

S-MAC에서 효율적인 데이터 전달 방안 프로토콜

김상수^o 차우석 조기환

전북대학교 컴퓨터정보학과

{sskim^o, wscha, ghcho}@dcs.chonbuk.ac.kr

An Efficient Data Transmission Method for S-MAC

Sangsoo Kim,^o Woosuck Cha, Gihwan Cho

Dept. of Computer Information, Chonbuk National University

요 약

S-MAC은 IEEE 802.11과 같이 경쟁 기반 MAC 프로토콜로써 무선 센서 네트워크에서 전력 소비를 줄이기 위해 제안된 프로토콜이다. 이 프로토콜은 idle listening으로 인한 전력 소모를 줄이기 위해 주기적으로 listen/sleep 상태를 반복하고 sleep 기간 동안 전력 소비를 절약하는 기법을 이용한다. 그러나, S-MAC은 데이터가 발생한 소스 노드에서 목적지 노드까지 데이터가 전달될 때 sleep 모드에 의해 데이터 전달 지연이 발생한다. 본 논문에서는 데이터 전달시 sleep 모드에 의해 발생하는 데이터 전달 지연을 줄이기 위해 데이터 전달과 연관된 sleep 기간 중 어느 일정 기간을 데이터 송수신이 가능한 pseudo-listen 기간으로 전환하여 실시간 개념의 데이터 전달을 제공하는 프로토콜을 제안한다.

1. 서 론

기존 유선 네트워크처럼 무선 센서 네트워크에서도 링 계층에서 MAC 프로토콜을 사용한다. 유선 네트워크에서 MAC 프로토콜의 주요 연구 분야는 충돌 문제, 최대 전송량, 최소 지연, QoS등이다. 그러나 무선 센서 네트워크에서는 센서 노드들이 얼마나 에너지 소비를 최소화 하느냐에 초점이 맞추어진다.

에너지 효율성 관점에서 설계된 S-MAC[1]은 주기적인 listen/sleep 모드를 통해 전력 소모를 최소화하고 있다. 하지만 센싱에 의해 생성된 데이터를 목적지 노드까지 전달하는 과정에서 전달 경로에 포함된 각 노드들에서 주기적으로 반복되는 sleep 모드로 인해 각 노드에서 데이터 전달 지연이 발생한다.

따라서 본 논문에서는 S-MAC에서 발생할 수 있는 데이터 전달 지연 문제를 해결하기 위해서, 노드에서 주기적으로 반복되는 sleep 모드중에서 데이터 전달과 연관된 sleep 모드의 sleep 시간 중 어느 일정 시간을 제어 및 데이터 패킷의 송수신이 가능한 pseudo-listen 모드로 전환하여 sleep 모드로 인해 발생하는 데이터 전달 지연을 감소시키는 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 센서 네트워크에서 에너지 소비 요인과 기존의 S-MAC에 대해서 설명하고, 3장에서는 데이터 전달시 현 S-MAC의 전달 방법과 제안하는 pseudo-listen 모드에 의한 동작 방법에 대해서 기술하고, 4장에서 결론을 맺고 있다.

2. 관련 연구

1) 본 연구는 대학 IT 연구센터 육성지원사업의 연구결과로 일부 수행되었음

일반 무선 네트워크와 달리 많은 수의 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크에서 각 센서 노드들은 배터리를 기반으로 동작하고 센서 노드들의 생명 주기(lifetime)를 연장하는 것이 가장 큰 쟁점 사항이다. 따라서 무선 센서 네트워크에서 좋은 MAC 프로토콜 설계를 위해 가장 먼저 고려되는 사항이 에너지 효율성이다.

다음은 무선 센서 네트워크의 MAC 계층에서 에너지 낭비의 주요 발생 요인들이다.

- 충돌 : 전송된 데이터가 충돌이 발생했을 경우, 데이터는 손상되고 그에 따른 재전송이 발생한다. 이 때 발생한 재전송은 에너지 소모 및 지연을 유발한다.
- overhearing : 다른 노드에게 보낸 노드를 수신한 경우, 불필요한 수신으로 에너지 소모가 발생한다.
- 컨트롤 패킷 오버헤드 : 데이터 송수신을 위한 컨트롤 패킷의 사용은 노드의 에너지를 낭비한다.
- 충돌 : 전송된 데이터가 충돌이 발생했을 경우, 데이터는 손상되고 그에 따른 재전송이 발생한다. 이 때 발생한 재전송은 에너지 소모 및 지연을 유발한다.
- idle listening : 수신되는 데이터가 없음에도 불구하고, 데이터 수신을 위해 지속적으로 채널을 감시하는 것은 불필요한 에너지 낭비를 유발한다.

위에 기술된 에너지 낭비 요인중에서, Stemm and Kantz의 측정 결과에 의하면, idle:receive:send시 에너지 소비 비율이 1:1.05:1.4라고 기술하고 있다[2]. 이 중에서 S-MAC은 주기적으로 listen/sleep 상태를 반복함으로써 idle listening에 의한 에너지 소모를 줄이고자 제안된 MAC 프로토콜이다.

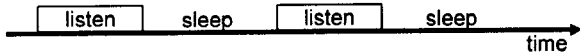
S-MAC(Sensor-MAC)

S-MAC은 IEEE 802.11[3]과 같이 경쟁 기반 MAC 프로토

콜로 노드마다 채널 접근 기회와 접근 시간에 대한 공정성 및 지연보다는 에너지 보존과 기반 구조 없이 자기 스스로 네트워크를 구성할 수 있는 특징을 가진다. 기본 개념은 PAMAS[4]로부터 파생되었지만, 제어 메시지와 데이터 메시지를 위해 2개의 채널을 사용하는 PAMAS와는 다르게 S-MAC은 오직 하나의 채널을 사용한다. 또한, 이웃하는 노드들은 sleep 스케줄을 기반으로 자동 동기화를 위해 가상 클러스터를 형성한다. 그리고 데이터 전달을 위해 저장과 포워딩 처리(store-and-forward processing)을 요구하는 네트워크 응용을 위해서 경쟁으로 인한 지연을 감소시키기 위해 메시지 패싱(message passing)을 지원한다.

S-MAC은 무선 네트워크의 링크 계층에서 문제되는 허든 터미널 문제를 해결하기 위해서 IEEE 802.11처럼 RTS/CTS 컨트롤 패킷을 사용한다. IEEE 802.11에서는 전송할 데이터가 있는 노드의 경우 데이터 전송 전에 이웃 노드에게 RTS 패킷을 보내고, 목적지에 해당하는 노드는 RTS 패킷에 대한 응답으로 CTS 패킷을 보낸다. 이때 RTS 및 CTS 패킷을 보낸 노드의 주변 노드들은 데이터 전송이 발생하는 동안 대기 상태를 유지한다.

이처럼 S-MAC은 IEEE 802.11처럼 RTS/CTS 패킷을 사용하지만 IEEE 802.11과는 다르게 에너지 보존을 위해 주기적으로 sleep 상태를 가지며, sleep 모드 동안 노드들은 전원을 끄고, 나중에 자신이 깨어날 수 있도록 타이머를 작동한다.



[그림 1] S-MAC의 기본 특징

listen 기간 동안은 주변 노드들과 통신할 수 있는 active 상태이며, sleep 기간 동안은 전원을 끈 상태이므로 어떠한 메시지도 송수신할 수 없는 inactive 상태이다. 이런 sleep 모드를 통해서 S-MAC은 에너지 낭비를 줄일 수 있으며, 네트워크의 생명 주기(lifetime)를 연장한다.

모든 이웃하는 노드들은 동시에 sleep 상태를 유지하고, 동시에 listen 상태를 유지한다. 이와 같은 이웃 노드간 동시 listen/sleep 모드가 가능하는 것은 모든 인접 노드들이 자신들의 스케줄 정보를 브로드캐스팅을 통해 교환함으로써 가능하다. 이웃 노드간 스케줄 정보는 SYNC 패킷에 의해 이루어지며, 주기적으로 교환되는 SYNC 패킷의 sleep time 필드에 의해 이웃 노드간 동기화가 이루어진다.

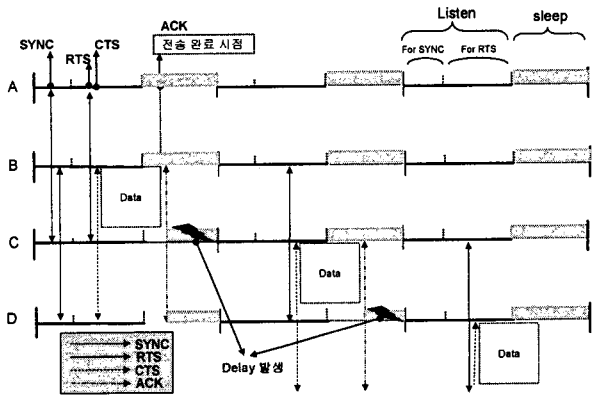
3. 제안 프로토콜

본 장에서는 센서에 의해 센싱된 데이터가 발생하여 발생한 데이터를 목적지 노드까지 전달되는 과정에서 현재 S-MAC에서 데이터 전달 방식과 그에 따르는 문제점을 지적하고, 문제점을 개선한 효율적인 데이터 전달 방안을 중심으로 S-MAC의 동작 방식을 설명한다.

3.1 S-MAC에서 데이터 전달 방식

S-MAC은 에너지 보존을 위해 각 노드가 주기적으로

listen/sleep을 반복하며, listen 영역은 다시 동기화를 위한 SYNC 패킷 영역과 데이터 전송을 위한 RTS 패킷 영역으로 구분된다. sleep 기간은 기본적으로 전원을 끈 상태이므로 sleep 상태에서는 데이터를 송수신할 수 없다. 다음 [그림 2]은 각 이웃 노드들이 동기화되어 있다는 전제하에 노드 B에서 발생한 데이터를 노드 C, D를 경유하여 목적지 노드에게 데이터를 전달하는 과정을 기술하고 있다. 데이터를 전송하는 기본 처리 과정은 IEEE 802.11과 유사하다.



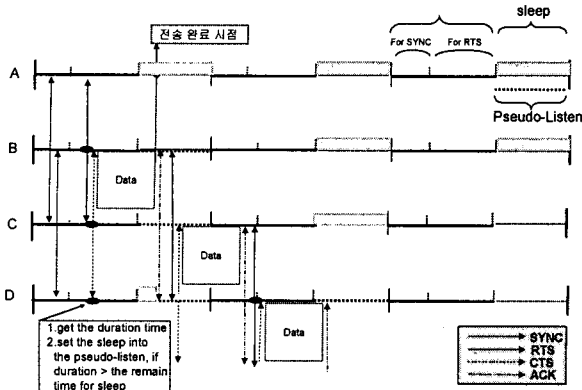
[그림 2] S-MAC에서의 데이터 전달

노드 B에서 전송할 데이터가 발생했을 경우 노드 B는 데이터 전송을 위해 이웃 노드간 통신을 위해 RTS/CTS의 컨트롤 패킷을 주고 받는다. CTS를 수신한 노드 B는 데이터를 C에게 전송한다. 이 때 노드 B로부터 데이터를 수신 완료한 노드 C는 주기적인 sleep 모드에 의해 바로 데이터를 노드 D에게 전달할 수가 없다. 일정 시간의 sleep 시간이 경과한 후, listen 모드로 전환되었을 때 노드 D로의 데이터 전송이 가능하다. 이런 전송 지연은 또한 노드 D에서 다른 이웃 노드로의 데이터 전송시 발생할 수 있다. 만일, 데이터가 발생한 소스 노드로부터 목적지 노드까지 홉 수가 많으면 많을 수록 sleep 모드에 의해 발생하는 지연은 홉 수에 비례하여 증가한다. 따라서 실시간 데이터 전송을 요구하는 센서 네트워크에서 S-MAC 프로토콜은 부적합하다.

3.2 효율적인 데이터 전달 방안

전력 소모를 줄이기 위해 주기적으로 sleep 상태를 유지하는 S-MAC은 에너지 소모에서는 효율적이거나 송신 노에서 수신 노드까지 데이터를 전달할 때 많은 지연이 발생한다. 따라서 본 절에서 제안하는 프로토콜은 기존 S-MAC보다는 에너지 소모를 더 요구할 수 있지만 데이터 전달시에는 더 효율적이다.

제안하는 프로토콜의 기본 개념은 이웃 노드와의 동기화를 유지하면서 데이터를 송수신하는 노드에서 데이터 송수신과 연관된 sleep 모드를 pseudo-listen 상태로 전환함으로써 listen 모드처럼 데이터의 송수신이 가능하다. 아래 [그림 3]은 기존 S-MAC 프로토콜의 동작 방식에 pseudo-listen 모드를 적용함으로써 데이터 전달 지연 없이 효율적으로 데이터 전달이 진행됨을 보여준다.



[그림 3] 효율적인 데이터 전달을 위한 S-MAC

먼저, 각 이웃하는 노드들은 SYNC 패킷에 의해 동기화가 되어 있다고 가정한다.

노드 B에서 센싱에 의해 데이터가 발생했을 경우, 노드 B는 이웃 노드에게 RTS 컨트롤 패킷을 송신한다. 이때 노드 B는 RTS 패킷의 duration 필드 값에 의해서 데이터 전송을 완료하는데 소요되는 시간을 알 수 있다. 노드 B는 RTS 패킷이 전송되는 시점을 기준으로 자신의 sleep time과 duration 필드값에 의해서 sleep 기간 중 어느 시간 만큼 pseudo-listen 모드로 유지해야 할 지 계산할 수 있다. 노드 B는 노드 C로의 데이터 전송 완료 후, 그에 대한 응답으로 ACK 메시지를 수신한다. ACK 메시지를 수신한 노드 B는 계산된 pseudo-listen 값을 기준으로 바로 sleep 상태를 pseudo-listen 상태로 전환하여 메시지 수신이 가능하도록 한다.

한편 B로부터 RTS 패킷을 수신한 노드 C는 이에 대한 응답으로 CTS 패킷을 생성하여 전송한다. 이 때 노드 C도 CTS 패킷을 생성하는 시점을 기준으로 노드 B처럼 pseudo-listen 시간을 계산하여 해당 sleep 모드를 pseudo-listen 모드로 전환하여, B로부터 수신된 데이터를 sleep 모드에 의한 지연없이 바로 노드 D에게 데이터를 전달한다.

노드 C로부터 CTS 패킷을 수신한 노드 D는 CTS 패킷을 수신한 시점을 기준으로 pseudo-listen 시간을 계산한다. 노드 D는 노드 B로부터 노드 C로의 데이터 전송이 발생하는 동안 sleep 모드를 유지하다가, 계산된 pseudo-listen 값에 의해서 sleep 모드에서 pseudo-listen 모드로 전환한다. pseudo-listen 모드로 전환된 노드 C는 노드 D로의 데이터 전달을 위해 RTS/CTS 패킷을 송수신함으로써 sleep에 의한 지연없이 데이터 전달이 가능하다.

또한, 노드 C로부터 데이터 수신을 완료한 노드 D는 이에 대한 응답으로 ACK 패킷을 송신하고, 바로 데이터 전달을 위해 RTS 패킷을 송신한다. 이 때 노드 D는 RTS 패킷의 duration 필드 값과 sleep time을 기준으로 sleep 모드를 pseudo-listen 모드로 전환해야 할 지 말아야 할 지를 결정하고, 노드 B에서 C로 데이터를 전달하는 방식으로 목적지 노드로 데이터를 전달한다.

이와 같이 pseudo-listen 모드를 이용하여 데이터를

전달함으로써 각 이웃 노드간의 동기화에는 영향을 끼치지 않으며, sleep 모드로 인해 발생하는 데이터의 전달 지연을 최소화할 수 있다.

기존 S-MAC의 경우 데이터가 발생한 소스 노드로부터 목적지 노드까지 데이터를 전달 하고자할 때, 전달 경로에 포함된 각 노드들의 sleep 모드에 의해 지연이 발생하였다. 하지만 제안된 프로토콜에서는 데이터 전송과 관련된 sleep 모드 중에서 어느 일정 부분을 listen 모드 처럼 데이터 송수신이 가능한 pseudo-listen 모드로 전환하여, sleep 모드에 의해 발생하는 데이터 전달 지연없이 데이터 전달이 가능하다. 특히 센싱 데이터가 발생한 소스 노드와 목적지 노드간 데이터 전달을 위한 노드들의 수가 많은 경우에는 제안하는 프로토콜이 데이터 전달 측면에서는 더 효율적이다.

4. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 경쟁 기반에서 에너지 소모를 최소화하기 위해 설계된 S-MAC에서 소스 노드로부터 목적지 노드까지 데이터 전달시 sleep 모드에 의해 발생하는 데이터 전달 지연을 줄이기 위해서 기존 sleep 기간 중 일정 기간을 pseudo-listen기간으로 전환함으로써 데이터 전달의 효율성을 고려하였다.

향후 연구에서는 다양한 수의 센서 노드로 센서 네트워크를 구성한 후 기존 S-MAC과 제안한 프로토콜간의 에너지 효율성대비 소스 노드로부터 목적지 노드로의 데이터 전달 시간을 분석, 평가할 것이다.

5. 참고 문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, Volume: 12, Issue: 3, Pages: 493 - 506, June 2004.
- [2] M. Stemm and R. Kantz, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in hand-held devices," IEICE Transactions on Communications, vol. E80-B, no. 8, pp.1125-1131, Aug. 1997.
- [3] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specification, IEEE, New York, NY, USA, IEEE Std 802.11-1997 edition, 1997. no. 8, pp.1125-1131, Aug. 1997.
- [4] A. S. Tanenbaum, "Computer Networks," 2nd Ed., Prentice Hall PTR, 1996, pp. 262 - 265.
- [5] S. Singh and C.S. Raghavendra, "PAMAS: Power aware multi-access protocol with signaling for ad hoc networks," ACM Computer Communication Review, vol. 28, no. 3, pp. 5-26, July 1998.