토콜의 비콘 프레임 포맷을 보여주고 있다. 데이터 프레임 포맷에서는 데이터의 전체 길이를 알 수 있도록 남은 데이터 패킷의 개수를 알 수 있는 값이 포함되어 있다. 그림 4는 제안하는 MAC 프로토콜의 데이터 프레임 포맷을 보여주고 있다.

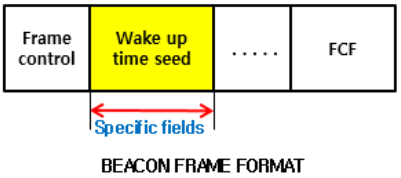


Fig. 3 Beacon frame format

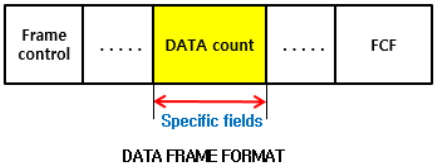


Fig. 4 Data frame format

Ⅲ. 성능 분석

Table. 1 Networks Parameters [5-8]

Parameter		Value
P_{TX}	Power consumption in T_X	57.6mA
P_{idle}	Power consumption in idle	10mA
P_{sleep}	Power consumption in sleep	10μA
P_{RX}	Power consumption in R_X	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 μs

본 장에서는 제안하는 MAC 프로토콜의 방법과 RI-MAC 프로토콜의 성능을 비교하여 평가한다. 논문에서는 성능분석의 비교를 위하여 같은 환경에서 에너지 소모 및 지연, 2가지 값을 측정하였다. 성능분석을 위하여 사용된 파라미터 값은 표 1과 같다. 표 1은 네트워크 파라미터로서 통신에 사용되는 전력, 센서 노드의 idle 상태에서 소모되는 전력, 센서 노드가 sleep 상태에서의 소모 전력, 센서 노드의 배터리 용량, 데이터 패킷의 크기 등으로 시뮬레이션의 초기값으로 사용되었다. 논문에서는 성능분석을 위하여 다음과 같이 가정한다. 감지 노드로부터 베이스 스테이션까지는 10홉으로 한

다. 노드에서 데이터 패킷에 소모되는 에너지는 동일하다. 총 10회 측정하여 평균값을 취한다.

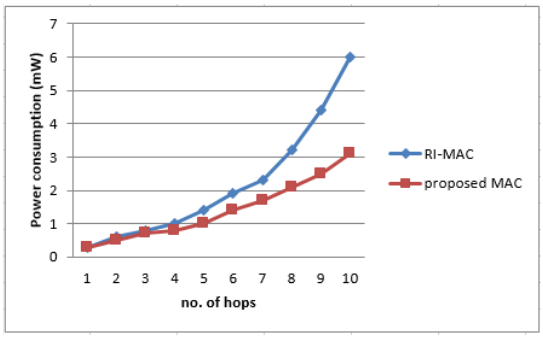


Fig. 5 Average power consumption vs. number of hops

그림 5는 네트워크 홉 수에 따른 에너지 소모를 보여준다. 그림에서 보듯이 홉 수가 증가할수록 제안하는 MAC 프로토콜 방법이 더 적은 에너지가 소모된다. 이는 수신 노드가 예측된 시간에 wake up 하여 데이터 패킷을 수신하기 때문이다. 수신 노드는 예측된 시간까지 슬립하기 때문에 RI-MAC 프로토콜에 비해 에너지 소모가 감소된다.

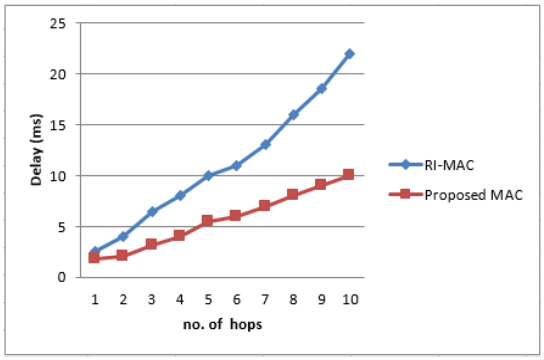


Fig. 6 Delay vs. number of hops

그림 6에서는 네트워크 홉 수에 따른 지연 시간을 보여준다. 그림에서 보듯이 제안하는 MAC 프로토콜 방법이 기존의 RI-MAC 프로토콜에 비해 지연시간이 감소된다. 이는 수신 노드의 비콘 프레임을 수신한 다음 수신 노드(next receiver node)가 앞선 노드들의 데이터 패킷 송수신 완료 시간을 예측하여 wake up 하기 때문에 송신 노드는 지연 없이 데이터 패킷을 송신할 수 있다.

성능분석 그림 5와 6의 결과에서 보듯이 기존의 RI-MAC 프로토콜에 비해 적은 전력소모와 지연시간이 있음을 알 수 있다. 그 결과가 기존의 RI-MAC 프로토코에 비해 비약적인 감소는 아니지만, 무선 센서라는 제한적 배터리용량과 이러한 단점을 해결하기 위한 지연시간의 증가라는 특징을 가지는 환경에서는 제안하는 방식이 더 효율적임을 알 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 군 감시를 위한 저 지연 데이터 전송 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 기존의 무선 센서 네트워크 환경에서 감지 노드가 적 침투 감지 시 지연은 최소화하여 데이터 패킷을 전송하는 방식으로, 성능분석 결과 기존의 MAC 프로토콜 방식에 비해 지연이 감소되었다. 또한 수신 노드는 예측되는 시간에 wake up 함으로서 에너지 소모도 감소되었다. 그러나 논문에서는 센서 노드의 성능에 대하여 고려하지 않았다. 또한 군에서는 감지 노드에서 감지되었을 때 감지된 물체가 동물인지 사람인지 구분하고, 사람이면 적군인지 아군인지 구분하는 알고리즘이 포함되어야 한다. 그러나 본 논문에서는 이러한 점은 고려하지 않았다. 추후 피아식별 알고리즘이 포함된 종합적인 무선 센서 네트워크에서도 지연을 효율적으로 감소시킬 수 있는지 지속적인 연구가 진행될 예정이다.

REFERENCES

[1] P. Huang, L. Xiao, S. Soltani, M. Mutka, and N. Xi, “The evolution of MAC protocols in wireless sensor networks: A survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 101-120, April 2012.

[2] S. C. Kim, J. H. Jeon, H. J. Park, “Energy Efficient Data transmission Mechanism in Wireless Sensor Networks,” *Lecture Notes in Electrical Engineering(LNEE) 235*, vol. Ⅱ, pp. 845-852, Springer, June 2013.

[3] J. H. Jeon, S. C. Kim, “Efficient Packet Transmission Mechanism for Multi-hop Wireless Sensor Networks,” *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 18, no. 4, pp 492-

498, April 2015.

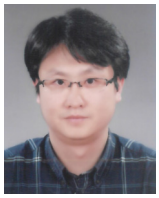
[4] J. I. Kong, J. H. Lee, and J. H. Kang, D. S. Eom, “Energy Efficient Clustering Algorithm for Surveillance and Reconnaissance Applications in Wireless Sensor Networks,” *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 37, no. 11 pp. 1172-1183, November 2011.

[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,” *ACM SenSys '08*, pp. 1-14, November 2008.

[6] IEEE Std 802.15.4-2006, *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)*, IEEE, Piscataway, N. J., 2006.

[7] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, “X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks,” *ACM SenSys '06*, pp. 307-320, October 2006.

[8] J. Y. Oak, Y. J. Choi, and W. G. Pak, “EP-MAC: Early Preamble MAC To Achieve Low Delay And Energy Consumption In Duty Cycle Based Asynchronous Wireless Sensor Networks,” *KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)* vol. 6, no. 11, pp. 2980-2991, November 2012.



전준헌(Jun-Heon Jeon)

상명대학교 컴퓨터과학 박사
한밭대학교 전기공학과 겸임교수
※관심분야 : 무선 센서 네트워크, MAC 프로토콜, 사물인터넷(IoT), 국방과학

이성춘(Sung-Choon Lee)

선문대학교 행정대학원 박사
용인대학교 군사학과 교수
※관심분야 : 통일/국방정책, 군사교육, 군사과학