

서비스 시스템에 따른 센서네트워크 MAC 알고리즘

MAC Algorithm of Sensor Networks to Service System

박우출, 이상학, 김대환, 유준재

(Woochool Park, SooHyung Cho, SangHak Lee, Daewhan Kim, Junejae Yoo)

Abstract - A sensor network is composed of a large number of sensor nodes, which are densely deployed either inside the phenomenon or very close to it. One of the most important constraints on sensor nodes is the low power consumption requirement. Sensor nodes carry limited, generally irreplaceable, power sources. Therefore, while traditional networks aim to achieve high quality of service (QoS) provisions, sensor network protocols must focus primarily on power conservation. This paper presents the characteristics of energy consuming, average delay in 802.11 MAC, S-MAC that is specifically designed for wireless sensor networks. We analyze the energy consuming state in the 802.11 MAC in the simulation topology nodes, and measure average delay in 802.11 and S-MAC. Energy efficiency is the primary goal in this protocol design. 802.11 MAC is more efficient than S-MAC in the average delay, throughput. However S-MAC is an energy efficient protocol, a tradeoff between energy efficiency and delay, throughput.

Key Words : Ubiquitous, MAC, Sensor Network, Energy Efficiency

1. 장 서 론

무선 센서 네트워크에서는 응용의 관심 현상 영역에 수많은 센서 노드들이 미리 결정된 형태 없이 배치될 수 있고 근접한 센서 노드들이 유사한 정보를 감지하는 특성에 의해 임의의 센서 노드의 동작이 실패하거나 기능이 소멸되는 경우에도 네트워크의 전체적인 동작에는 영향을 미치지 않는 장점을 가진다. 그러나, 무선 매체의 저속, 오류가 심한 전송 특성 및 제한된 전원 공급, 센서 노드의 임의 배치로 인한 교체 불가능 등의 문제점을 가진다. 그러므로, 이러한 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜 전체적 시스템의 수명을 증가시키는 방향으로 설계되어야 하며, 센서 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응할 수 있어야 한다 [1, 2].

본 논문에서는 앞서 언급한 내용의 센서네트워크 특성을 위하여 MAC 프로토콜을 분석하였다. 현재까지 무선 통신을 위하여 수 많은 MAC 프로토콜이 제안되었으며, 크게 TDMA(Time Division Multiple Access)기법과 CDMA(Code Division Multiple Access), Contention-based 프로토콜인 IEEE 802.11등으로 구분되었다.

무선센서네트워크를 위한 MAC 프로토콜은 다음과 같은 특성을 가지고 있어야 한다. 첫 번째 특성은 에너지 소비가 적어야 한다. 센서노드들은 배터리를 이용하는 방식을 사용하는데, 센서노드들은 배터리를 충전하는 것 보다는 새로운 것으로 교체 하는게 더 쉽다. 센서 노드들의 배터리 수명을 가능한 한 길게 유지 할 수 있도록 에너지의 효율을 높이는 게 중요하다. 무선센서네트워크의 가장 큰 문제점은 배터리

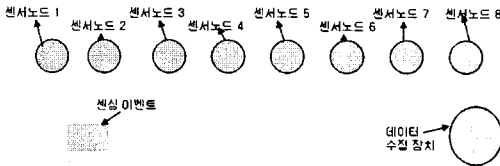
문제로서, 최소한의 1년 이상의 배터리 수명을 보장해야 한다. 배터리 수명 문제를 해결하기 위하여 네트워크 계층에서 MAC 프로토콜, 라우팅 프로토콜, 저 전력 하드웨어 설계등에 관한 연구가 진행되었다 [3]. 본 논문은 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 MAC 프로토콜을 분석하였으며, 응용어플리케이션에 따른 MAC 설정 알고리즘을 제안하였다.

두 번째 특성은 네트워크의 크기나 밀집도, 토폴로지 변화가 있을 때의 확장성이 중요하다. 센서네트워크에서는 센서 노드가 동작을 멈추거나 새로운 노드가 추가되거나 위치가 변화하는 등 많은 토폴로지 변화 요인이 있다. 효율적인 센서네트워크의 MAC 프로토콜을 위해서는 네트워크 변화에 따라 쉽게 적응 가능하도록 설계되어야 한다 [4, 5]. 그 밖에 요소들은 센서네트워크에서는 별로 중요하지 않으며, 배터리 수명 문제와 네트워크의 확장성이 중요한 문제들이다. 본 논문에서는 센서네트워크의 MAC 프로토콜을 분석하기 위하여, Estrin 교수가 제안한 sensor-MAC(SMAC) [6, 7] 을 802.11 MAC과 성능을 분석하였다.

2. MAC 프로토콜 성능 실험

다음 그림 3는 ns-2를 이용하여 시뮬레이션 환경을 구성하여 센서네트워크용 MAC 성능을 분석하였다. 사용한 코드는 미국 NRL에서 작성한 센서네트워크용 ns-2 extension 코드를 사용하였다. 본 성능 실험을 통하여, MAC에서의 802.11 MAC

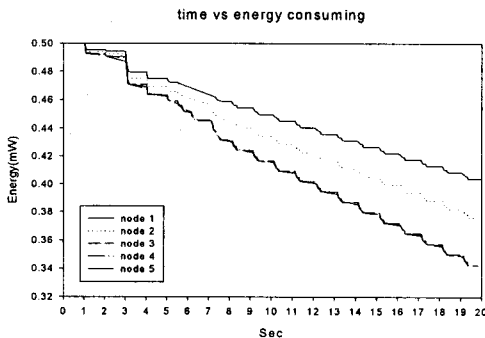
과 SMAC과의 에너지 소비 효율과 delay에 대한 특성을 분석하였다. 본 실험 결과를 통하여 에너지 소비 효율과 delay에 대해서는 Trade-off 현상이 있으며, 이 Trade-off 현상을 센서 네트워크 어플리케이션에 맞게 적용하여 효율적인 센서네트워크 MAC 알고리즘 방식을 제안하였다. 제안한 방식은 응용 어플리케이션에 따라 주기적 listen/sleep 상태 변화를 주는 방식이다.



[그림 1] SMAC과 802.11 MAC 성능 분석을 위한 사용된 시뮬레이션 모델

다음 그림 1은 본 논문에서 SMAC과 802.11 MAC의 성능 분석을 위하여 사용한 시뮬레이션 모델을 나타낸다. 시뮬레이션 모델을 센서 노드들을 일차형태로 배치한 이유는 센서네트워크의 특징인 멀티 홉 통신 특성을 잘 나타내기 위한 모델이다. 예를 들면 1번 노드가 센싱 이벤트를 센싱하면 2, 3, 4 ...등의 노드들에 순차적으로 데이터를 전송하는 멀티 홉 형태를 가지도록 시뮬레이션 모델을 작성하였다. 본 모델은 NRL 센서네트워크 NS-2 확장 코드를 사용해서, NRL 코드 특성에 따라서 시뮬레이션 모델을 작성하였다.

센싱 이벤트는 랜덤하게 센서 노드 주위를 이동하게 됨으로써, 센서 노드들이 센싱할 이벤트가 발생한 것을 감지한다. 감지한 데이터는 멀티 홉을 통한 통신 방식에 의하여 데이터 수집 장치에 데이터가 저장되게 된다. 센싱 이벤트는 화학가스이거나 움직이는 물체로 가정하여, 센서 노드들은 이에 적당한 센서들이 있어서 위 사항들을 모니터링 한다.

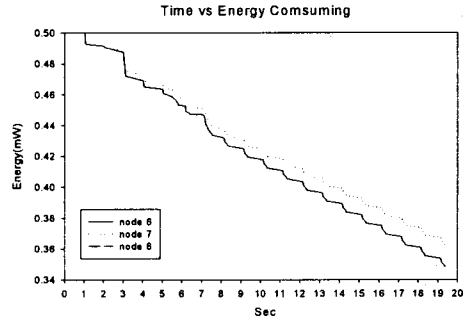


[그림 2] 시뮬레이션 모델에서의 에너지 소비도(노드 1 - 5)

다음 그림 3은 센서네트워크 시뮬레이션 모델에서의 에너지 소비 형태를 나타낸다. 각 노드들중에서 노드가 데이터

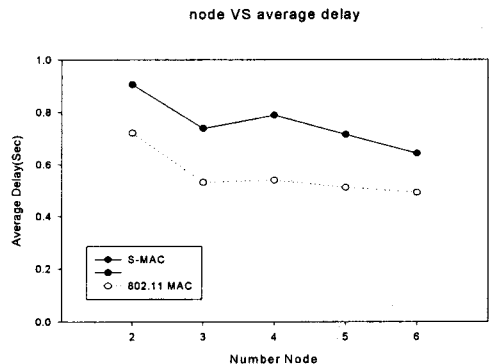
수집 장치에 가까워 질수록 에너지 소비가 증가하는 현상이 나타난다. 그 이유는 센서네트워크의 특징인 멀티 홉 통신 때문에 노드가 데이터 수집 장치에 가까이 있을수록 에너지 소비가 증가한다.

다음 그림 3은 노드 6, 7, 8의 에너지 소비 상태를 나타낸다. 노드 6, 7, 8은 멀티 홉 통신 특성상 데이터 수집 장치에 데이터를 보내기 위하여 가장 많은 에너지 소모가 있는 노드들이다.



[그림 3] 시뮬레이션 모델에서의 에너지 소비도 (노드 6, 7, 8)

다음 그림 4는 802.11 MAC과 SMAC과의 평균 지연값을 시뮬레이션 하였다. 평균 지연값을 실험한 이유는 SMAC는 802.11 MAC에 비해서는 에너지 소비 효율은 좋지만 데이터 지연 현상은 좋지 않다는 것을 실험을 통해 보여주기 위해서이다. 802.11 MAC는 에너지 소비 효율에 대한 사항은 MAC 설계시 중요 요소가 아니고, 주요 이슈가 성능에 관련하기 때문이고, SMAC는 센서네트워크에서 MAC 설계시에 가장 중요한 요소인 에너지 소비 효율 특성을 고려하여 802.11 MAC보다는 지연 특성은 좋지 않다. 본 논문은 에너지 소비 효율 특성과 전송 지연간의 Trade-off 특성을 이용하여, 센서네트워크 MAC에 적용하였다.

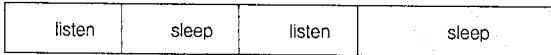


[그림 4] SMAC과 802.11 MAC의 평균 지연 시간 측정도

3. 센서네트워크의 응용 어플리케이션 특성에 따른 MAC 설계

본 논문에서는 센서네트워크의 응용 어플리케이션에 따른 MAC을 제안하였다. 센서네트워크의 특성상 센서 노드들은 오랜 시간동안 이벤트가 발생하지 않는 idle 상태에 머물면서 전송되는 데이터를 기다리게 된다. 이러한 idle 상태 구간이 길기 때문에 에너지 소모를 줄이기 위해서 센서 노드들을 항상 listen 상태에 두지 않고 sleep 상태로 유지시키는 것이 에너지 소모를 최소화 할 수 있다.

각 센서 노드들은 idle 상태에서 특정 시간이 지난 후, sleep 상태로 변경되며, 다른 센서 노드와 통신은 listen 상태에 가능하다. Sleep 구간 동안 센서 노드는 통신 모듈의 전원을 끄고, 일정 시간이 지나면 listen 상태로 변경한다. Listen과 Sleep 시간은 응용 서비스의 특징에 따라 달라져야 한다.



[그림 5] 주기적인 listen과 sleep

본 논문에서는 응용 어플리케이션에 따라 주기적 listen/sleep 상태의 duty cycle 변경 방식을 이용하여 어플리케이션 별 효율적인 MAC을 제안하였다. 다음은 센서네트워크의 실제 응용 사례로 건물 고유 진동수의 애플리케이션 구조적 변화 감지, 전쟁에서의 모트의 자기장 센서를 이용한 군사용 서비스, 나무, 새, 동물, 서식지 등 환경을 위한 서비스, 디지털 홈 (인텔의 프로젝트 계획), 건물에서의 HVAC 등이 있다.

<ul style="list-style-type: none"> • 응용어플리케이션에 따른 센서네트워크 용 MAC 알고리즘 - 나무, 새, 동물 서식지 환경을 위한 센서네트워킹 어플리케이션 <ul style="list-style-type: none"> ● 주기적 listen/sleep의 duty cycle 0.3 % 설정 - 건물에서의 HVAC용 센서네트워킹 어플리케이션 <ul style="list-style-type: none"> ● 주기적 listen/sleep의 duty cycle 1 % 설정 - 실시간 산업용 센서네트워킹 어플리케이션 <ul style="list-style-type: none"> ● 주기적 listen/sleep의 duty cycle 3 % 설정

표 1. 센서네트워크 어플리케이션 특징에 따른 MAC 알고리즘 방식 제안

4. 결 론

본 논문에서는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 물리적 공간의 이벤트를 입력받는 센서 노드들의 소모 전력을 최소화하기

위한 방법으로, 주기적인 listen/sleep 상태를 센서네트워킹 응용 어플리케이션에 따라 조정하는 방법을 제안하였다. 센서네트워킹에서 센서노드들이 통신하는데 사용하는 에너지는 전체 전력의 20 - 60 %을 차지한다. 제안한 기법을 사용하여 센서네트워킹 어플리케이션에 맞는 MAC을 사용하여 센서 노드들의 전력 소모를 개선 할 수 있다.

향후 과제로는 실제 tinyos 모트 환경의 테스트베드를 100 개 정도 센서 노드들을 실험실 천장에 설치하여 이더넷 스위칭 허브를 통하여 한 번에 100개의 노드에 직접 프로그램 로딩이 가능한 실험환경을 구축하여, 네트워킹 계층에서의 특성 및 에너지 효율의 특성을 연구할 예정이다. Tinyos 기반 센서네트워킹 테스트베드 환경을 구현하여 실제 응용 서비스에 따라 센서 노드간의 거리, 비활성화 주기 및 스케줄 동기화, 전송 충돌에 의한 데이터 손실, 데이터 전송 간격, 네트워크 품질등을 고려한 연구를 할 예정이다.

참고 문헌

- [1] J.M Kahn, R.H. Katz and S.J.Pister, "Mobile Networking for Smart Dust," in the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 99), Seattle, WA., Aug. 1999.
- [2] u-Adaptive Multi-domain Power Sensors at MIT <http://www-mtl.mit.edu/research/icsystems/uamps/>.
- [3] Wireless Integrated Sensor Networks at UCLA. <http://www.ianet.ucla.edu/WINS/>.
- [4] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," J. Wireless Commun. Mobile Comput., vol. 2, pp. 483-502, 2002.
- [5] A. Wang, S-H. Cho, C.G.Sodini, and A.P. Chandrakasan, "Energy-efficient modulation and MAC for asymmetric microsensor systems," in Proc. ISLPED, pp. 106-111. 2001.
- [6] Wei Ye, John Heidemann and Deborah Estrin, "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks," in Proceedings of the IEEE infocom, New York, NY, , pp.1567-1576, June 2002.
- [7] L. Huang and T.-H. Lai, "On the scalability of IEEE 802.11 ad hoc networks," in Proc. ACM MOBIHOC, pp. 173-182. 2002