

무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적 MAC 프로토콜

서창수^o, 고영배, 김재훈

아주대학교 정보통신전문대학원

changsu@dmc.ajou.ca.kr^o, {youngko, jaikim}@ajou.ac.kr

Energy Efficient MAC Protocol in Wireless Sensor Networks

ChangSu Suh^o, Young-Bae Ko, Jai-Hoon Kim

Graduate School of Information and Communication, Ajou University

요 약

최근 무선 통신 기술과 초소형화 기술의 진보로 지능형 센서(smart sensor)를 이용한 무선 센서 네트워크 구축이 가능해졌고, 이러한 센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅과 Ad-Hoc 네트워크에서 많이 연구되고 있는 새로운 분야이다. 각 센서 노드는 건전지를 통해 전원을 공급받기 때문에, 제한된 에너지를 어떻게 효율적으로 사용하느냐가 센서 네트워크에서의 중요한 이슈이다. 일반적으로 센서 네트워크에서 데이터 송수신에 참여하지 않는 노드는 일정 시간 sleep함으로써 에너지를 절약한다. sleep 기술과 관계된 기존의 논문(S-MAC [1])에서는 동기화 및 NAV 설정을 위해 컨트롤 패킷(SYNC, RTS, CTS)을 사용하고, 컨트롤 패킷 전송 시간만큼은 최소한 모든 노드들이 깨어서 컨트롤 패킷의 송수신을 확인해야 한다. 본 논문에서는 컨트롤 패킷 전송 시간 동안 불필요하게 모든 노드들이 깨어있는 문제를 해결하기 위해, 새로운 센서 MAC 프로토콜(ESMAC: Efficient Sensor MAC)을 제시한다. ESMAC에서는 컨트롤 패킷 전송 시간동안 꼭 필요한 노드들만 컨트롤 패킷을 송수신하고, 나머지 노드들은 sleep 함으로써, 모든 노드가 깨어있는 시간을 효율적으로 줄였다. 위와 같은 방법을 사용하여 ESMAC에서는 기존의 MAC(SMAC, TIPS [2]) 프로토콜들보다 컨트롤 패킷 전송 시간을 최대 62.8% 절약시켰다.

1. 서 론

최근 무선 통신 기능과 컴퓨팅 기능을 동시에 갖는 스마트 센서가 개발되었고, 이러한 센서들을 이용하여 구축되는 무선 센서 네트워크는 환경, 의료, 군대, 홈네트워크 등 여러 응용 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 센서 네트워크는 일반적으로 많은 수의 센서 노드로 구성되며, 각 노드는 멀리 떨어진 무선 통신을 하며, 건전지 전력을 기반으로 동작한다 [3].

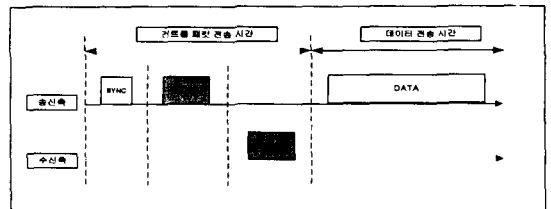
네트워크 계층 구조에서 가장 기본이 되는 계층은 MAC 계층이다. 유선 네트워크에서의 MAC 프로토콜들은 최대 전송량, 최소 지연, QoS 등에 초점이 맞추어지지만, 무선 센서 네트워크의 MAC에서는 얼마나 에너지 소모를 최소화 하느냐에 초점이 맞추어진다. 건전지를 기반으로 하는 노드에서 재충전을 하지 않는 이상, 노드의 에너지 고갈은 해당 노드의 기능 상실을 의미하기 때문에, 에너지 효율적인 MAC 프로토콜 설계는 센서 네트워크에서 가장 중요한 이슈이다. MAC 계층에서의 주요 에너지 소모 요소들은 다음과 같다 [1].

- Collision: 충돌에 의한 재전송은 에너지 소모 및 지연을 유발한다.
- Overhearing: 다른 노드에게 보낸 패킷을 받을 경우 불필요한 수신 에너지가 소모 된다.
- Control 패킷: 정교한 데이터 송수신을 위한 복잡한 컨트롤 패킷의 사용은 노드의 에너지를 낭비시킨다.
- Idle listening: 수신 데이터의 유무를 떠나, 계속해서 채널을 감시하는 것은 불필요한 에너지 소비를 의미한다.

MAC 계층에서의 주요 에너지 소모 요소 중, idle listening 문제가 가장 많은 에너지를 소모한다 [2]. 기존의 논문(SMAC, PAMAS[4])에서는 송수신에 참여하지 않는 노드들을 일정 시간 sleep 시킴으로써, 불필요하게 채널을 계속 감시하고 있는

idle listening 문제를 해결하였다. SMAC 이후, 센서 네트워크의 MAC 프로토콜 대부분은 sleep 모드를 이용한다. 일반적으로 SMAC과 802.11등, CSMA/CA를 이용하는 MAC에서는 동기화 및 NAV 설정을 위해 아래 3가지 컨트롤 패킷을 사용한다.

- SYNC: 동기화를 위한 Beacon 패킷.
- RTS : 데이터 전송에 앞서 송신자가 수신자에게 보내는 패킷, NAV(네트워크 할당 벡터)도 포함된다.
- CTS : RTS를 받은 수신자가 송신자에게 수신할 준비가 되었음을 알리는 패킷.



<그림 1 SMAC의 주기>

SMAC의 주기는 크게 컨트롤 패킷 전송시간과 데이터 전송 시간으로 나누어진다. 컨트롤 패킷 전송 시간 동안은 모든 노드들이 깨어서 컨트롤 패킷을 주고 받으며, 데이터 전송 시간에는 앞서 RTS, CTS를 교환한 노드를 제외하고 모두 sleep 함으로써 에너지 낭비를 최소화한다. 그림 1과 같은 주기는 센서 네트워크의 SMAC뿐만 아니라, 무선 랜의 802.11 에너지 절약 모드(power saving mode)에서도 유사하다. 위와 같은 주기를 갖는 기술들의 문제점은, 최소한 컨트롤 패킷 전송 시간만큼은 모두 노드들이 깨어서 컨트롤 패킷의 전송을 확인해야 한다는 것이다. 하지만 자기와 관련 없는 컨트롤 패킷을 듣기 위해 컨트롤 패킷 전송 시간 동안 계속해서 깨어있는 것

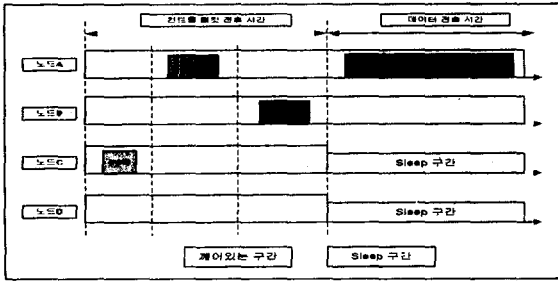
은 불필요한 에너지 낭비를 야기 시킨다. 본 논문에서는 꼭 필요한 노드들만 컨트롤 패킷 전송에 참여하고 나머지 노드들은 먼저 sleep 시킴으로써, 컨트롤 패킷 전송시간 동안의 불필요한 에너지 낭비 문제를 해결하였다.

2. 관련 연구

센서 네트워크의 MAC 디자인에서 가장 중요한 이슈는 에너지의 효율적 사용이다. 불필요한 에너지 낭비를 줄 수 있는 한 줄임으로써, 각 노드의 라이프 타임(life time)을 증가 시켜야 한다. 에너지의 효율성을 고려한 기존의 MAC 프로토콜들에 대해 살펴보자.

2.1 SMAC

앞에서 설명했듯이, SMAC에서는 sleep기술을 이용하여, 불필요한 에너지 낭비를 줄인다. 만약 아래 그림에서 4개의 노드 중 노드A가 노드B에게 데이터를 전송한다고 가정했을 때, SMAC에서의 노드들의 상태는 다음과 같다.

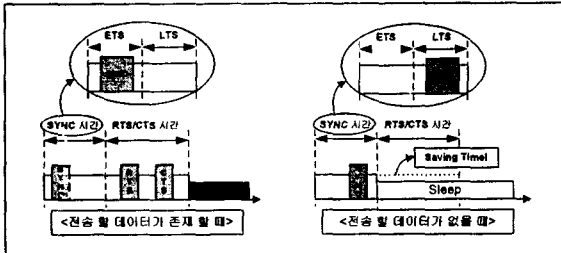


<그림 2 SMAC>

노드들의 주기를 맞추기 위해 전송되는 SYNC 패킷은 아무 노드나 전송이 가능하다. 노드A가 노드B에게 데이터를 전송하기 위해 먼저 RTS 패킷을 보내고, RTS 패킷을 받은 노드B는 전송을 허락하는 의미에서 노드 A에게 CTS를 보낸다. CTS 전송을 끝으로, 전송에 참여하는 노드 A, B를 제외한 나머지 노드는 sleep 함으로써 에너지를 절약한다.

2.2 TIPS

TIPS(Traffic Indication-based Power Saving)는 802.11의 에너지 절약 모드에서 불필요한 컨트롤 패킷 전송 시간을 줄이기 위해 제안된 기술이다 [2]. TIPS에서는 만약 모든 노드들이 전송할 데이터가 없을 경우, RTS, CTS 패킷 전송이 필요 없으므로, 그 시간만큼 좀 더 빨리 sleep 하자는 방법이다. 이와 같은 방법을 구현하기 위해, SYNC 패킷의 전송 시간을 둘로 나눈다 (ETS, LTS). 전송할 패킷이 존재하면 송신할 노드에서 ETS 시간에 SYNC를 전송하고, 전송할 패킷이 존재하지 않으면, ETS 시간 후에 아무 노드에서나 SYNC를 전송한다.



<그림 3 TIPS>

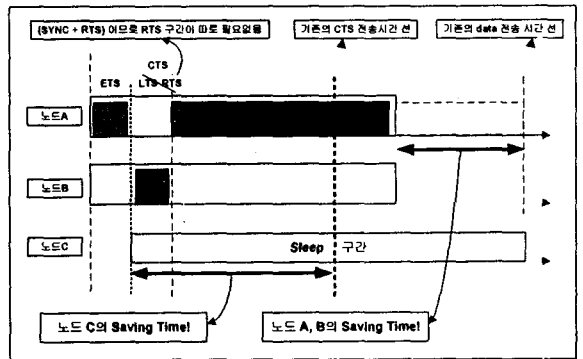
그림 3에서 알 수 있듯이, 어떤 노드에서 전송 할 데이터가 존재 한다면, ETS시간 때 SYNC가 전송되어, 잠시 후에 데이터 교환이 일어난다는 것을 알 수 있다. 전송할 데이터가 없

는 반대의 경우, LTS 시간 때 SYNC 패킷이 전송되므로 현재 주기에서는 데이터 교환이 없을 것임을 알 수 있다. 만약 전송 할 데이터가 전혀 존재 하지 않는다면, RTS/CTS 패킷 전송은 일어나지 않을 것이므로, 그 시간만큼 더 일찍 sleep 하여, 그 만큼의 에너지를 절약한다. TIPS에서는 이와 같은 기술을 사용하여 컨트롤 패킷 전송시간 동안 불필요하게 깨어서 발생하는 에너지 낭비 문제를 어느 정도 해결하였다.

3. 제안 프로토콜

앞에서 얘기했듯이, SMAC의 문제점은 컨트롤 패킷 전송 시간동안은 모든 노드가 깨어있어야 한다는 점이다. 이 문제는 TIPS를 통해 어느 정도 해결된 것 같지만, 사실상 완벽하게 해결된 것은 아니다. TIPS를 이용한 MAC에서는 전송 할 데이터가 없을 경우에만, 그림 3과 같은 절약시간(saving time)을 갖는다. 하지만 하나의 노드에서라도 전송 할 데이터가 존재 한다면, SMAC과 비교하여 전혀 다른점이 없다. 본 논문에서는 이와 같은 단점을 극복하기 위한 새로운 MAC 프로토콜 (ESMAC)을 제안한다.

- SYNC 패킷 시간을 둘로 나누어, 현재 주기에서 전송될 데이터의 존재 유무를 구별한다 (TIPS의 기술).
- 만약 데이터가 존재 한다면, 데이터를 보낼 노드가 ETS 시간 때 SYNC를 전송 할 것이고, 이 노드는 분명 잠시 후에 RTS 전송할 것이다. 이 사실에 근거하여, ESMAC에서는 SYNC 패킷과 RTS 패킷을 하나로 합친다 (SYNC+RTS).
- ETS 구간 때, SYNC+RTS 패킷을 받게 된다면, 현 주기에서는 분명 보낼 데이터가 존재한다는 것을 알 수 있다. 또한, SYNC 패킷안에 RTS 패킷이 포함되어 있기 때문에, 데이터 송수신에 참여하는 두 노드가 누구인지를 SYNC+RTS 패킷을 받은 모든 노드에서 알 수 있다.
- 이를 통해, 자신이 데이터 송수신에 참여하는 노드이면 바로 CTS 패킷을 전송하고, 그렇지 않다면, 바로 sleep 함으로써 나머지 컨트롤 패킷 전송시간을 절약할 수 있다.



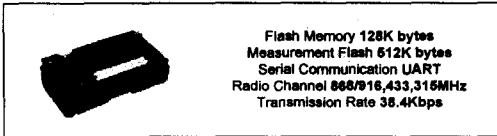
<그림 4 ESMAC>

그림4는, 노드A가 노드B에게 데이터를 보낼 경우, ESMAC에서의 각 노드들 상태를 나타낸다. 그림에서 보듯이, SYNC 패킷에 RTS 패킷이 포함되므로 데이터 송수신에 참가하지 않는 노드C는 SYNC+RTS 패킷을 받는 순간 자신이 이번 주기 동안 깨어 있을 필요가 없음을 알고 바로 sleep 한다. 또한, SYNC 패킷에 RTS 패킷이 합쳐져 있기 때문에, 따로 RTS 패킷을 보낼 필요가 없어진다. 즉, 데이터의 송수신에 참가하는 노드A, B는 기존의 프로토콜들보다 RTS, LTS 시간만큼 더 빨리 data를 전송하므로, 그 만큼의 시간이 절약된다. ESMAC에

서는 한 주기에서 전송될 데이터가 없다면 TIPS와 같은 성능을 보이지만, 만약 전송할 데이터가 존재한다면 TIPS보다 훨씬 효율적으로 동작하여, 불필요한 에너지 소모를 방지한다.

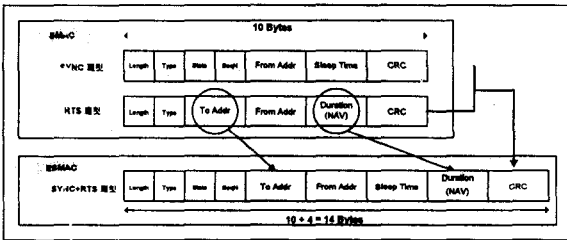
4. 성능 분석

본 논문에서는 제안 프로토콜의 성능평가를 위해 UC Berkeley[6]에서 만든 센서 노드 Mica Mote[6]를 이용하여 ESMAC을 구현하였다. Mote는 TinyOs[5]라는 임베디드 운영체제를 사용하기 때문에, 저자는 TinyOs의 커널을 수정하여 ESMAC 기반의 통신 모듈을 Mote에 구현하였다.



<그림 5 센서 노드 Mote>

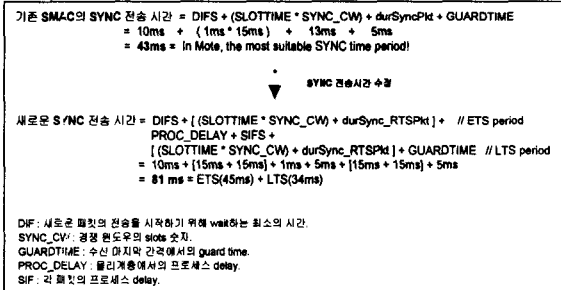
현재 TinyOs에 구현된 SMAC 소스의 분석결과, SMAC의 컨트롤 패킷은 다음과 같은 포맷을 갖으며, 이를 수정한 ESMAC의 컨트롤 패킷은 아래 그림과 같다.



<그림 6 SMAC과 ESMAC의 컨트롤 패킷>

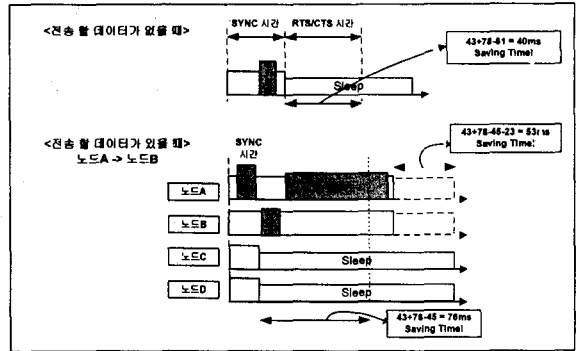
기존 SMAC의 컨트롤 패킷 크기는 10 Bytes 이고, ESMAC에 사용하기 위한 SYNC+RTS 패킷은 기존의 SYNC 패킷 10 Bytes에 4Bytes만 추가함으로써 가능하다.

ESMAC에서는 SYNC 시간이 두개로 나누어지고(ETS, LTS), SYNC 패킷이 4 Bytes 정도 증가하기 때문에, 기존의 SMAC에서 사용되는 컨트롤 패킷 전송 시간과 비교하여 약간의 수정이 필요하다.



<그림 7 SYNC 패킷 전송시간 수정>

새로운 SYNC+RTS 전송시간은 기존의 SYNC 시간보다 38ms 정도 늘어났지만, 전체 컨트롤 전송 시간을 비교했을 때, ESMAC은 다음과 같은 절약 시간을 보인다.



<그림 8 ESMAC의 절약시간>

그림 8의 정보를 통해 표1에서 SMAC, TIPS, ESMAC의 컨트롤 패킷 전송시간을 비교하였다.

	SMAC	TIPS	ESMAC
전송 할 데이터가 없을 때	121	81	81
전송 할 데이터가 존재 (A, B)	121	121	68
전송 할 데이터가 존재 (C, D)	121	121	45

<표1 SMAC, TIPS, ESMAC의 컨트롤 패킷 전송시간을 비교>

위 표1을 통해, SMAC과 TIPS에 비해 컨트롤 패킷 전송 시간이 최고 62.8%(121ms:45ms) 정도 절약됨을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 TIPS의 기술과 SYNC+RTS 패킷을 통해, 컨트롤 패킷 전송 시간 동안, 노드들의 불필요한 에너지 소모 문제를 해결하였다. SMAC과 TIPS에 비교하여, 본 논문의 ESMAC의 컨트롤 패킷 전송 시간이 최고 62.8% 정도 절약됨을 보였다. ESMAC에 의해 절약되는 시간만큼, 노드에서의 에너지가 절약되기 때문에, 이는 ESMAC가 기존 센서 MAC 프로토콜보다 더 에너지 효율적 MAC 프로토콜임을 알 수 있다. 본 논문에서는 절약 시간을 통해 ESMAC의 성능을 증명하였으나, 향후 연구에서는 실제 Mote에 구현된 ESMAC의 에너지를 측정하여, 실제적이고 정교한 ESMAC의 성능을 분석할 것이다.

[참고 문헌]

- W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," *INFOCOM 2002*, volume 3, pages 1567~1576, June 2002.
- J.-M. Choi, Y.-B. Ko, and J.-H. Kim, "Enhanced Power Saving Scheme for IEEE 802.11 DCF based Wireless Networks," *PWC 2003*.
- I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci "Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Aug. 2002.
- S. Singh and C.S. Raghavendra, "PAMAS: Power aware multi-access protocol with signalling for ad hoc networks," *ACM Computer Communication Review*, vol. 28, no. 3, pp. 5-26, July 1998.
- <http://webs.cs.berkeley.edu/tos/>
- <http://www.xbow.com/>