

무선 센서 네트워크에서의 에너지 절감을 위한 SR패킷 MAC 프로토콜에 관한 연구

박재성¹, 이종용², 이상훈^{2*}
¹광운대학교 정보통신대학원, ²광운대학교 교양학부

A Study on SR Packet MAC Protocol for Energy Saving in Wireless Sensor Network

Park Jae Sung¹, Lee Jong Yong² and Lee Sang Hun^{2*}

¹Kwangwoon University Graduate School of Information & Communication

²Kwangwoon University General Education

요 약 무선 센서 네트워크에서의 통신은 여러 계층으로 나뉘어 각 계층별 역할을 수행하므로 무선통신이 가능할 수 있다. 센서 네트워크에서의 통신계층 중 하나인 MAC(Medium Access Control)계층은 데이터의 에러, 흐름을 제어하고 자원을 관리하기 위해서 사용되며 MAC Protocol을 사용하여 센서 노드간의 통신을 보장한다.

본 논문에서는 에너지 효율성 측면을 강조한 S-MAC, T-MAC 프로토콜의 문제점을 알아보고 SYNC 패킷에 RTS 패킷이 추가된 기법을 이용하여 컨트롤 패킷 전송 시간동안 꼭 필요한 노드만 컨트롤 패킷을 송수신하고, 나머지 노드들은 Sleep 함으로써, 모든 노드가 깨어있는 시간을 효율적으로 줄여 에너지 효율성을 강조하였다. SYNC+RTS 패킷을 보내고 패킷을 받는 노드는 순간 자신이 이번 주기 동안 깨어 있을 필요가 없음을 알고 바로 Sleep모드로 들어가서 기존의 MAC프로토콜보다 에너지가 효율적임을 수학적으로 증명하고 MATLAB으로 시뮬레이션 하였다.

Abstract The communication in wireless sensor network is divided into several layers, because of each of them do their role, the wireless communication is possible, the MAC (Medium Access Control) layer of the one of sensor network communications layer is used to the data errors, control flow, and manage resources. Using MAC Protocol, it ensures the communication between sensor node.

In this paper, highlighted the energy efficiency of the S-MAC, T-MAC protocol it emphasized the efficiency of energy by lessening the woken time of all nods effectively, transmitting and receiving the control packet on only necessary nods through use of a method that RTS packet is added to SYNC packet and making other nods sleep. On sending SYNC+RTS packet and receiving the packet, nod noticed that it wasn't necessary to be awaked on this period, would be in Sleep mode, demonstrated mathematically that energy is more effective than existing protocol, and simulated with MATLAB.

Key Words : Wireless Sensor Network, S-MAC, T-MAC Protocol, Energy Saving, Active Time

1. 서론

유비쿼터스(Ubiquitous)는 사물 간 네트워크를 통해 통신하며 지능화, 자율화 되어 생산, 유통, 물류 등의 경제 활동 서비스, 의료, 요양 등의 복지 서비스 그리고 환

경서비스 등 새로운 유비쿼터스 서비스를 창출하게 되고 이로 인해 인류의 삶을 더욱 윤택하게 해주는 기술로 각광받고 있다[1,2].

무선 센서 네트워크에서의 통신은 여러 계층으로 나뉘어져서 각 계층별 역할을 수행하므로 무선통신이 가능할

본 논문은 2009년도 광운대학교 교내 학술 연구비 지원에 의해 연구 되었음

*교신저자 : 이상훈(leesh58@kw.ac.kr)

접수일 10년 03월 17일

수정일 (1차 10년 05월 06일, 2차 10년 05월 10일)

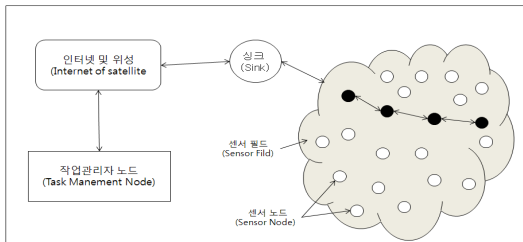
게재확정일 10년 05월 13일

수 있다. 센서 네트워크에서의 통신계층 중 하나인 MAC (Medium Access Control)계층은 데이터의 에러 및 흐름을 제어하고, 자원을 관리하기 위해서 사용되며 MAC Protocol을 사용하여 센서 노드간의 통신을 보장한다 [3,4].

본 논문에서는 에너지 효율성 측면을 강조하기 위해서 MAC프로토콜의 문제점을 알아보고 SR패킷 프로토콜 이용하여 기존의 MAC 프로토콜보다 에너지 효율적인 측면에서 수학적 분석과 시뮬레이션을 통해 효율적임을 보였다.

2. MAC 프로토콜 분석

2.1 센서 네트워크의 통신구조



[그림 1] 센서 네트워크의 통신구조

센서 노드는 일반적으로 그림 1에서 보는 것처럼 센서 필드 내에서 흩어져 있다. 흩어져 있는 각각의 센서노드들은 싱크를 통해서 되돌아온 데이터를 수집할 수 있는 능력이 있다. 데이터가 그림 1에서 보여지는 것처럼 노드에서 수집한 데이터는 사용자에게 의해서가 아니라, 멀티홉 구조(multihop infrastructure)의 통신 기법을 통해 싱크로 전달된다. 싱크는 인터넷이나 위성통신(internet and satellite)를 통해 태스크 관리자 노드(Task management node)로 전달된다[5,6].

2.2 MAC 프로토콜

MAC 프로토콜은 네트워크 인프라를 형성하고 노드들 간의 통신 자원을 공평하고 효율적으로 공유할 수 있도록 한다[7,8].

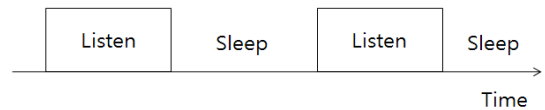
2.2.1 S-MAC프로토콜

S-MAC(Sensor-MAC)은 센서 네트워크를 위해 가장 처음 제안된 다중접속 프로토콜로 전력 소모를 줄이는 것을 주된 목적으로 개발 되었다. 하지만 S-MAC에서는 전력 소모 최소화뿐만 아니라 충돌의 최소화와 시스템

확장성 또한 중요한 시스템 요소로 다루지고 있다. [9,10]

무선 센서 네트워크에서의 데이터 발생률이 매우 낮은 경우 노드가 항상 listening을 유지하는 것은 idle listening으로 인한 에너지 낭비의 원인이 되는데, 이러한 문제점을 해결하기 위해 S-MAC은 duty cycle을 적용하여 노드가 주기적으로 sleep모드로 들어가게 함으로써 idle listening 시간을 줄일 수 있다. S-MAC은 주기적인 listen and sleep과, 오버헤어링 회피 등 주된 기능이 있다.

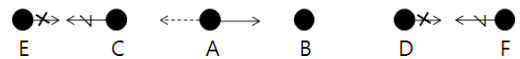
많은 센서 네트워크 응용에서 노드들이 사건이 발생한 것을 감지하지 못했다면, 오랫동안 idle한 상태로 있게 된다. 노드들은 이 기간에 listen상태를 유지할 필요가 없다. 이런 프로토콜은 주기적으로 sleep 모드로 전환 되서 listen time을 감소시킬 수 있다.



[그림 2] 주기적인 Listen and Sleep

기본적인 기술은 그림 2에서 보여주고 있다. 각 노드는 sleep 모드로 있다가, 깨어난 후 다른 노드가 통신을 원하는지를 알기 위해서 listen하게 된다. Sleep 동안에 노드는 radio를 turn off한 후에 나중에 스스로 깨어나기 위해 타이머를 설정하고 listen과 sleep 의 한 주기를 프레임이라 부른다.

다음은 충돌 회피를 위해 RTS/CTS기법을 확장한 오버헤어링 회피기법이다.



[그림 3] 오버헤어링 회피

노드 A가 B에게 데이터 패킷을 보냈을 때 위 그림 3에서 보듯이 E, F 노드는 간섭을 하지 않기 때문에 그들은 sleep모드로 들어가지 않아도 된다. C는 B로부터 2홉 떨어져 있으며 B로부터 방해받지 않는다. 그래서 E와 같이 다른 이웃 노드들에게 전송이 자유롭다. C는 E에게 전송을 할 수 있지만, A가 패킷을 송신 중일 때는 C가 E로부터 응답을 받을 수 없다. 그래서 C가 에너지 소비의 원인이 된다. 따라서 송신 노드와 수신노드의 모든 단일 홉 이웃 노드들은 RTS/CTS를 수신한 후 현재 패킷 송신이 끝날 때까지 sleep 모드로 들어가지 않는다.

2.2.2 T-MAC(Timeout-MAC)프로토콜

T-MAC은 S-MAC에 부가적인 기능을 추가한 다중 접속 프로토콜 이다. S-MAC과는 달리 수신자가 짧은 Listening Period에서 패킷을 수신 받지 못하면 바로 Sleep 모드로 전환할 수 있다. 이는 시스템의 전체적인 Wake-up 시간을 줄여 전력을 보존할 수 있도록 해준다.

2.3 MAC 프로토콜의 Active Time 분석

S-MAC, T-MAC 프로토콜과 T-MAC에서 데이터가 송수신 될 확률값을 변경하여 active time을 분석한다.

고정된 duty cycle을 사용하는 S-MAC은 기존의 전통적인 무선 MAC 프로토콜보다 에너지 효율성 측면에서는 좋은 결과를 가져오지만, 센서 네트워크에서 노드가 센싱 하는 데이터의 양이 극히 적은 경우 불필요한 idle listening을 수행하므로, 에너지 효율성이 떨어지게 된다.

무선 네트워크에서 데이터를 전송하기 위해서는 전송 매체를 경쟁을 통해 확보한 다음 제어 신호를 전송한 이후에 데이터를 전송하게 된다. 그러나 센서 네트워크에서 작은 양의 데이터를 전송하기 위해 제어 신호를 많이 사용하는 것은 에너지 효율적인 측면에서 비효율적이라 할 수 있다.

이러한 문제점들 중에서 최우선적으로 에너지 효율성의 문제에 대해서 S-MAC, T-MAC의 active time에 대해서 수학적으로 분석한다.

2.3.1 Active Time분석

S-MAC과 T-MAC 프로토콜의 성능을 검증하기 위해서 에너지 효율성에 대해서 수학적으로 분석하고, active time의 파라미터는 아래의 표 1과 같다.

[표 1] Active time의 파라미터 분석

T _t	Active 모드에서 라디오 켜져 있는 전체 시간
T _A	각 프레임에서 active 시간
T _{on}	각 프레임의 라디오가 켜지는 시각
T _{off}	각 프레임에서 라디오가 꺼지는 시각
T _l	마지막 패킷을 송수신한 시각
T _f	프레임의 전체 시간
T _o	T-MAC에서의 time out 시간
T _E	제한된 프로토콜 에서의 time out 시간
P	T-MAC의 Active 시간 동안 데이터가 없을 확률
Q	T-MAC의 Active 시간 동안 데이터가 있을 확률
R	SR패킷 프로토콜의 SYNC+RTS 수신 확률
S	SR패킷 프로토콜의 SYNC+RTS 미수신 확률
P + Q = 1, R + S = 1	

2.3.2 S-MAC 프로토콜의 Active Time 분석

S-MAC 프로토콜의 전체 active time은 각 프레임에서 라디오가 켜지는 시각에서 라디오가 꺼지는 시각의 차에 대해 전 프레임에 대한 합으로 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

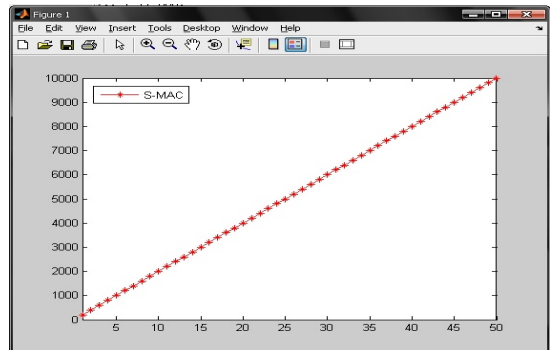
$$T_t = \sum_i T_{A_i} = \sum_i (T_{off_i} - T_{on_i}) \quad (1)$$

식(1)에서 프레임의 수(i)는 1부터 50으로 고려하였으며, MATLAB으로 소모되는 active time에 대한 식을 적용하여 결과를 살펴보았다. 에너지 사용시간 분석을 위해 파라미터는 표 2와 같이 고려하였다. 여기서 프레임 길이와 duty cycle을 각각 1000ms와 20%설정하였고, 프레임 길이의 20%와 각 프레임의 라디오가 켜지는 시각과 라디오가 꺼지는 시각의 차가 같도록 각각 300ms와 100ms로 설정하였다. 식(1)과 표 2의 파라미터 값을 이용하여 누적된 active time을 그래프로 표현하면 그림 4와 같다.

그림 4에서 S-MAC은 20%의 고정된 duty cycle의 일정한 active time에 라디오는 항상 송수신 모드가 가능하게 켜져 있으므로, 송수신할 데이터 유무에 상관없이 일정한 시간에 에너지가 소모되어 프레임이 증가함에 따라 에너지 소모량도 선형적으로 증가되는 것을 알 수 있다.

[표 2] 누적된 active time의 파라미터 값

frame length	1000ms
duty cycle	20%
T _{off}	300ms
T _{on}	100ms



[그림 4] S-MAC의 active time 분석

2.3.3 T-MAC 프로토콜의 active time분석

T-MAC프로토콜에서는 두 가지 경우의 확률로 구분된다. 먼저, 각 프레임 별로 active time동안 송수신 되는 데

이더가 없는 경우의 표 1에서 정의된 확률 P에 의하여 소모되는 active time(T_{A_p})는 식(2)과 같이 정의 된다.(단, P+Q=1)

$$T_{A_p} = P \times T_o \tag{2}$$

반면 active time동안 송수신 자료가 있는 경우 에너지가 소모되는 active time(T_{A_q})은 식(3)과 같이 정의 된다.

$$T_{A_q} = Q \times (T_l - T_{on}) + T_o \tag{3}$$

따라서 T-MAC 프로토콜에서의 전체 active time은 식(4)과 같이 정의 된다.

$$T_i = \sum_i (T_{A_p} + T_{A_q}) = P \sum_i T_o + Q \sum_i [(T_l - T_{on}) + T_o] \tag{4}$$

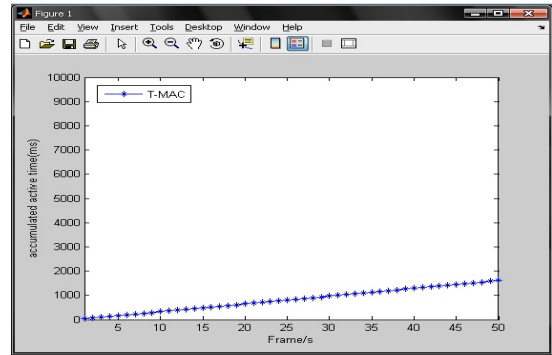
Timeout(T_o)의 시각은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_o > C + R + T \tag{5}$$

식(5)에서 C는 contention slot이며, R은 RTS 패킷의 길이, T는 RTS와 CTS 패킷 사이의 아주 짧은 시각이다. 식(6)에서 프레임의 수(i)는 1부터 50으로 고려하였으며, MATLAB으로 소모되는 active time에 대한 식을 적용하여 결과를 살펴보았다. 에너지 사용시간 분석을 위해 파라미터는 표 3과 같이 고려하였다. S-MAC과 같이 프레임 길이와 duty cycle을 각각 1000ms와 20% 설정하였고, 프레임 길이의 20%와 마지막으로 패킷을 송수신한 시각(T_l)은 T_{off} 에서 T_o 의 값을 뺀 275ms, Timeout시각(T_o)은 15ms, 송수신될 데이터의 확률 P, Q는 각각 0.5로 설정하였다. 식(6)과 표 3의 파라미터 값을 이용하여 누적된 active time을 그래프로 표현하면 그림 5와 같다.

[표 3] 누적된 active time의 파라미터 값

frame length	1000ms
duty cycle	20%
T_{on}	100ms
T_l	275ms
T_o	15ms
P	0.5
Q	0.5
C	23
R	10
10	10



[그림 5] T-MAC의 active time 분석

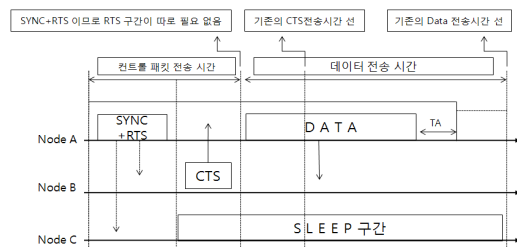
그림5에서 보듯이 T-MAC의 경우 S-MAC은 고정된 duty cycle이라서 위에서 언급한바와 같이 데이터 유무에 상관없이 일정한 시간동안 에너지가 소비되어 프레임이 증가함에 따라 에너지 소모량도 선형적으로 증가를 하지만, T-MAC의 경우에는 TA구간동안 데이터가 없다는 것을 인지하면 바로 sleep 모드로 들어가서 S-MAC에 비해 에너지 면에서는 효율적임을 그래프로 보여주고 있다.

3. SR패킷 프로토콜

기존 MAC프로토콜의 문제점은 컨트롤 패킷 전송시 간동안은 모든 노드가 깨어있어야 한다는 점이다. 본 논문에서는 이와 같은 단점을 극복하기 위한 기법 (SYNC+RTS패킷 프로토콜)을 제안한다.

3.1 SR패킷 프로토콜 기법

노드A가 노드B에게 데이터를 보낼 경우 각 노드들의 상태를 나타낸다. 그림에서 보듯이 SYNC 패킷에 RTS 패킷이 포함되므로 데이터 송수신에 참가하지 않는 노드C는 SYNC+RTS 패킷을 받는 순간 자신이 이번 주기 동안 깨어 있을 필요가 없음을 알고 바로 Sleep모드로 들어간다.



[그림 6] SR패킷 프로토콜의 동작과정

그리고 SYNC 패킷에 RTS패킷이 합쳐져 있기 때문에, 따로 RTS패킷을 보낼 필요가 없어진다. 즉, 데이터 송수신에 참가하는 노드 A, B는 기존의 프로토콜보다 RTS시간만큼 더 빨리 Data를 전송하므로, 그 만큼의 시간이 절약된다. 또한 일정한 시간 동안 아무것도 듣지 못한 경우 sleep 모드로 전환되므로 기존 MAC프로토콜보다 일찍 Sleep 모드가 가능하게 하므로 불필요한 idle listening을 줄일수 있다.

3.2 SR패킷 프로토콜 Active Time분석

SR패킷 프로토콜에서는 두 가지 경우로 구분된다. 먼저, SYNC+RTS 패킷을 수신하지 못하면 자신에게 전송하려는 노드가 없다고 판단하여 전원을 오프하고 sleep 상태로 전환되어 active 구간에서의 idle listening 시간의 에너지 소모를 절감할 수 있다. 제안한 알고리즘의 타이머는 이웃 노드로부터 RTS 패킷이 전송되는가를 인지하는 시점까지로 식(6)와 같다. ($T_o > T_E$)

$$T_E > C + \beta \quad (6)$$

제안된 프로토콜의 Active Time에서 SYNC+RTS 패킷을 수신하지 못한 경우 식(7)과 같이 정의된다.

$$T_{A_R} = R \times T_E \quad (7)$$

반면 제안된 프로토콜의 Active time 에서 SYNC+RTS 패킷을 수신한 경우 식 (8)과 같이 정의된다.

$$T_{A_S} = S \times [(T_l - T_{on}) + T_E] \quad (8)$$

따라서 SR패킷 프로토콜에서의 전체 active time은 식(9)과 같이 정의 된다.

$$T_i = \sum_i (T_{A_R} + T_{A_S}) = R \sum_i T_E + S \sum_i [(T_l - T_{on}) + T_E] \quad (9)$$

식(9)에서 프레임의 수(i)는 1부터 50으로 고려하였으며, MATLAB으로 소모되는 Active time에 대한 식을 적용하여 결과를 살펴보았다. 에너지 사용시간 분석을 위해 파라미터는 표 4와 같이 고려하였다. S-MAC과 같이 프레임 길이와 duty cycle을 각각 1000ms와 20%설정하였고, 프레임 길이의 20%와 마지막으로 패킷을 송수신한 시각(T_i)은 $(T_{off} - T_{on}) - T_o$ 값을 뺀 값이며, Timeout시각 (T_E)은 노드로부터 SYNC+RTS 패킷이 전송되는가를

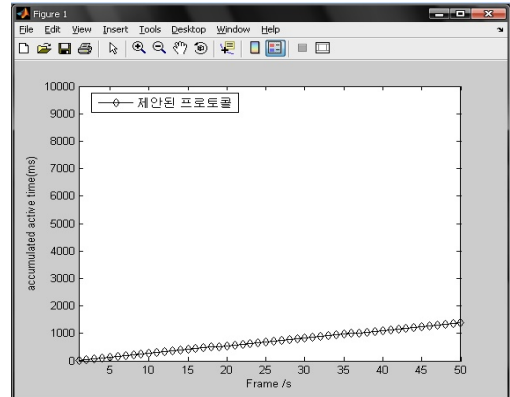
인지하는 시점까지로 $C + \beta$ 으로 설정하였다.

식(9)와 표 4의 파라미터 값을 이용하여 누적된 active time을 그래프로 표현하면 그림 7과 같다.

그림 7에서 보듯이 SR패킷 프로토콜의 경우 S-MAC은 고정된 duty cycle이라서 위에서 언급한바와 같이 데이터 유무에 상관없이 일정한 시간동안 에너지가 소비되어 프레임이 증가함에 따라 에너지 소모량도 선형적으로 증가를 하만, 제안된 프로토콜의 경우에는 타이머가 종료될 때 까지 이웃 노드로 부터 SYNC+RTS 패킷을 수신하지 못하면 자신에게 전송하려는 노드가 없다고 판단하여 전원을 오프하고 sleep 상태로 전환되어 active 구간에서의 idle listening 시간의 에너지 소모를 절감할 수 있다.

【표 4】 누적된 active time의 파라미터 값

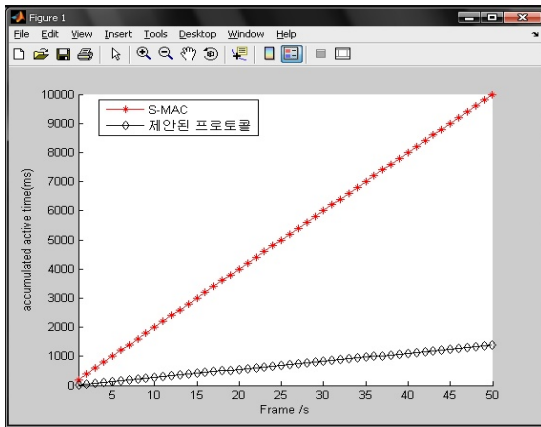
frame length	1000ms
duty cycle	20%
T_{on}	100ms
T_l	$(T_{off} - T_{on}) - T_o$
T_E	$C + \beta$
SYNC+RTS	14byte



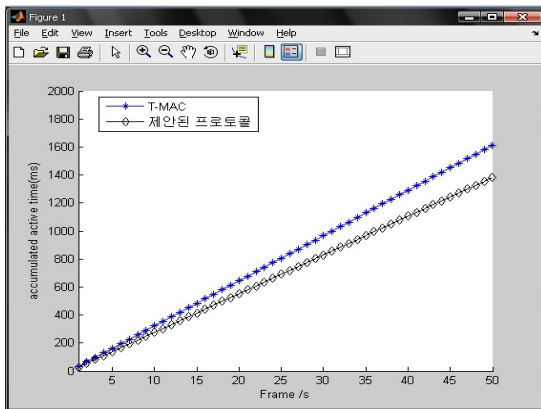
【그림 7】 SR패킷 프로토콜의 active time분석

3.3 S-MAC, T-MAC 프로토콜과의 비교

그림 8을 보면 SR패킷 프로토콜은 SYNC+ RTS 패킷을 받는 순간 자신이 이번 주기 동안 깨어 있을 필요가 없음을 알고 바로 Sleep모드로 들어가 에너지 소모가 절감 되었고 S-MAC은 매 단위 프레임별로 고정된 duty cycle인 200m동안 에너지가 사용되므로 소모되는 에너지는 시간에 비례하여 SR패킷 프로토콜보다 크게 증가되는 것을 알 수 있다. 그림 9에서도 SR패킷 프로토콜의 타이머 시간은 T-MAC 보다 작기 때문에 에너지는 10%정도 개선된 효과를 보여주고 있다.



[그림 8] S-MAC 과 SR패킷 프로토콜의 active time 비교



[그림 9] T-MAC 과 SR패킷 프로토콜의 active time 비교

4. 결론

본 논문에서는 에너지 효율성 측면을 강조한 S-MAC, T-MAC 프로토콜의 문제점을 알아보고 SYNC 패킷에 RTS 패킷이 추가된 기법을 이용하여 효율성을 강조하였다. 그리하여 기존의 MAC 프로토콜보다 에너지 효율적임을 본 논문에서 구현한 수치적 성능분석을 MATLAB 을 통해 수학적으로 분석하여 기존의 MAC 프로토콜에 비해 개선된 에너지 절감 효과를 나타내었다.

향후 센서 노드 버퍼에 임계값을 설정하여 기준 이상인 경우에만 전송함으로서 네트워크의 트래픽에 무관하게 idle listening으로 인한 에너지 소모를 최소화하고 긴급한 데이터에 대한 우선순위를 보장하면서 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 설계하는 방안에 대한 연구가 이뤄져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian and E. Cayirci, "A survey on sensor networks", IEEE Communications Magazine, vol.40, no.8, pp.102-114, 2002
- [2] Ilker Demirkol, Cem Ersoy, Fatih Alagoz. "MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey." Communications Magazine, vol.44, no.3, pp.115-121, 2006
- [3] Wei Ye, John Heidimann, Deborah Estrin. "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks." Transaction on Networking, vol.12, no.3, pp.1-14, 2004.
- [4] Tijs van Dam, Koen Langendoen. "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks." Proceedings of SenSys '03, ACM, Los Angeles, USA, pp.164-174. November 2003.
- [5] LAN MAN Standards Committee of the IEEE computer Society, IEEE Std 802.11-1999, wireless LAN MAC(Medium Access Control) and PHY(Physical layer) specification, IEEE 1999.
- [6] Chunlong Guo, Lizhi Charlie Zhong, Jan. M. Rabaey, "Low-Power Distributed MAC for Ad Hoc Sensor Radio Networks.", Proc. Internet Performance Symp. (Globecom '01) pp.2944-2948, 2001.
- [7] Guangyu Pei, Charles Chin, "Low Power TDMA inLarge Wireless Sensor Networks", Military Communications Conference, 2001.Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force. IEEE, vol.1, pp.28-31, 2001.
- [8] 조도현, 이철, 최진택, 김진수, 이상훈, 이종용, "USN에서 클러스터헤드 선출의 강건한 효율성 연구" 대한전자공학회, 전자공학회논문지, pp.11-17, 2009.
- [9] 이상훈, 이종용, 박재성, 김진수, "무선 센서 네트워크에서의 MAC 프로토콜 비교 분석" 한국산학기술학회, 2009 춘계 학술발표논문집, pp.195-200, 2009.
- [10] 홍진근, "센서네트워크에서 S-MAC 공격에 따른 전력 효율성 분석" 한국산학기술학회, 한국산학기술학회논문지, v.10, no.2, pp. 345-350, 2009.

박 재 성(Park Jae Sung)

[정회원]



- 2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 정보통신 대학원 재학

<관심분야>
무선 네트워크

이 종 용(Lee Jong Yong)

[정회원]



- 1983년 2월 : 한양대학교 원자력 공학과 졸업(공학사)
- 1988년 2월 : 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1993년 8월 : 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1991년 3월 ~ 2004년 12월 : 광운대학교 정보과학교육원 대우교수
- 2005년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 교양학부 부교수

<관심분야>
자동제어, 로봇틱스, 영상인식

이 상 훈(Lee Sang Hum)

[중신회원]



- 1983년 2월 : 광운대학교 응용전자 공학과 졸업(공학사)
- 1987년 8월 : 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1992년 2월 : 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 정교수
- 2001년 ~ 2007년 : 세계기능경기대회(심사위원)
- 2006년 ~ 2007년 : 서울특별시 기능경기위원회(기술위원장)

<관심분야>
무선인터넷, 무선네트워크, USN, 영상인식 로봇틱스