
전송 효율을 고려한 무선센서 네트워크에서의 Hybrid MAC(HMAC) 프로토콜

이진영* · 김성철**

Hybrid MAC(HMAC) Protocol Considering Throughput in Wireless Sensor Networks

Jin-Young Lee* · Seong-Cheol Kim**

요 약

본 논문에서는 무선센서 네트워크에서 전송 효율을 높이기 위하여 CSMA/CA 방식과 TDMA 방식을 혼합한 HMAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 HMAC에서는 패킷 전송을 원하는 송신 노드가 CSMA/CA 방식을 통하여 수신 노드에게 전송 요청을 하고, 수신 노드에서는 네트워크 토폴로지와 전송되어지는 트래픽 양에 따라 TDMA 방식으로 적절히 슬롯을 할당함으로써 여러 수신 노드들 사이에 슬롯 중복 할당으로 인한 충돌을 낮춤으로써 전송효율을 높일 수 있다.

ABSTRACT

In this paper we propose a Hybrid MAC(HMAC) to enhance the transmission throughput in Wireless Sensor Networks(WSNs). In the proposed HMAC, sender nodes send transmission request packets to the receiver nodes using CSMA/CA MAC protocol. And the receiver node assigns slots according to the network topology and the amount of traffics using TDMA. Using HMAC we get the enhanced throughput by lowering the duplicated slot assignment.

키워드

Wireless Sensor Network(WSN), CSMA/CA, TDMA, Energy Saving

I. 서 론

WSNs는 대개 커다란 multi-hop 무선 네트워크로 이루어지며, 구성하고 있는 노드들은 분산된 센싱 기능을 수행하기 위하여 무선 매체에 의해 연결된다. WSN에서는 데이터의 전송이 센서 노드들로부터 데이터를 모으는 액세스 포인트(access point)로 흐르지만, 애드 혹 네트워크에서는 임의의 점대점으로 흐른다. WSN의 특성으로는 노드들이 제한된 전력 지원을 받는다는 것이다. 즉,

한번 네트워크가 구성되면, 이들 구성 노드들에게 지속적인 전력 공급이 이루어지지 않고 배터리에 의해 한시적으로 제공된다. 따라서 WSN의 MAC 프로토콜을 설계하는데 있어서 반드시 전력 절약 문제를 고려해야 한다. 그 동안 WSN의 많은 MAC 프로토콜들이 연구되어 왔는데, 이들은 서로 다른 에너지 절약 메커니즘을 가진다. 지금까지 연구된 센서 노드들의 에너지 소모를 줄이기 위한 프로토콜은 다음과 같이 4 가지로 분류될 수 있다. 첫째는 duty cycle 제어 프로토콜이다. SMAC[2],

* SK C&C U-biz. 연구소

** 상명대학교 소프트웨어 학부

TMAC[3], DMAC[4]을 예로 들 수 있다. 이 중 대표적인 SMAC에서는 일정한 duty cycle 프레임을 사용하여 고정된 sleep 시간과 wakeup 시간을 반복적으로 되풀이 한다. 같은 sleep 스케줄링을 갖는 노드들을 한 번에 스케줄링할 수 있는 장점을 가지지만, 데이터 전송의 측면에서 트래픽이 많을 경우 주기적인 sleep으로 인한 지연시간이 발생하는 단점을 가진다. S-MAC을 보완한 TMAC은 하나의 프레임을 활성 및 sleep 구간으로 나누며, duty cycle로 활성(active) 구간을 조절함으로써 에너지 소비를 줄여 노드의 수명을 연장시킨다. 두 번째로 CSMA나 CSMA/CA 프로토콜을 기초로 하는 임의접근 프로토콜이다. B-MAC[5], X-MAC[6], CSMA/p*[7]이 이 부류에 속한다. B-MAC은 적용 가능한 프리앰블(adaptive preamble) 개념을 사용한다. S-MAC과 비교하여 duty cycle과 불필요한 listening 줄임으로써 에너지를 절약할 수 있으며, 충돌을 줄임으로 높은 이용 효율을 갖는 장점이 있다. 하지만 긴 프리앰블로 인해 깨어있는 노드들은 프리앰블이 끝날 때까지 기다려야하고, 프리앰블이 다 끝나고 나서야 목적지 주소를 알 수 있기 때문에 필요 이상으로 기다리는 단점을 가진다. 셋째는 고정 접근 프로토콜인데, 이 중에는 ER-MAC[8], Pattern MAC[9], A-MAC[10]이 속한다. ER-MAC은 분산 TDMA 방식으로 그룹화(grouping)를 통해서 같은 슬롯에서 같이 처리한다. 충돌제거, 불필요한 listening 시간을 줄이고, 제어 패킷의 오버헤드를 줄임으로 에너지 절약을 한다. A-MAC에서는 배터리가 많은 노드에게 더 많은 wakeup을 하게 되어 노드마다 전송 기회를 비슷하게 제공할 수 있는 장점이 있다. 하지만 에너지가 적은 노드에 전송할 데이터가 있을 경우 전송이 오랫동안 지연되는 단점이 있다. 마지막으로 접근 채널을 2개로 하여 임의접근 채널과 고정접근 채널을 사용하는 하이브리드(Hybrid) 프로토콜을 들 수 있다. Z-MAC[11], TRAMA[12]가 여기에 속하는데, Z-MAC에서는 2 홉 내의 지역 정보를 이용하여 owner 슬롯을 우선 할당하고 CSMA 방식으로 나머지 노드들이 슬롯을 획득하기 위해 경쟁함으로써 노드 간 충돌을 줄인다.

이와 같이 기존에 연구된 MAC 프로토콜들은 충돌 및 전송 지연의 문제점을 보이고 있다. 따라서 본 논문에서는 한 홉의 트래픽 정보를 이용하여 슬롯의 구간을 나누어, 전송 노드들에게 임의로 슬롯을 할당하여 충돌을 줄일 수 있는 새로운 프로토콜을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 트래픽을 고려한 스케줄링 MAC 프로토콜에 대해 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안된 새로운 HMAC 프로토콜에 대해 살펴본다. 4장에서 제안된 프로토콜의 성능 분석 및 기존 프로토콜과의 비교가 이루어지고, 본 논문의 결론이 5장에서 이루어진다.

II. 네트워크 토폴로지와 트래픽을 고려한 HMAC 프로토콜

기존의 MAC 프로토콜 중에 트래픽에 적용적인 MAC 프로토콜이 많이 제안되었다. 그 중에 LASMAC (Lightweight and Adaptive Scheduling MAC)[1]은 기본적으로 적은 데이터 전송, 적은 노드 수의 네트워크 환경을 위하여 고안된 알고리즘으로 전송하고자 하는 패킷들의 충돌을 최대한 줄임으로 성공 확률을 높일 수 있는 방법이다. 이를 위하여 LASMAC에서는 CSMA/CA와 TDMA 두 메커니즘 모두를 사용한다. LASMAC에서는 프레임을 크게 2 구간으로 나누는데, CSMA/CA 방식을 사용하는 임의접근(Random Access) 구간과 TDMA 방식을 사용하는 스케줄된 접근(Scheduled Access) 구간으로 구성된다. 또한 임의 접근구간은 SYNC 신호를 보내는 SYNC 구간과 전송 노드가 전송을 요청하는 TR(Transmission Request) 구간, 그리고 수신자가 데이터를 전송할 슬롯을 각각의 전송 노드에게 할당하는 SA 구간으로 되어 있다. 스케줄된 구간에서는 할당 받은 구간에 전송 노드들이 수신 노드에게 패킷을 전송한다. 전송 노드들이 TR 구간에서 수신자들에게 전송을 요구하는 TR 패킷을 보내는데 이 TR 패킷에는 보내고자 하는 목적지의 주소와 보내고자 하는 패킷의 양에 대한 정보가 들어있다. 수신 노드는 이 TR 패킷의 정보를 바탕으로 하여 SA 구간에서 각각의 전송 노드들에게 데이터를 전송할 슬롯을 임의로 할당하여 주고, 브로드캐스트를 통하여 전송 노드들에게 알려준다. 전송 노드들은 이 정보를 바탕으로 할당받은 슬롯에서 전송을 한다. 하지만 LASMAC에서는 같은 전송 영역에 두 개 이상의 다른 수신 노드들이 있을 경우에는 충돌 발생할 확률이 높아져 전송률이 떨어지는 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서 제안된 알고리즘은 그림 2에서와 같이 한 프레임을 SYNC, 슬롯 예약(Slot Reservation), 스케줄된 접근구간

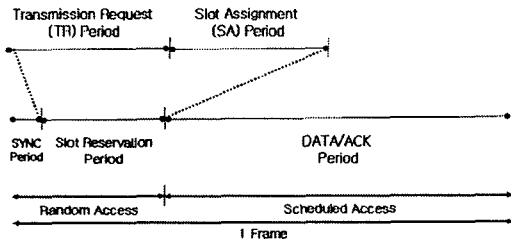


그림 1. 프레임 구성
Fig. 1. Frame format

으로 나눈다. 우선 SYNC 구간에서 이웃 노드들과 동기화가 이루어진다. 그리고 스케줄된 접근구간에서는 각각의 전송 노드들이 슬롯 예약 구간에서 배정된 슬롯에서 데이터를 전송하게 된다. 어느 노드가 전송할 데이터가 있는 경우 그 노드는 CSMA/CA의 백오프(Backoff) 방식을 이용하여 TR 패킷을 전송한다. 이 TR 패킷에는 목적지의 주소, 전송하고자 하는 데이터 패킷의 양에 대한 정보가 들어있다. 각각의 노드들은 TR구간 동안 다른 수신자가 사용하고자 하는 슬롯의 양과 수신자의 개수를 알 수 있다. 그리고 TR구간 동안 자신의 주소를 목적지로 하는 TR 패킷이 없다면 그 노드는 가지고 있던 TR 패킷의 정보들을 버리고, sleep 모드로 들어간다. 예를 들어, 그림 2의 (a)에서 S1, S2가 R1에게, S3가 R2에게 전송한다고 할 경우, R1, 과 R2는 자신을 포함하여 수신 노드가 2개가 있다는 것을 알게 된다. 또한 데이터 전송에 필요한 슬롯의 양을 알 수 있게 된다.

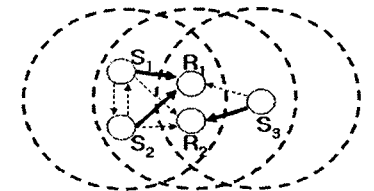
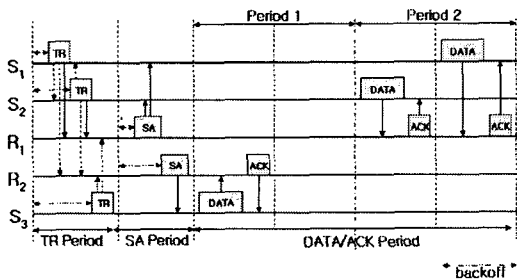


그림 2. HMAC에서의 패킷 전송
Fig. 2. Packet transmission in HMAC

유니캐스트 방식으로 TR 패킷을 받은 수신 노드들은 SA구간 동안 CSMA/CA의 백오프를 이용하여 SA 패킷을 전송함으로써 각각의 전송 노드들이 전송할 수 있는 슬롯을 할당하는 역할을 한다. 이 SA 패킷에는 전송 노드들이 전송할 슬롯에 대한 정보가 들어간다. 본 논문에서 제안된 알고리즘에서 수신 노드들은 송신 노드들이 요청한 트래픽의 양에 따라 슬롯을 할당한다. 수신 노드들은 브로드캐스트된 TR 패킷을 통하여 자신 뿐만 아니라 다른 수신 노드들의 MAC 주소와 동일한 전송 영역에서의 수신자 노드의 수를 알고 있다. 수신 노드는 슬롯을 할당할 때 이러한 정보를 이용한다. 즉, MAC 주소가 작은 순서대로 전체 프레임의 슬롯을 구분하여 할당된다. 예를 들어, 어느 노드가 동일한 전송 영역 중에 자신 이외의 다른 하나의 수신 노드가 존재하며, 자신의 MAC 주소보다 더 작은 주소를 가짐을 알면, 전체 프레임의 후반 슬롯 영역으로 할당한다. 이처럼 서로 다른 영역의 슬롯을 할당함으로써 수신 노드들의 임의로 할당된 슬롯에서의 충돌을 막을 수 있다. 수신노드는 이런 방식으로 할당된 슬롯 정보를 SA 패킷을 통하여 전송 노드들에게 알려준다.

III. 성능 분석

본 장에서는 본 논문에서 제안된 알고리즘과 기존의 LASMAC과의 성능을 데이터 전송 시 성공할 확률과 슬롯 이용효율 2 가지 측면에서 성능 비교가 이루어진다. 이러한 성능 비교는 송수신 노드들의 여러 다른 구성들에 대하여 고찰한다. 계산의 편의를 위하여 하나의 프레임은 12 개의 슬롯으로 이루어졌다고 가정한다. 본 논문에서는 다음과 같은 두 가지 시나리오를 가정한 성능평가가 이루어진다.

첫 번째로 동일한 전송 영역에 두 개의 수신 노드가 존재하는 경우이다. 아래 그림 3에서 볼 수 있듯이 수신 노드 R1과 R2가 동일 전송 영역에 존재하며, 수신 노드 R1은 두 개의 송신 노드로부터 패킷을 수신하게 되며, 수신 노드 R2는 하나의 송신 노드로부터 데이터를 수신한다.

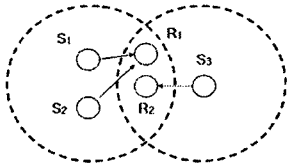


그림 3. 네트워크 구성 - 시나리오 1
Fig. 3. Network Topology - scenario 1

그림 4에서는 패킷을 전송할 때 성공할 확률에 대한 비교를 보여준다. 그림에서의 값들은 10,000 개의 프레임에서 측정된 평균값이다. 앞 절에서 설명된 바와 같이 본문에서 제안된 알고리즘에서 두 개의 수신 노드들은 동일한 프레임 내의 서로 다른 영역의 슬롯을 할당하기 때문에 두 개의 수신노드들에 의한 중복 슬롯 할당이 일어나지 않으나, LASMAC에서는 하나의 노드가 전송하려는 패킷의 수가 증가할수록 중복 할당되는 슬롯의 수가 많아지기 때문에 성공확률이 급격히 떨어짐을 알 수 있다.

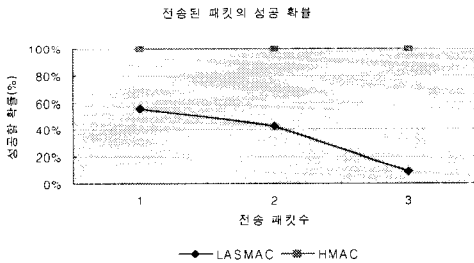


그림 4. 패킷 전송 시 전송 성공확률에 대한 비교
Fig. 4. Comparison of success probability for transmission on packet transmission

그림 5는 슬롯 이용 효율(Slot Utilization)에 대한 비교를 보여 준다. 그림에서 보는 바와 같이 각 전송 노드에서 전송하려는 트래픽의 양이 증가할수록 제안된 HMAC

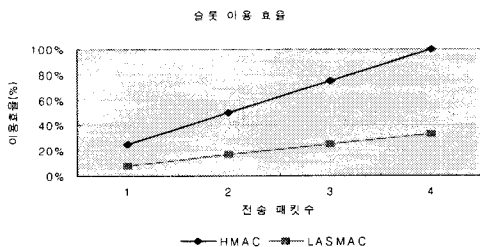


그림 5. 슬롯 이용 효율 비교
Fig. 5. Comparison of slot utilization efficiency

의 슬롯 이용률이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 HMAC에서 수신 노드들은 트래픽을 고려하여 슬롯을 할당하기 때문이다.

두 번째로는 동일한 전송 영역에 두 개의 수신 노드와 다른 노드가 존재하는 경우이다. 그림 6과 같이 수신 노드 R1과 R2는 같은 전송 영역 내에 위치하고 있어서 서로의 정보를 공유할 수 있지만, R3은 다른 영역에 위치하고 있어 수신 노드들 간의 정보를 공유할 수 없는 경우이다. 즉, 노드 R1과 R2는 서로 존재를 알기 때문에 슬롯 할당에 고려하지만, R3은 독립적으로 S4에 대해 슬롯을 할당한다. 따라서 HMAC에서도 앞의 경우와 다르게 충돌이 발생하게 된다. 그림 7은 각 송신 노드에서 보내는 최대 패킷 양에 따른 10,000 프레임 중 충돌하는 평균 횟수를 측정된 결과 비교이다.

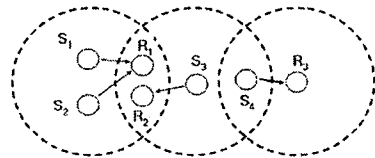


그림 6. 네트워크 구성 - 시나리오 2
Fig. 6. Network Topology - scenario 2

그림 7에서 볼 수 있듯이 이러한 네트워크 구성에서도 최대패킷의 양이 증가할수록 HMAC이 더 낮은 충돌 확률을 보여준다.

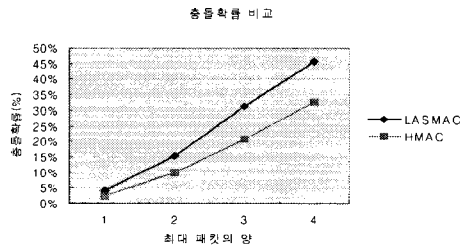


그림 7. 시나리오 2에서 패킷 전송 시 슬롯 충돌 확률
Fig. 7. Slot collision probability on packet transmission in scenario 2

IV. 결론

본 논문에서는 WSN에서 전송 효율을 높이기 위하여 CSMA/CA 방식과 TDMA 방식을 혼합한 Hybrid MAC을 제안하였다. 제안된 HMAC은 CDMA/CA 방식을 이용하여 송신 노드와 수신 노드 사이에 전송요청이 이루어지고, 수신 노드에서는 TDMA 방식에서 적절히 슬롯을 할당함으로써 전송효율을 높인다. 이를 위하여 네트워크 구성 및 전송되는 트래픽에 적응적인 슬롯 할당이 이루어진다. 제안된 HMAC의 성능 비교를 위하여 네트워크 토폴로지의 변화 및 각 송신 노드에서 전송 트래픽을 고려한 여러 시나리오를 설정하여 분석하였다. HMAC은 기존에 연구되어진 LASMAC과 비교할 때 충돌 확률이 적을 뿐만 아니라 슬롯 이용률도 높음을 알 수 있었다. 또한 HMAC을 이용하여 트래픽 특성에 따른 슬롯 할당을 통하여 우선순위를 지원할 수 있는데, 현재 이에 대한 연구가 이루어지고 있다.

참고문헌

- [1] Masatoshi Sekine, Shojiro Takeuchi, Kaoru Sezaki "An Energy-Efficient MAC Protocol with Lightweight and Adaptive Scheduling for Wireless Sensor Networks," *IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS) 2007* pp. 1-12, Jan. 2007
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," *IEEE Trans. on Networking*, Vol. 12, Issue3, pp. 493-506, June 2004
- [3] T. Dam, K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *ACM Sensys'03*, Nov 2003, LA, California, USA
- [4] G. Lu, B. Krishnamachari, and C. Raghavendra, "An Adaptive Energy-Efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Sensor Networks," *In Int. Workshop on Algorithms for Wireless, Mobile, Ad Hoc and Sensor Networks (WMAN)*, 2004.
- [5] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," *ACM SenSys' 04*, Nov 2004, Baltimore, Maryland, USA
- [6] M. Buettner, G. Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: A short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless networks," *SenSys'06*, Boulder, CO, Nov. 2006, pp. 307-320.
- [7] Y. C. Tay, K. Jamieson, and H. Balakrishnan, "Collision-Minimizing CSMA and Its Applications to Wireless Sensor Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 22, No. 6, Aug 2004
- [8] R. Kannan, R. Kalidina, and S. S. Iyengar, "Energy and Rate Based MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *ACM SIGMOD*, Vol 32, No. 4, Dec 2003
- [9] T. Zheng, S. Radhakrishnan, and V. Sarangan, "PMAC: An adaptive energy-efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks," *The 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05)*, April 2005, Denver, Colorado, USA
- [10] Yongsub Nam, Hojin Lee, Hakyun Jung, Taekyoung Kwon, and Yanghee Choi, "An adaptive MAC (A-MAC) protocol guaranteeing network lifetime for wireless sensor networks," *European wireless*, Apr. 2006
- [11] I. Rhee, A. Warriar, M. Aia, and J. Min, "Z-MAC: a Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks," *ACM SenSys'05*, Nov. 2005, San Diego, California, USA
- [12] V. Rajendran, K. Obraczka, and J. Garcia-Luna-Aceves, "Energy-efficient, collision-free medium access control for wireless sensor networks," *SenSys'03*, Los Angeles, CA, Nov. 2003, pp. 181-19

저자소개



이 진 영(Jin-young Lee)

1998.2 상명대 정보과학과 학사
2000.2 상명대 정보처리학과 석사
2003.2 상명대학교 컴퓨터과학과
박사 수료

2005.1 ~ 현재 SK C&C U-Biz. 연구소 선임연구원

※관심분야 : Ubiquitous Sensor Network, Wireless LAN,
Wireless-TCP, Internet QoS



김 성 철(Seong-Cheol Kim)

1995. 6 Polytechnic University
(NY) 공학박사(Ph.D)

1994. 6 ~1997. 2
삼성전자(주) 수석연구원

1997.2 ~ 현재: 상명대학교 교수

※관심분야 : WLAN, 센서네트워크, QoS, 멀티미디어
통신, 유비쿼터스