에너지 효율적인 계층적 센서 네트워크의 MAC 프로토콜

손진희, 이형근
광운대학교 컴퓨터 공학과
{sabihanl, hklee}@kw.ac.kr

An Energy-efficient MAC protocol for Hierarchical Sensor Network

Jinhee Son, Hyungkeun Lee
Dept. of Computer Engineering, Kwangwoon University

요 약

무선 센서 네트워크에서는 에너지 소모를 최소화 하는 것이 매우 중요한 연구 과제이며, 많은 연구들을 통하여 효율적인 방법들이 제안 되었고, 이 방법들은 대부분 단일 계층 상에서의 최적화에 초점이 맞춰져 있었다. 본 논문에서는 네트워크 계층의 정보를 이용하는 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 여기서 제안하는 프로토콜은 MAC 계층의 송/수신 단의 비활성화 상태를 최대화 하고 제어 패킷의 수를 최소화 하는 방법으로 클러스터 기반의 경로 탐색 기법을 이용한다.

1. 서 론

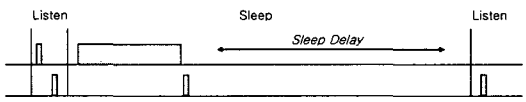
무선 센서 네트워크는 제한된 배터리와 싼 가격의 짧은 거리의 라디오 통신을 하는 몇 개의 장비로 이루어진다. 센서 네트워크는 제한된 배터리 파워와 높은 에러율 때문에 효율적인 MAC 프로토콜이 필요 하다. 특히 에너지 소모를 최소화 하는 것은 센서 네트워크 시스템의 수명과 직접적으로 연결 되므로, 대부분의 센서 MAC 프로토콜에서 중요시 하는 목표 이다.

최근에 에너지 효율적인 센서 네트워크에서의 MAC프로토콜에 대한 연구가 활발하게 진행 되고 있다[1][2][3]. 이 연구들은 일반적으로 통신에 참여 하지 않는 단말 들의 송/수신 장비의 전력을 차단하여 에너지 소모를 최소화 하여 센서 네트워크의 지속시간을 높이는 방법에 대한 연구이다. 이 연구들은 다른 계층과의 상호 협력 없이 MAC 계층 내에서 어떻게 에너지 효율을 높일 것인가에 대한 연구 이다. 본 논문 에서는 계층적인 라우팅(routing) 알고리즘[4]에 기반한 센서 네트워크에서 MAC 계층에서 네트워크 계층의 라우팅 정보를 이용하여 데이터의 전달 경로를 예상하고 이를 바탕으로 추가적인 제어 패킷 없이 데이터를 한번의 채널 획득에 두 번의 데이터를 전달하는 방법으로 에너지 효율과 데이터 전송률을 높이는 Cross-layer 접근법을 이용한 MAC 디자인을 제안한다.

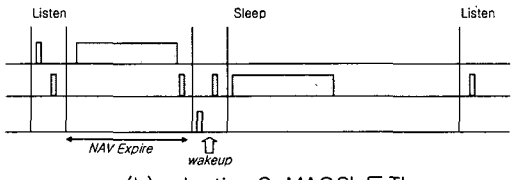
본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존의 단일 계층에서의 MAC과 그 동작을 소개한다. 3장에서는 제안 하고자 하는 MAC과 그 동작을 소개한다. 4장에서는 실험을 통하여 제안한 방식의 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 내고 본 논문의 끝을 맺는다.

2. 관련 연구

그림 1(a). 는 기존의 S-MAC의 동작을 나타내는데 데이터를 전송하는 방법으로 Listen 기간 동안 데이터를 전달할 노드와 수신할 노드가 제어프레임인 RTS/CTS를 한번씩 주고 받은 후 데이터를 전달 하게 되고 통신에 참여 하지 않는 노드 들은 sleep모드에 들어가게 된다[1]. 이 방법은 에너지 효율은 증가 하는 반면 통신 지연시간이 증가 한다. 그림 1(b). 는 S-MAC의 높은 지연시간을 줄이고자 NAV 타이머가 만료 되면 모든 노드 들이 일어나서 다시 제어 프레임을 교환하고 데이터를 전송하는 adaptive S-MAC을 보여준다[2]. 이 방법은 지연시간은 줄어 드는 반면 모든 노드 들이 sleep 모드에서 NAV 타이머를 체크하여 강제적으로 일어나야 하는 문제점이 있다.



(a) S-MAC 의 동작



(b) adaptive S-MAC의 동작

그림 1. 기본적인 MAC의 데이터 전송 과정

다음의 그림 2. 에서 만약 MAC 프로토콜이 라우팅 경로를 알게 된다면, 노드 A~G만 통신에 참여 하고 나머지 노드들은 자신이 통신과 상관없는 노드라는 것을 알 수 있으므로 NAV타이머가 만료 되더라도 계속 sleep 상태에 있게 되어 에너지 효율은 adaptive S-MAC보다 증가하고, 데이터의 전송률은 S-MAC보다 증가 하게 될 것 이다. 이를 위하여 본 논문에서는 크로스 레이어 개념을 적용하여 라우팅 정보를 얻어오게 된다. 본 논문에서 제안하는 내용은 TopDisc[4]나 SOHAN[5]등의 계층적인 라우팅 프로토콜의 경우에 적용 할 수 있다.

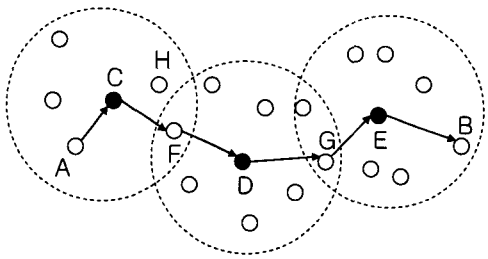


그림 2. 계층적인 센서 네트워크 구조

3. 계층적 구조의 센서네트워크 MAC 프로토콜 (HS-MAC : Hierarchical Sensor - MAC protocol)

HS-MAC의 목표는 S-MAC에서의 높은 전송 지연을 줄이고 에너지 효율을 증가 시키는 것이다. MAC 계층 에서 라우팅 경로를 미리 알고 있다면, 클러스터 헤드에 의하여 클러스터 내에서 보다 효율 적인 데이터 전송이 가능하다. 본 연구는 라우팅 방법으로 TopDisc[4]라는 알고리즘을 적용 하였고, 클러스터 내의 노드들은 클러스터 헤드와 단일 홉(hop) 통신을 하고, 클러스터 헤드간의 통신에서는 포워딩 노드를 이용하여 데이터를 전달한다고 가정 하였다.

본 연구는 노드의 상태와 데이터의 전송과정을 다음과 같이 분류 한다.

노드 상태

- Cluster Head(CH) : 클러스터를 관리 하는 노드로서 다른 노드 들로부터 정보를 취합하여 싱크 노드로 데이터를 전달하는 노드 (그림 2의 C, D, E 노드)
- Forwarding Node(FN) : 클러스터 헤드 노드 사이에서 데이터를 전달해주는 역할을 하는 노드 (그림 2의 F, G 노드)
- Sensor Node(SN) : 일반적인 센서 노드들로서 데이터를 해당 클러스터 헤더로 보내는 노드 (그림 2의 A, B,H 노드)

기본 데이터 전송과정

- SN-CH-FN : 센서 노드 에서 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고 이를 클러스터 헤드가 다시 포워딩 노드로 전송함
- FN-CH-FN : 포워딩 노드가 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고 이를 클러스터 헤드가 다시 포워딩 노드로 전송함

위의 그림 2. 에서 센서 노드 A가 데이터를 B로 보낼 때 자신의 클러스터 헤드인 C에게 데이터를 보내기 위하여 그림 3. 과 같은 SN-CH-FN의 데이터 전송 과정을 거치게 된다. 먼저 노드 A는 RTS를 전송하고, 이를 받은 클러스터 헤드 C는 다시 CTS를 전송 하고 노드 A로부터 데이터를 받은 후 자신의 라우팅 테이블에서 포워딩 노드의 주소를 찾아서 포워딩 노드인 F로 보내주고 노드 F는 데이터를 전달 받으면 확인 응답패 킷을 클러스터 헤드 C로 보내준다. 노드 A는 클러스터 헤드 C가 노드 F로 다시 데이터를 보내는 것을 엿 들을 수 있기 때문에 클러스터 헤드 C로부터 확인 응답 패킷이 도착하지 않아도 데이터가 정상적으로 클러스터 헤드 C로 도착한 것을 알 수 있다. 이후의 노드 F에서 G(FN-CH-FN), 노드 G에서 B 까지의 데이터 전달도 위와 같은 방법으로 이루어 진다.

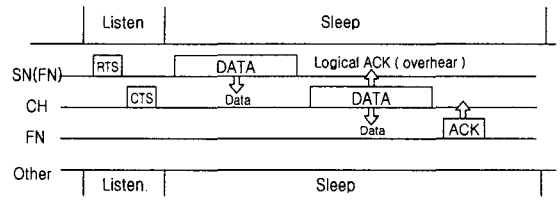


그림 3. HS-MAC의 동작 과정

데이터의 전송과정 에서 중간에 클러스터 헤드가 데이터를 SN이나 FN에서 받아서 다시 FN에게 보내주는 것을 알 수 있다. 처음 RTS를 받고 다시 클러스터 헤드가 CTS를 보내는 과정에서 클러스터 헤드의 전송 거리 내의 모든 노드는 Block되고, sleep 모드로 들어가게 된다. 클러스터 헤드로부터 다시 데이터를 전송 받는 SN이나 FN또한 이 클러스터의 전송 거리 내에 있기 때문에 데이터를 다시 한번 보내는 과정에서 추가적인 RTS/CTS 없이도 충돌 없는 데이터 전송을 예상 할 수 있다.

4. 성능 분석

4.1. 시뮬레이션 환경

실험을 위한 센서 네트워크 내에서의 통신 중 하위 프로토콜이나 트래픽 등에 의한 패킷 분실은 없다고 가정한다. 50개의 센서 노드가 네트워크를 구성하고, MAC의 성능 측정을 위하여 데이터는 미리 정해진 경로를 이동한다. 송신, 수신, 정지 모드에서 각각 13.3mW, 36mW, 15uW의 에너지를 사용하고, listen 기간은 115ms, duty cycle은 10%라고 가정 한다. 실험에 사용하는 데이터 패킷의 사이즈는 100byte, 제어 패킷 사이즈는 10byte이다.

4.2 . 성능 측정 항목

성능 측정을 위하여 노드의 평균 에너지 소모율과, 전송 지연을 측정 하였다. 평균 에너지 소모는 에너지

효율성 을 나타내는 척도로서 각 노드의 라디오가 정지, 수신, 송신의 다른 모드에서 각각 얼마의 시간을 사용했는지 측정한 후 각 모드의 동작에 필요한 파워를 곱해주는 방법을 사용 해서 측정 했다. 패킷 도착 간격은 네트워크의 부하를 결정 짓는 항목으로써 총 20개의 패킷이 몇 초마다 센서 노드 에서 생성 될지를 결정 해준다. 가장 높은 생성률인 1로 설정되면 가장 높은 부하로서 네트워크가 거의 완전히 사용된다. 전송지연은 하나의 패킷을 10홉을 통과 시켰을 때 각 홉에서의 지연시간을 측정한 것이다.

4.3. 시뮬레이션 결과 분석

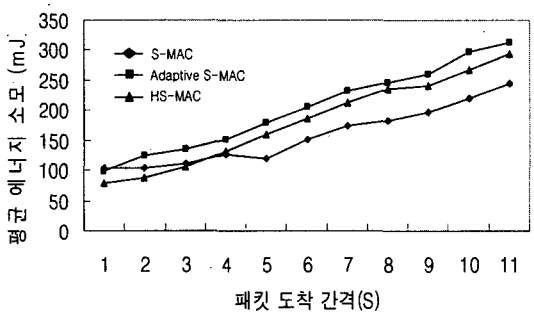


그림 4. 노드당 평균 에너지 소모율

그림 4. 는 각 노드 에서 평균적으로 소모하는 에너지를 나타내는 그래프 이다. S-MAC은 적은 제어 패킷과, sleep 기간 동안 추가적인 동작을 하지 않으므로 가장 에너지 효율이 높지만, 높은 부하에선 높은 지연시간으로 인해 에너지 효율이 다른 프로토콜보다 낮은 것을 볼 수 있다. HS-MAC은 adaptive S-MAC에 비해 적은 제어 패킷의 사용으로 인하여 네트워크의 부하에 상관없이 높은 효율을 나타내는 것을 볼 수 있다.

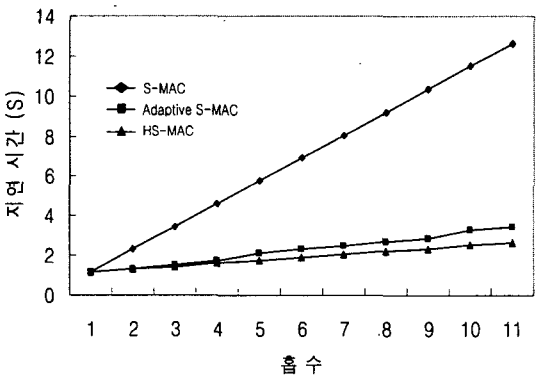


그림 5. 지연 시간

그림 5. 는 한 패킷이 10홉을 통과 하는데 걸리는 시간을 나타내는 그래프 이다. S-MAC의 경우 패킷이 각 홉에서 한 sleep 주기를 기다려야 하므로 평균 1.15의 선형 적인 증가를 보인다. Adaptive S-MAC은 각 노드의 통신 범위 내에서 NAV를 설정 하여야 한 sleep 주기 안에 메시지를 통과 시킬수 있으므로 4-5홉과 9-10 홉 사이에서 제어 패킷 교환 실패로 인한 지연시간 증가를 볼 수 있지만 HS-MAC의 경우엔 항상 송/수신대기를 하는 클러스터 헤드와 포워딩 노드를 이용하기 때문에 지연시간의 추가적인 증가가 없고, 2홉당 1번의 제어 패킷 교환으로 인해 adaptive S-MAC보다 적은 지연시간이 걸린다.

또한 HS-MAC이 S-MAC, adaptive S-MAC 프로토콜에 비하여 같은 수의 패킷을 목적지 까지 전송 하는데 있어서 보다 적은 수의 제어 패킷을 사용하기 때문에 센서 네트워크 전체의 오버헤드 감소를 예상 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 제안한 HS-MAC은 계층적인 라우팅 구조를 이용하여 클러스터 영역 내에서 데이터를 전송 할 때, 한 번의 제어 패킷 교환으로 클러스터 헤드가 다음 홉의 포워딩 노드까지 데이터 전송을 하여, 의무적인 제어 패킷 교환을 줄인다. 이런 특성으로 인해 네트워크 전체의 오버헤드가 감소 되고 각 홉당 평균 지연시간과 에너지 소모율이 감소 되어 SMAC에서의 높은 지연시간 문제를 해결하면서 adaptive S-MAC에 비하여 낮은 지연시간과 높은 에너지 효율을 보인다.

참고 문헌

[1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, " An energy *efficient MAC protocol for wireless sensor networks,*" in IEEE INFOCOM' 02, June 2002.

[2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, " Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks, " in IEEE/ACM Transactions on Networking , June 2004.

[3] T. V. Dam and K. Langendoen, " An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in ACM SenSys' 03, Nov. 2003.

[4] Budhaditya Deb, Sudeept Bhatnagar and Badri Nath, " A Topology Discovery Algorithm for Sensor Networks with Applications to Network Management", Technical Report DCS-TR-441, Department of Computer Science, Rutgers University, May 2001. Submitted for Publication

[5] S. Ganu, L. Raju, B.Anepu, S. Zhao, I.Seskar and D. Raychaudhuri " Architecture and Prototyping of an 802.11-based Self-Organizing Hierarchical Ad-Hoc wireless Network" , WINLAB, Rutgers University