
멀티 홉 무선 센서 네트워크에서 에너지 소모와 전송 지연에 효율적인 슬롯 예약 메커니즘

박현주* · 김성철* · 전준현* · 김혜윤* · 김중재*

*상명대학교

Energy and Delay Efficient Slot Reservation Mechanism for Multihop Wireless Sensor Networks

Hyun Joo Park* · Seong Cheol Kim* · Jun Heon Jeon* · Hye-Yun Kim* · Joong Jae Kim*

*SangMyung University

E-mail : sckim@smu.ac.kr

요 약

일반적으로 무선 센서네트워크에서 각 센서 노드들에서 생성된 데이터는 목적지 노드 즉, 싱크 (sink) 노드로 전송되어진다. 본 논문에서는 이처럼 데이터 전송이 물리게 되는 sink 노드 근처에서 노드들 사이에 전송된 데이터 패킷의 충돌을 줄임으로 에너지 효율과 지연의 성능을 향상시킬 수 있는 TDMA 기반의 MAC 프로토콜을 제안한다. 전송할 데이터를 가지는 노드들은 먼저 싱크 노드에 게 자신이 전송할 데이터의 양을 포함하는 RTS 패킷을 전송한다. 이 RTS 패킷을 받은 싱크 노드는 각 노드들에게 전송할 수 있는 전송 스케줄을 노드들에게 보내고, 이 스케줄을 받은 각 노드들은 전송 스케줄에 맞추어 자신들에게 할당된 슬롯에 데이터 패킷을 전송함으로써 충돌 없이 bursty 데이터를 전송한다. 이 방법을 통하여 각 노드들은 동시에 멀티 슬롯을 할당 받아 여러 패킷을 전송할 수 있다. 따라서 버스티한 트래픽 전송에서 지연(Delay)을 줄이는 동시에 충돌을 없애 데이터 전송 효율을 높일 수 있다.

키워드

WSNs(Wireless Sensor Networks), MAC, TDMA, Bursty Data, Energy Consumption, Delay

1. 서 론

무선센서 네트워크에서 데이터 전송은 애드혹 (ad hoc) 전송 방식을 통해 이루어진다. 애드혹 전송 방식에서는 센서 노드들이 직접 싱크 노드로 데이터를 전송하는 것이 아니라, 여러 센서 노드들을 거쳐 싱크 노드로 데이터를 전송한다. 이런 센서 네트워크의 구성 특성상 싱크 노드에 가까이 위치하는 노드들은 다른 노드에서 전송 받은 데이터 및 자신이 감지한 데이터를 전송해야 하기 때문에 많은 데이터 전송에 참여하게 된

다[1]. 그러므로 싱크 노드 주변의 센서 노드들은 기존의 경쟁 방식의 MAC 프로토콜(CSMA)을 사용할 경우 트래픽 부하 증가로 인하여 많은 충돌이 발생되어 지연의 증가 및 각 노드에서의 에너지 소모가 늘어나는 문제를 가진다. 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 이러한 문제점을 해결하고 싱크 노드에 인접한 센서 노드들의 효율적인 데이터 전송을 할 수 있도록 한다. 기존에 연구된 MAC 프로토콜은 크게 경쟁방식과 비경쟁 방식으로 나눌 수 있다 [2]. 대표적인 경쟁방식으로는 S-MAC [3]을 들 수 있다. S-MAC 은

고정적인 duty cycle을 가지는 방식으로써 송신노드가 RTS 신호를 전송함으로써 시작한다. 수신노드는 송신노드의 RTS 신호를 수신하고, 그에 대한 응답으로 CTS를 전송한다. CTS를 수신한 송신노드는 Sleep 하지 않고 데이터 패킷을 전송한다. 또한 대표적인 비경쟁 방식은 TDMA을 사용하는 방식이다. TDMA 전송 방식에서는 데이터 전송시 전송을 담당하는 클러스터 헤드가 슬롯을 할당하면 전송 노드는 할당 받은 슬롯에서만 데이터를 전송하는 방식이다. 이 방식은 미리 스케줄을 하여 슬롯을 할당하여 전송시 충돌이 발생하지 않는 장점이 있지만, 슬롯 할당 받은 노드들이 전송할 데이터가 없을 시 자원이 낭비되는 것과 소수의 노드에서 다량의 데이터를 전송하기 어렵다는 문제점을 가진다.

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 싱크 노드의 1 홉 내에 있는 노드들이 Sink 노드에서 전송된 스케줄에 따라 자신에게 할당된 슬롯 내에서 데이터를 전송함으로써 충돌을 줄임으로 지연을 줄이며, 각 노드에서의 에너지 소모를 줄일 수 있는 장점을 가진다.

II. 제안하는 MAC 프로토콜

무선 센서 네트워크에서 싱크 노드에 가까이 위치하는 노드일수록 전송할 데이터양이 많아져 이들 노드에서 효율적인 데이터 전송 방법을 사용하는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 싱크 노드는 다른 센서 노드들과 달리 충분한 에너지를 공급 받을 수 있다는 점을 이용한다. 즉, 에너지 사용에 덜 제한 받는 싱크 노드에서 각 센서 노드들에게 전송할 수 있는 전송 스케줄링을 담당한다. 따라서 이웃 노드들로부터 전송하려는 데이터에 대한 정보를 수집하여 각 센서 노드들에게 데이터를 전송할 수 있는 슬롯을 할당하여 지정된 슬롯에 데이터를 전송하게 하여 각 노드들 사이의 데이터 충돌을 줄인다.

그림1은 싱크 노드에서 1 홉 떨어진 곳에 위치하는 노드들이 싱크 노드에게 자신들이 데이터를 전송하려고 하는 것을 알리기 위해 전송 요청 신호인 RTS (Request-To-Send) 패킷을 보내면 이 패킷을 수신한 싱크 노드가 각 센서 노드들에게 스케줄 정보를 전달함으로써 데이터 전송을 하는 동작을 보여준다.

2.1 Bursty 데이터 전송 방법

싱크 노드에 인접한 센서 노드들은 앞서 설명한 바와 같이 전송할 많은 데이터 패킷을 가진다. 본 절에서는 이러한 환경에서 각 노드에서 효율적인 데이터 전송을 위해 버스트 데이터 전송 방법을 제안한다.

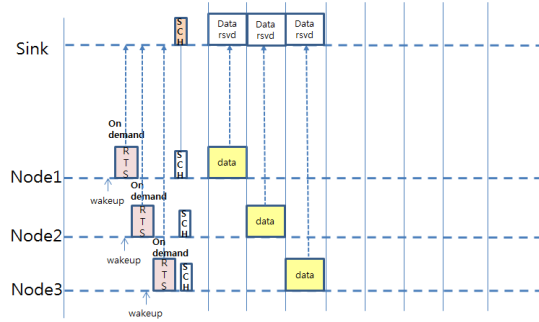


그림 1. 싱크 노드에서의 슬롯 할당

일반적인 TDMA 방식에서는 각 노드는 자신만이 데이터를 전송할 수 있는 한 개의 슬롯을 할당받아 데이터를 전송한다. 만약 여러 개의 데이터를 전송시키기 위해서는 다음 전송 사이클까지 기다려야 한다. 따라서 여 개의 데이터 패킷 전송을 완료하기 위해서는 많은 시간이 필요하게 된다. 그러나 물체 검출 및 야생 동물 모니터링과 같은 응용에서는 한꺼번에 많이 발생하는 데이터를 빠른 시간 내에 싱크 노드에게 전송함으로써 후속 조치를 취하게 하는 것이 중요하다. 이러한 목적을 위해 본 논문에서는 각 노드에서 전송하려는 데이터양에 따라 여러 개의 슬롯을 할당하여 버스티한 데이터 전송을 제한된 시간 내에 전송할 수 있도록 한다.

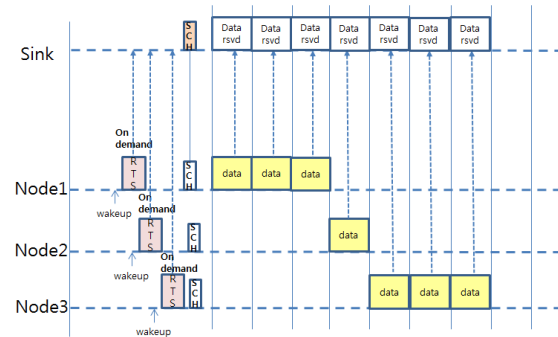


그림 2. 싱크노드에서의 멀티 슬롯 할당

그림 2는 싱크 노드에 인접한 1 홉 노드들에게 멀티 슬롯을 할당하는 절차를 보여준다. 그림에서 보듯이 노드 노드는 센서 노드들의 데이터 전송 요청하는 양에 따라 슬롯을 가변적으로 할당한다.

2.2 라운드 (round) 메커니즘

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 라운드 방식을 사용한다. 기존의 EVAM-MAC [4] 프로토콜의 라운드 방식을 변형하여 사용한다. 제안하는 라운드 메커니즘은 3개의 phase로 구분한다. R-phase, S-phase, 그리고 D-phase로 나눈다.

첫째 R-phase에서는 싱크 노드에 인접한 센서 노드들 중에 전송할 데이터가 있는 노드들이 RTS 패킷을 싱크 노드에 전송한다. 둘째, S-phase에서는 수신 받은 RTS 패킷 내 정보를 이용하여 전송할 데이터를 가지는 센서 노드들에게만 스케줄 정보를 통해 슬롯을 할당한다. 셋째, D-phase는 타임 슬롯으로 나누어져 있다. 이를 통해 싱크 노드는 송신 노드들로부터 데이터를 전송 받는다.

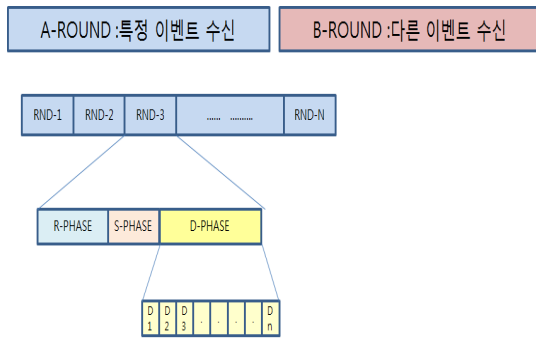


그림 3. 라운드 구성 및 동작

그림 3은 각 라운드가 3개의 phase로 동작하는 라운드 메커니즘을 보여준다.

2.3 제안된 프로토콜 동작 알고리즘

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜의 알고리즘은 다음과 같다.

- 1: Sender : Data Generation
- 2: Sender : Sense Carrier
- 3: Sender : if Phase==R_phase
{ transfer RTS }
- 4: SINK : if Phase==R_phase
{ received RTS }
- 5: SINK : if Phase==S_phase
{ transfer Schedule }
- 6: Sender : if Phase==D_phase
- 7: Sender : if S_time==null
{ transfer data packet }
- 8: SINK : if Phase==D_phase
{ received data packets }
- 9: END :

전송할 데이터가 있는 송신 노드는 채널이 사용 중인지 확인한다. 채널이 사용 중이 아니면 싱크 노드에 RTS 패킷을 전송한다. R-phase 구간에서 싱크 노드는 센서 노드들의 RTS 패킷을 수신한다. 이 정보를 이용하여 싱크 노드는 S-phase 구간에서 스케줄 정보를 센서 노드들에게 전송한다. D-phase 구간에서 스케줄 정보를 수신한 센

서 노드들은 자신이 할당받은 지정된 슬롯에서 데이터를 전송한다.

III. 성능 분석

본 장에서는 제안하는 MAC 프로토콜과 X-MAC[5] 프로토콜을 비교하였다. 본 논문에서 사용한 파라미터 값은 [4][5]을 사용하였다. 표1은 파라미터 값을 보여준다. 성능 분석을 위하여 다음과 같이 가정한다. 1개의 수신 노드와 10개의 송신 노드 환경에서의 1홉만을 고려한다. 데이터의 발생의 50 ~ 80%까지 증가 및 감소가 불규칙적으로 발생시켜 변화량을 측정한다.

표 1. 사용된 파라미터[4]

파라미터	값
RTS subround	200 ms
Schedule subround	22 ms
DATA subround	Variable
Data Payload	60 Bytes
Communication Bandwidth	19.2 kbs
RTS size	16 Byte
ACK size	5 Byte

그림 4는 전송하는 센서 노드 증가에 따른 에너지 소모를 나타낸다. 그림에서 보듯이 제안하는 MAC 프로토콜이 기존의 프로토콜에 비해 에너지 소모가 적음을 알 수 있다. 그림 5는 트래픽 증가에 따른 지연을 보여준다. 그림에서 보듯이 제안하는 MAC 프로토콜이 기존의 MAC 프로토콜에 비해 지연이 발생이 적음을 알 수 있다. 이는 제안하는 MAC 프로토콜은 데이터를 전송하려는 송신 노드들을 D-phase 구간에서 나누어 할당해 줌으로서 기존의 경쟁방식의 X-MAC 프로토콜에 비해 지연 없이 전송할 수 있다.

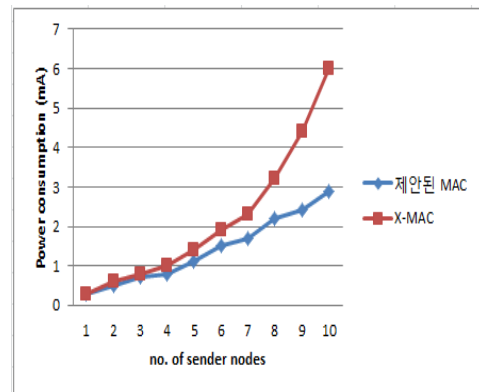


그림 4. 전송 노드 수에 따른 에너지 소모 비교

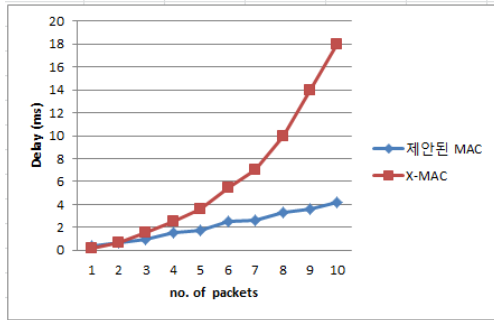


그림 5. 데이터 패킷에 따른 지연

IV. 결 론

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 싱크 노드에 인접한 센서 노드의 데이터 전송 환경을 고려하여 다중의 패킷을 효율적으로 전송 할 수 있는 MAC 프로토콜이다. 따라서 데이터 트래픽이 증가할수록 제안된 MAC 프로토콜은 더 효율적이다. 추후 멀티 홉 및 에너지 수확이 가능한 환경에서의 적용 방법에 대한 연구가 이루어질 예정이다.

참고문헌

- [1] G. Ahn et al., "Funneling-MAC: a localized, sink-oriented MAC for boosting delity in sensor networks," *Proc. ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems (SENSYS'06)*, pp. 293-306, Nov. 2006.
- [2] P. Huang, L. Xiao, S. Soltani, M. 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, 2012.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in *Proc. INFOCOM*, pp. 1567-1576, 2002.
- [4] Merhi, Zaher, et al., "EVAM-MAC: An Event Based Medium Access Control for Wireless sensor Networks with Multihop Support.": *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 10, Issue 4, No 2, July 2013.
- [5] 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.