

무선센서네트워크를 위한 에너지 효율적인 MAC 프로토콜 설계

강현중[†]·임혁진[†]·주휘동[†]·이명훈^{**}·여 현^{**}

순천대학교

Design of Energy Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks

Hyun-joong Kang[†], Hyuk-jin Lim[†], Hui-dong Ju[†], Myung-hun Lee^{**}, Hyun Yoe^{**}

[†] ^{**}Sunchon National University

Email : {hjkang[†], polyhj[†], jhd0502[†]}@mail.sunchon.ac.kr, {leemh777^{**}, yhyun^{**}}@sunchon.ac.kr

요 약

본 논문에서는 WSN(Wireless Sensor Networks)을 구성함에 있어 에너지 소비효율이 우수한 MAC 프로토콜을 제안하고자 한다. WSN은 매우 작은 크기의 단말에 무선통신모듈, MPU, 센싱모듈 등을 탑재하고 환경데이터를 측정하며 이를 자가망 구성을 통해 수신단으로 전송하는 기술을 말한다. 이러한 WSN에서 사용되는 단말은 에너지자원이 한정적인 단점이 있으며, 이를 극복하기 위한 효율적인 네트워크 운영이 최근 주요 이슈로 등장하고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 S-MAC을 개선하여 네트워크를 구성하는 단말들이 보다 효율적으로 에너지를 소모하도록 유도함으로써 네트워크 상태에 맞는 스케줄링과 데이터 전송이 이루어지게 하는 방법을 제안한다.

ABSTRACT

In this paper, we present an energy efficient MAC protocol for WSN(Wireless Sensor Networks). WSN is a self organized network to collect environmental data by small size sensor nodes which consist of wireless communication unit, MPU, sensing module etc.. In the WSN, such sensor nodes operate with limited energy and how efficient use this network has been debated recently. Therefore, we present a method to consume energy equally by modifying existing S-MAC for efficient scheduling and data transmission.

키워드

WSN, Sensor, network, S-MAC

I. 서 론

무선 센서 네트워크를 구성하는 센서노드는 교환이 불가능한 유한의 배터리로 동작하는 경우가 많아 네트워크를 구성하는 센서노드는 배터리의 수명 이내에서만 센싱한 정보를 전송할 수 있다[1]. 따라서 센서네트워크를 구성하는 센서노드가 보다 효율적으로 에너지를 소모하도록 하기 위해 다양한 기술이 연구되고 있다. 특히나

센서노드에서 소모하는 에너지 중 가장 많은 부분을 무선통신모듈이 소모하므로 이를 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 관점에서 다양한 센서 네트워크 프로토콜이 연구되어 왔으며, 이들 중 MAC 계층과 네트워크 계층의 기존 프로토콜을 응용하거나 개선하는 많은 아이디어가 제안되어 왔다. 특히나 MAC 을 개선하는 것은 무선통신모듈을 직접적으로 제어함으로써 에너지 소모를 최소화 하는데 필수적이다.

이러한 MAC 프로토콜에서 에너지 낭비의 주요 원인은 idle listening, collision, control packet overhead, overhearing 등[1] 이다. 여기에서 collision은 데이터의 안정성을 막고 노드의 에너

* 본 논문은 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
IITA-2007-(C1090-0701-0047)

지 소모를 불균일하게 하는 요소이다. 본 논문에서는 이러한 collision을 줄이고자 데이터 전송에 참여한 노드와 참여하지 못한 노드를 접근가능 확률로 차별화 하여 모든 노드가 공평하게 데이터를 전송하는 Capacity based S-MAC을 제안한다. 제안하는 방법을 통해, 각 노드가 데이터 전송 횟수에 따라 차별화된 접근성을 가짐으로써 네트워크를 구성하는 대부분의 노드로부터 센싱한 data를 수신 받을 수 있고 각각의 노드가 어느 정도 균등한 에너지를 소모하도록 유도할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 S-MAC[2]과 Adaptive listen S-MAC[3], T-MAC[4]과 같은 기존 연구에 대해 설명한다. 그리고 3장에서는 제안된 MAC 프로토콜 방법에 대해 서술하며, 4장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대해 언급한다.

II. 관련 연구

2.1 S-MAC

S-MAC은 IEEE 802.11[5]과 같이 경쟁 기반 MAC 프로토콜로 노드마다 채널 접근 기회와 접근 시간에 대한 공정성 및 지연보다는 에너지 보존과 기반 구조 없이 자기 스스로 네트워크를 구성할 수 있는 특징을 가진다. 기본개념은 PAMAS[6]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)를 요구하는 네트워크 응용을 위해서 경쟁으로 인한 지연을 감소시키기 위해 메시지 패싱(message passing)을 지원한다.

S-MAC은 무선 네트워크의 링크 계층에서 문제되는 히든 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 데이터전송이 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 동작 원리

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 노드 간 동시 listen/sleep 모드가 가능한 것은 모든 인접 노드들이 자신들의 스케줄 정보를 브로드캐스팅을 통해 교환함으로써 가능하다. 이웃 노드 간 스케줄 정보는 SYNC 패킷에 의해 이루어지며, 주기적으로 교환되는 SYNC 패킷의 sleep time 필드에 의해 이웃 노드 간 동기화가 이루어진다[7].

2.2 Adaptive listen S-MAC

Adaptive listening S-MAC 프로토콜은 에너지 소비와 홉 간 전송 지연을 상충시킨 프로토콜로 S-MAC 프로토콜보다 에너지 효율은 줄어 들고 홉 간 지연의 성능은 향상된다.

Adaptive listening S-MAC 프로토콜의 기본적인 동작은 그림 2와 같다. 논의된 바와 같이, S-MAC 프로토콜은 능동구간과 수면구간의 시간이 정해져 있기 때문에 한 번의 데이터 전송이 완료된 후에는 다음 주기의 능동구간이 되기 전까지는 다른 노드에게 데이터를 보낼 수가 없다 [8]. Adaptive listen S-MAC 프로토콜에서는 이에 대한 보완으로 RTS와 CTS에 자신의 스케줄 정보를 담아 보내어 이웃 노드들이 데이터 전송이 끝나는 시점에 깨어나도록 하여 수면 구간에서도 능동 상태로 전이하여 RTS와 CTS 전송이 가능하도록 하였다[9].

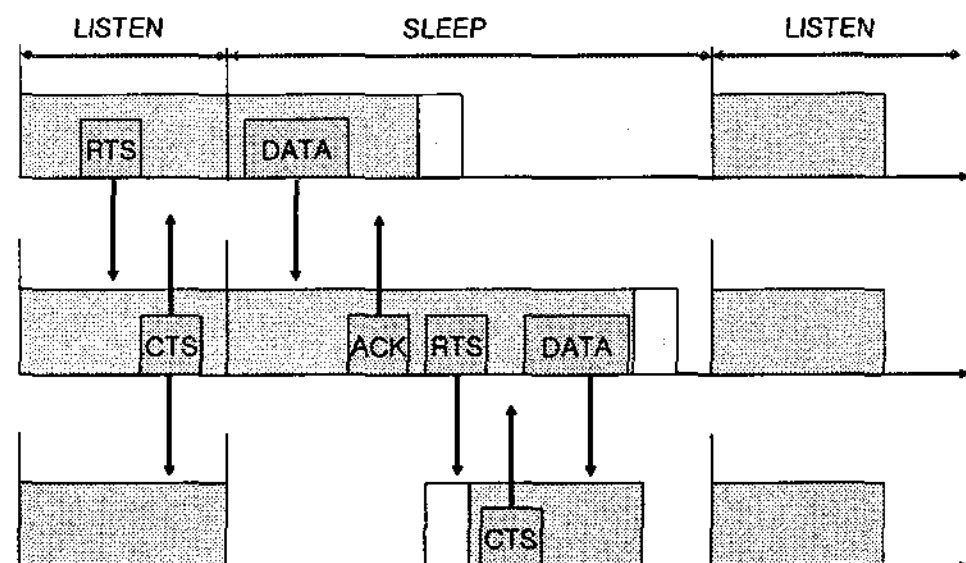


그림 2. Adaptive S-MAC의 동작원리

2.3 T-MAC

S-MAC 프로토콜의 필요 없는 능동구간을 좀 더 줄이기 위한 프로토콜로 T-MAC(Timeout) 프로토콜이 있다. 그림 3에서와 같이 T-MAC 프로토콜은 그림 1의 S-MAC 프로토콜과 비교해 볼 때 능동구간의 시간이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

T-MAC 프로토콜은 현 상태가 능동구간일지라도 더 이상 데이터를 보낼 필요가 없을 때는 수면 모드로 전환하도록 해서 에너지 효율을 더 높이도록 한 것이다.

여기에서 TA는 능동 구간의 수면모드로 전환하는 시점을 판별하는 중요한 요소로, $TA > C + R + T$ 과 같은 식에 의해 결정된다. 여기에서, C, R, T는 각각 경쟁 구간의 길이, 패킷의 길이, 되돌아오는 시간을 나타낸다[9].

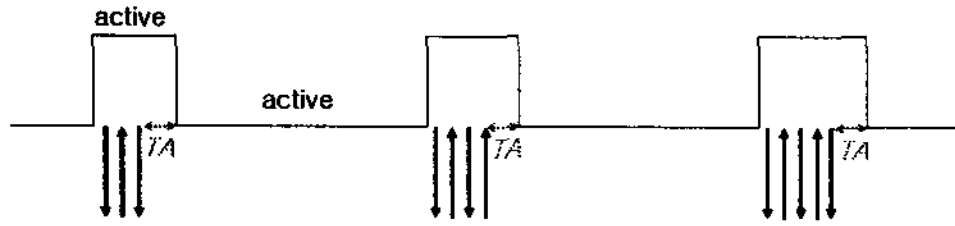


그림 3. T-MAC의 동작 원리

III. 제안 모델

기존의 S-MAC, Adaptive listen S-MAC, T-MAC 등은 에너지 소모 측면에서는 매우 효율적인 방법이다. 하지만 경쟁을 기반으로 하는 세 가지 기법 모두 노드가 데이터를 보내는데 있어 전체 노드로부터 평균적인 값을 받았다고 볼 수 없다. 따라서 본 논문에서는 전체 노드로부터 평균적인 수치를 수집하고자 개선된 S-MAC을 제안한다. S-MAC에서는 RTS/CTS 방식을 사용하는데, 참여하는 노드가 많은 경우 Listen 주기 동안 데이터 전송 기회를 얻지 못하는 노드가 생길 수 있다.

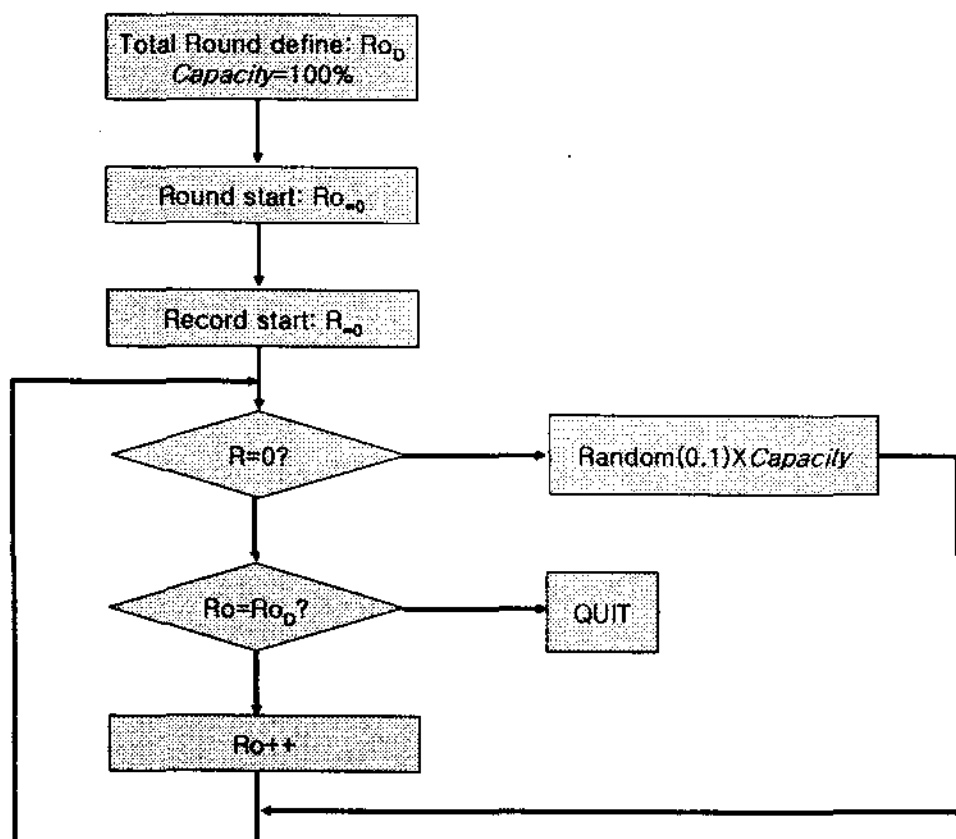


그림 4. 전체 Round 흐름도

Ro 는 전체 라운드의 수를 정의, Capacity는 초기에

100%로 설정, Capacity는 경쟁 참여 성공률. 각 노드의 전송이력 $R=0$ 으로 설정,

그림 4. 는 제안하는 Capacity based S-MAC의 전체 라운드 흐름도를 간략화 한 것이다. 흐름도에서 보듯, 초기에 정의한 전체 Round: Ro 가 될 때 까지 경쟁에 참여한 노드는 Capacity 값에 $random(0,1)$ function을 곱하여 경쟁에 참여할 수 있는 참여 성공률을 낮춘다.

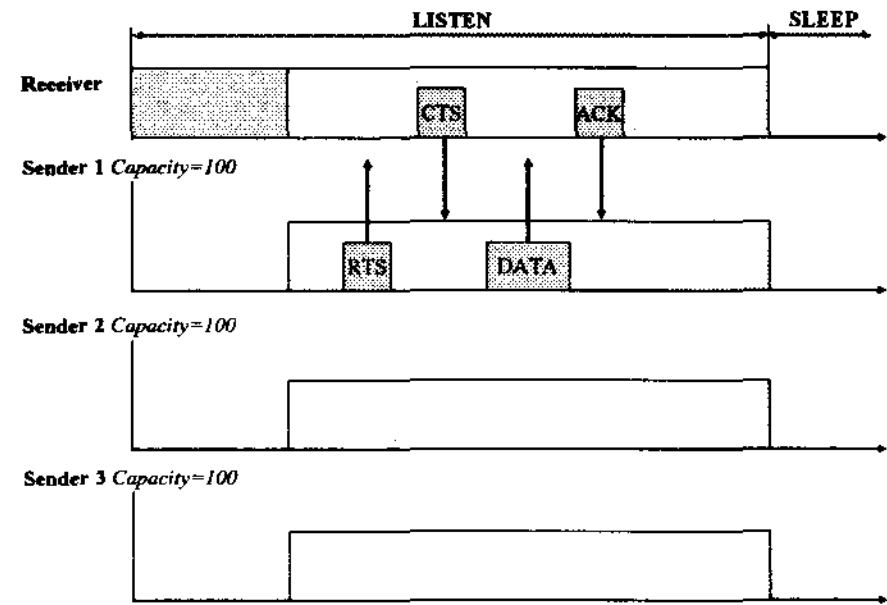


그림 5. Capacity based S-MAC: Round 1

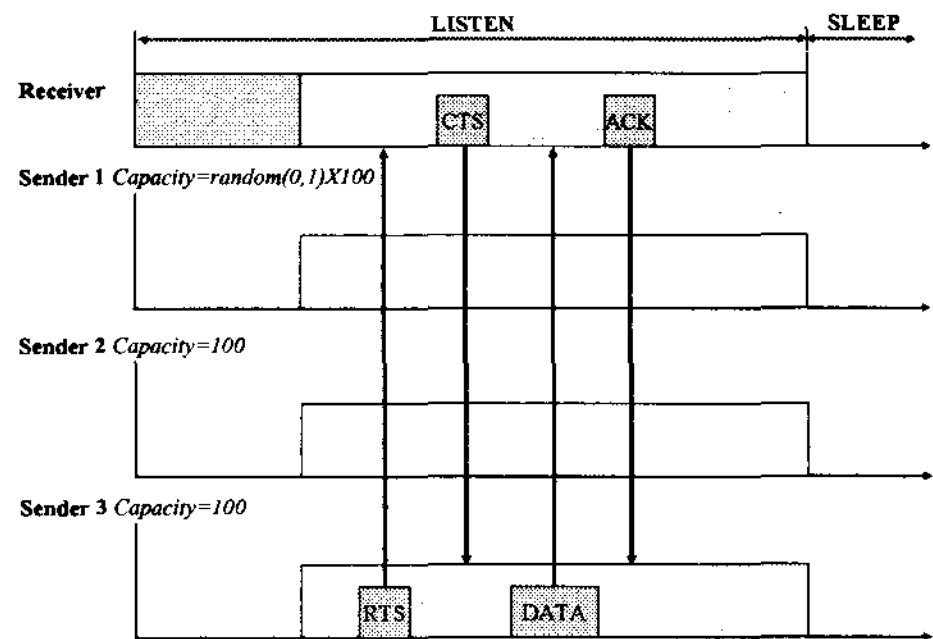


그림 6. Capacity based S-MAC: Round 2

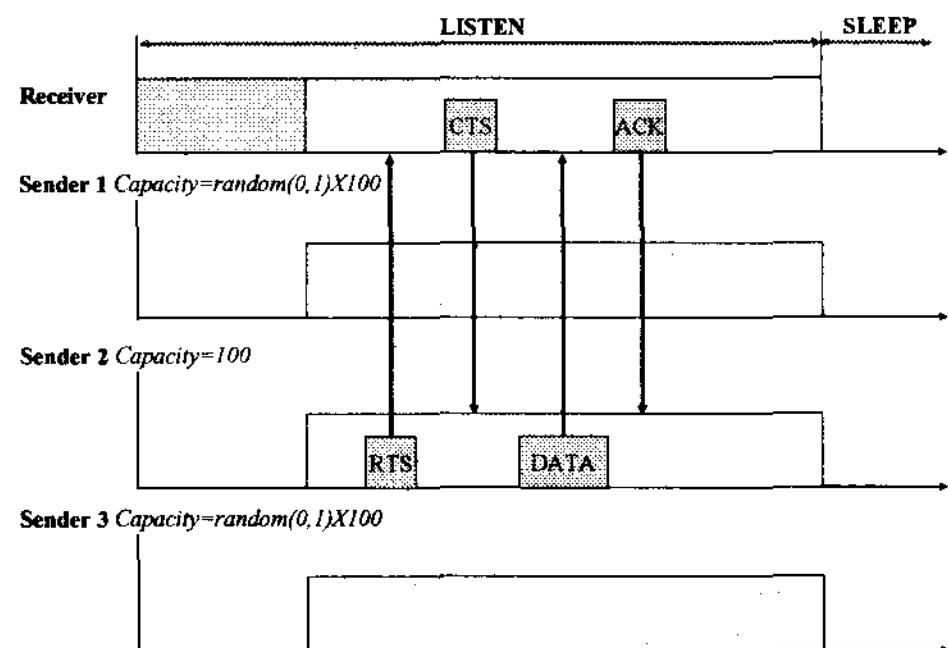


그림 7. Capacity based S-MAC: Round 3

그림 5, 6, 7에서 보듯 제안하는 Capacity based S-MAC에서 sender 들은 이전 전송이력을

기초로 $random(0,1)$ function을 이용해 전송경력이 있는 경우 경쟁 참여 성공률: *Capacity* value를 random하게 해당 노드에 적용한다. 여기에서 $random(0,1)$ function은 C++ 등에서 사용되는 pseudo-random number generator로 0과 1 사이의 임의의 수를 생성해 이를 Capacity에 곱한다. 전체 Round는 최초에 설정이 되도록 하며 S-MAC 상에서 각각의 가상의 클러스터를 구성하는 평균노드의 수를 기초로 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 S-MAC을 기반으로 노드가 데이터를 보낼 때, 경쟁을 통해 전송한 이력을 기초로 다음번 경쟁에 참여할 수 있는 가능성을 줄여, 경쟁에서 탈락하여 데이터를 전송하지 못한 노드가 상대적으로 경쟁 우위에 있도록 함으로써 데이터를 전송할 수 있는 가능성을 높이는 방법을 제안하였다.

S-MAC은 주기적인 Listen과 Sleep을 반복하므로 다른 방법에 비해 무선통신모듈의 사용을 획기적으로 줄일 수 있다. 하지만 데이터 전송을 경쟁기반으로 하다 보니 전체 노드로부터 평균적인 데이터를 수신한다고 보기 어렵다.

따라서, 본 논문에서 제안하는 확률 기반의 경쟁 참여율 조절 방법을 통해 네트워크에 참여중인 노드들로부터 보다 균등한 데이터 값을 수신할 수 있을 것으로 기대한다.

향후 연구로는 제안한 방법을 시뮬레이션 틀을 통해 검증하고 또한 이를 실제 센서노드에 적용해 시뮬레이션과 실제값을 비교하는 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

[1] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin. "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks". IEEE/ACM Trans. Netw., 12(3):493--506, 2004.

[2] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", in: 21st Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), vol. 3, pp. 1567-1576. June 2002.

[3] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol 12, No 3, pp493-506, June 2004.

[4] T. V. Dam, K. Langendoen, "Adaptive

energy-efficient MAC protocol. for wireless sensor networks", SenSys'03, November 5-7, 2003, Los Angeles, California, USA.

[5] A. S. Tanenbaum, "Computer Networks," 2nd Ed., Prentice Hall PTR, 1996, pp. 262 - 265.

[6] 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.

[7] 김상수·차우석·조기환(전북대) "S-MAC에서 효율적인 데이터 전달 방안 프로토콜", 한국컴퓨터종합학술대회 2005 논문집 Vol. 32, No. 1(A), P1.07-17

[8] 송영미, 서창수, 고영배, "무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성과 전송 지연 최소를 동시에 고려한 MAC 프로토콜", 한국컴퓨터종합학술대회, 2005 논문집 Vol. 32, No. 1(A), pp 493-495, 2005.

[9] 박재홍, 류경식, 김용득 "무선 센서 네트워크에서의 S-MAC 기반의 에너지 효율적인 MAC 프로토콜", 전자공학회 논문지 제 44 권 CI 편 제 2 호, 2007년 3월, pp. 19 ~ 24