
무선 센서 네트워크에서 효율적인 채널 사용을 위한 MAC 프로토콜에 관한 연구

최지형* · 김동일

동의대학교

A Study of MAC Protocol for effective channel usage

in Wireless Sensor Networks

Ji-hyoung Choi · Dong-il Kim

Dong-eui University

E-mail : cjhsj@deu.ac.kr

요 약

센서 네트워크에서 효율적인 채널의 사용은 짧은 시간 안에 많은 양의 패킷을 전달하기 위해 중요하다. 채널 활용성을 향상시킨다. 채널 활용성은 MAC 프로토콜의 효율성을 설명하기 위한 좋은 방법이다. 본 논문에서는 효율적인 채널 사용을 위해 B-MAC(Berkeley-MAC)에서 사용한 기법들과 TDMA(Time Division Multiple Access)를 결합시킨 MAC(Media Access Control) 프로토콜을 제안한다. 기본적으로는 backoff, CCA(Clear Channel assessment), LPL(Low Power Listen) 기법 등을 사용하여 충돌과 에너지 소모를 줄이며, 동시에 경쟁 상태에 따라 전송 방식을 다르게 함으로써 채널 활용성을 높이고자 한다. 시뮬레이션을 통하여 기존의 MAC 프로토콜과 비교하여 성능이 향상됨을 보여준다.

ABSTRACT

The effective channel usage is important for delivering a large number of packets in a short time, and it enhances channel utilization in sensor networks. Channel utilization is a good metric to illustrate MAC Protocol efficiency. This paper presents the MAC(Media Access Control) Protocol that combines the advantages of B-MAC(Berkeley-MAC) and TDMA(Time Division Multiple Access) to obtain high channel utilization. Basically, Using the backoff, CCA(Clear Channel Assessment) and LPL(Low Power Listen) mechanisms reduce collision and energy consumption, this protocol makes at the same time transmission method different depending on contention state and obtains high channel utilization. Through the simulation, this paper shows enhanced performance comparing with existing MAC Protocols.

키워드

B-MAC, TDMA, MAC, backoff, LPL, CCA

I. 서 론

무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 제한된 전력으로 동작하게 된다. 그리고 배터리를 교체하거나 충전하기가 매우 어렵기 때문에 센서 노드들의 전력 소모를 최소화하는 것이 핵심 이슈이다. MAC 프로토콜에서 에너지 낭비는 Idle

Listening, Collision, Control Overhead, Overhearing 때문에 일어난다. 이 중에서 Idle Listening은 에너지 낭비의 가장 큰 요소이다. 이러한 에너지 낭비 요소들을 줄이기 위해 많은 MAC 프로토콜들이 출현하였고 앞으로도 우수한 성능을 얻기 위해 많은 MAC 프로토콜들이 개발될 것이다. 현재로서는 B-MAC[1]이 우수한 성능

을 보이고 사람들에게 많이 알려져 있다. 본 논문은 TDMA에 의해서 스케줄링된 B-MAC을 제안한다. 기존의 B-MAC의 기법들을 사용하여 충돌과 에너지 소모를 줄이고 TDMA 스케줄링 기법을 도입하여 기존의 B-MAC보다 향상된 채널 활용성을 얻고자 한다. 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 평가하였다.

본 논문의 구성은, II절에서는 관련 연구에 대해서 검토하고, III절에서는 제시하는 프로토콜의 개념에 대해서 언급하고, IV절에서는 시뮬레이션 및 결과를 보이며, V절에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

기존의 MAC 프로토콜은 에너지 소모를 줄이고 효율적으로 사용하기 위해 여러 가지 기법을 사용하였다.

동기방식 MAC 프로토콜로는 S-MAC[2], T-MAC[3]등이 있다. S-MAC은 고정된 스케줄링 기법을 이용하여 주기적으로 노드가 Sleep 상태로 들어가게 함으로써 Idle Listening 시간을 줄인다. 그리고 RTS(Request To Send)와 CTS(Clear To Send) 제어 신호를 사용하여 Overhearing, Hidden Terminal 문제를 해결한다.

그리고 T-MAC은 고정된 Duty Cycle에 따른 불필요한 에너지 소모를 줄이기 위하여 적응형 Duty Cycle 기법을 사용하였다. T-MAC은 타이머를 이용하여 S-MAC보다 일찍 Sleep 상태로 들어가게 하여 에너지 소모를 더 줄였다.

하지만 이러한 스케줄링 기법을 이용한 프로토콜들의 특징은 송신 노드가 수신 노드의 Wake-up 시간을 알고 있어 데이터 전송에 효율적이지만 경쟁 기간 동안 Listening 해야 하기 때문에 비효율적이다.

대표적 비동기 방식 MAC 프로토콜로는 B-MAC이 있다. S-MAC, T-MAC과는 달리 RTS/CTS 제어 신호를 사용하지 않고 CCA와 LPL 기법을 사용하여 채널의 사용여부를 판단하고 충돌을 회피한다. 하지만 동기 방식의 MAC 프로토콜에 비해서 에너지 소모 측면은 효율적이나 과도한 트래픽에는 취약한 면을 보인다.

위의 MAC 프로토콜들은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)기반으로 숨겨진 노드 문제를 해결하기 위해 RTS/CTS 같은 제어 신호를 사용하거나 그 외에 다른 기법들을 사용한다.

반면, TDMA는 이웃한 노드들의 전송 시간이 각각 다른 시간대에 스케줄되기 때문에 특별한 메시지나 제어 패킷 없이 숨겨진 노드 문제를 해결할 수 있다. 하지만 센서 네트워크에서 TDMA는 많은 단점들이 있다. 첫 번째로, TDMA는 클럭 동기화가 필요하다. 비록 많은 센서 네트워크가 클럭 동기화를 필요로 하지만 TDMA는 엄격

한 동기화로 인해 높은 에너지 소모를 일으킨다. 두 번째로 센서 네트워크는 물리적인 환경의 변화나 배터리 소진으로 인한 노드의 기능 상실로 인해 토폴로지의 변화가 자주 일어날 수 있다. 그러므로 TDMA는 동기를 매번 맞춰야 한다. 이러한 이유들로 인해 센서 네트워크에서 TDMA는 효율적이지 못하다.

본 논문은 B-MAC의 기법들을 기반으로 TDMA 스케줄링 기법을 결합시켜 경쟁 상태에 따라 다른 전송 방식을 사용함으로써 효율적으로 채널을 사용하고자 한다.

III. 제안 프로토콜 디자인

센서 노드들이 각각의 위치에 뿌려지고 난 후 데이터를 모으고 노드들 간의 전송이 있기 앞서 다음의 몇 가지 사전 설치 작업이 필요하다. 그것은 이웃 노드 탐색, 타임 슬롯 할당, 지역 프레임 교환, 글로벌 시간 동기화이다. 이것들은 순차적으로 일어나며 센서 노드들의 물리적인 재배치나 네트워크의 토폴로지 변화 등이 일어나지 않는 한 처음 한번만 필요하다.

a. 이웃 노드 탐색

노드가 최초 작동을 시작하면 자신의 한 홉 이웃한 노드가 가지고 있는 정보를 모으기 위해 이웃 노드 탐색 ping 메시지를 주기적으로 브로드캐스팅한다. 이 ping 메시지에 자신의 현재 한 홉 이웃한 노드들에 대한 정보가 포함되어있다. 각 노드들은 30초 동안 매초사이의 랜덤한 시간마다 하나의 ping 메시지를 브로드캐스팅한다. 이러한 과정을 통하여 각 노드들은 수신된 ping 메시지로부터 두 홉 이웃한 노드들의 정보를 모으게 된다.

두 홉 이웃한 노드들의 정보는 타임 슬롯 할당을 위해 사용된다.

b. 타임 슬롯 할당

이웃 노드 탐색으로 모은 두 홉 내 이웃한 노드들의 정보를 바탕으로 각 노드들에게 슬롯 번호를 할당한다. 네트워크에 있는 모든 모드들에게 타임 슬롯을 할당한다. 두 홉 통신 반경 내에 있는 이웃 노드들은 같은 타임 슬롯을 할당 받을 수 없다.

기존의 TDMA와는 달리 타임 슬롯의 크기는 네트워크의 크기에 의존하는 것이 아니라 각 노드의 지역 이웃 노드들의 크기에 달려있기 때문에 확장이 쉽다. 그리고 한 노드의 두 홉 내 이웃한 노드들의 크기를 넘지 않는다. 대부분의 경우 많이 적다. 그림1에서 앞의 숫자는 할당된 슬롯 번호이며 괄호안의 숫자는 두 홉 내 이웃 노드들의 수이다.[4]

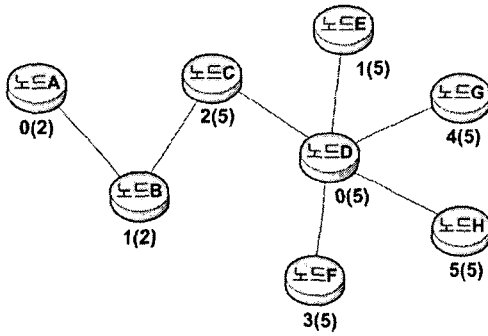


그림 1. 타임 슬롯 할당의 예

c. 지역 프레임 교환

타임 슬롯 할당 후 각 노드들은 전송을 위해 누가 타임 슬롯을 사용할 것인가 하는 주기를 정하는 것이 필요하다. 모든 노드들은 동시에 타임 슬롯 0부터 시작해야 한다. 본 논문은 TPSN[5] 같은 글로벌 클럭 동기화 프로토콜을 실행함으로써 노드 간 클럭 동기를 맞췄다. 그림2는 모든 노드들의 타임 슬롯 스케줄이다. 밝은 부분은 노드에 할당된 슬롯 번호를 나타낸 것이고, 어두운 부분은 어떤 노드에게도 할당되지 않은 슬롯을 나타낸 것이다. 이 할당되지 않은 슬롯들은 불필요하게 낭비되지 않고 어떤 노드라도 경쟁을 통해 채널을 사용할 수 있게 하였다.

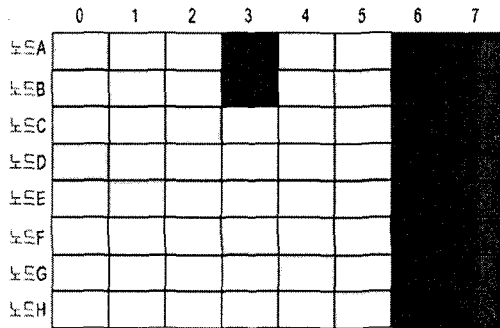


그림 2. 각 노드들의 타임 슬롯 스케줄

d. 전송 단계

위의 과정이 끝나면 이제 전송을 시작할 준비가 되었다. 노드들은 다음 두 가지 모드 중 하나일 수 있다. Few Contenders State(FCS), Many Contenders State(MCS). FCS일 경우 어떤 노드라도 전송을 위해서 경쟁할 수 있다. MCS일 경우는 채널을 사용하기 위해 현재 슬롯의 소유자와 한 홉 이웃한 노드들에게만 경쟁이 허락된다. 두 모드 모두 슬롯을 소유한 노드는 그렇지 않은 노드에 비해 더 높은 우선권을 가진다. 만약 해당 슬롯을 소유한 노드가 없거나 슬롯을 소유한 노드가 전송할 데이터가 없으면 슬롯을 소유하지

않은 노드는 그 슬롯을 가로챌 수 있다. 이러한 특징은 경쟁이 적은 상태에서 높은 채널 활용성을 얻을 수 있다.

노드는 전송을 위해서 데이터를 습득하면 자신이 현재 슬롯의 소유 노드인지 아닌지 검사한다. 만약 슬롯의 소유자라면 고정된 시간인 T_0 내에서 랜덤한 Backoff를 가진다. 그리고 Backoff 시간이 끝나면 CCA를 동작시켜 채널이 비어있는지 검사한다. 만약 채널이 비어있지 않다면 채널이 빌 때까지 기다린다. 그리고 위의 과정을 반복한다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 ns-2 시뮬레이터를 이용하였다. 다음 <표-1>은 시뮬레이터에 이용된 파라미터 값이다.

Owner contention window size	8 slots
Non-owner contention window size	32 slots
Contention window per slot duration	400 μ s
Averaging weight for time synch	0.2
Maximum clock drift rate	40 μ s
Maximum clock error	1 ms
Synch bandwidth	1 %
Slot size	40 ms
Communication bandwidth	19.2 Kbps

표-1. 제안 프로토콜의 파라미터

제안 프로토콜의 성능을 분석하고자 다음의 3 가지 측면, 에너지 소모, 채널 형평성, 활용성 측면을 B-MAC과 비교하였으며, 제안 프로토콜과 B-MAC의 성능 평가를 위해 느슨한 트래픽과 과도한 트래픽을 번갈아 시뮬레이션하였다. 제안 프로토콜과 B-MAC은 동일한 조건 하에서 시뮬레이션 하였다.

먼저 에너지 소모 측면에서는 S-MAC, B-MAC 과 비교하였다. S-MAC에 비해서는 제안 프로토콜은 뚜렷하게 에너지 소모가 절감되는 것을 보인다. 하지만 B-MAC과 비교했을 때 제안 프로토콜이 약간 높게 나온다. 이것은 B-MAC에서 사용하는 기법인 CCA, LPL을 사용하였으므로 비슷한 결과를 보인다.

본 논문에서는 채널의 형평성, 활용성에 주안점을 두었기 때문에 미세한 에너지 소모 차이는 크게 신경쓰지 않았다.

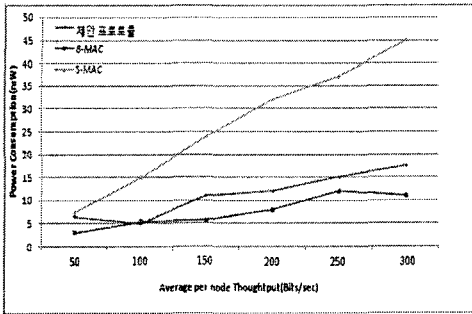


그림 3. 에너지 소모 측면

그림 4,5를 보면 제안 프로토콜이 형평성, 활용성 측면에서 B-MAC과 비교하여 뚜렷한 차이를 보인다.

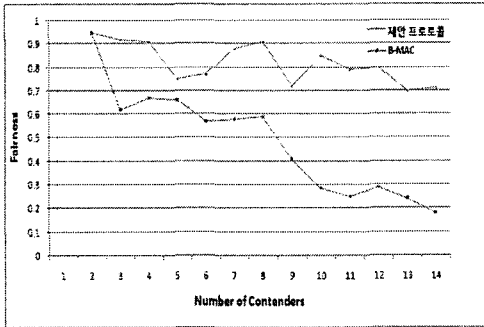


그림 4. 형평성 측면

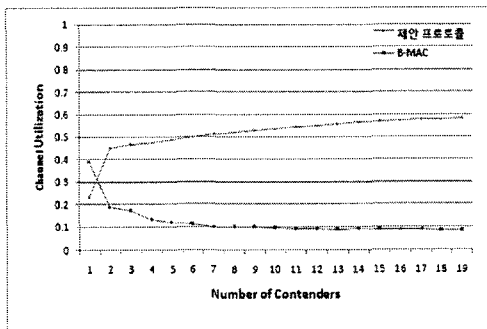


그림 5. 채널 활용성 측면

V. 결론

B-MAC의 채널을 액세스하는 기법과 TDMA의 스케줄링 기법의 적절한 조화로 이루어진 제안 프로토콜은 기존의 B-MAC과 비교하여 에너지 소모 측면에서는 비슷한 결과를 보이나 채널 활용성이나 형평성 측면에서는 더 나은 결과를 보였다.

본 논문에서는 ns-2 시뮬레이터만을 이용하여 시뮬레이션하였다. 향후에는 Mica2 같은 센서 네트워크 장비를 이용하여 네트워크 규모를 크게 하고 및 분산 정도를 다양하게 하여 실험을 할 것이며, 제한된 노드수로 라우팅 알고리즘을 제외하였으나, 향후 라우팅 알고리즘에 대해서도 추가적으로 연구하고 제안 프로토콜과의 호환성을 실험할 계획이다.

참고문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks. In Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002), June 2002.
- [2] Tijs van Dam and Koen Langendoen. An adaptive energy-efficient MAC Protocol for wireless sensor networks. In Proceedings of the first ACM SenSys Conference, pages 171-180, Los Angeles, California, USA, November 2003.
- [3] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. Versatile low power media access for wireless sensor networks. In Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Baltimore, MD, November 2004.
- [4] I. Rhee, A. Warrior, and L. Xu. Randomized Dining Philosophers to TDMA Scheduling in Wireless Sensor Networks. Technical report, Computer Science Department, North Carolina State University, Raleigh, NC, 2004.
- [5] S. Ganeriwal, R. Kumar, and M. Srivastava. iming-sync protocol for sensor networks. In Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Los Angeles, CA, November 2003.
- [6] K. Arisha, M. Youssef, and M. Younis. Energy-aware TDMA-based MAC for sensor networks. In IEEE Workshop on Integrated Management of Power Aware Communications, Computing and NeTworking (IMPACCT 2002), New York City, NY, May 2002.