

# 무선 센서 네트워크를 위한 효율적인 ACK 기법

조치우\*, 손재민\*, 한기준\*  
\*경북대학교 컴퓨터공학과  
e-mail : [color78@netopia.knu.ac.kr](mailto:color78@netopia.knu.ac.kr)

## An Efficient ACK Scheme for Wireless Sensor Networks

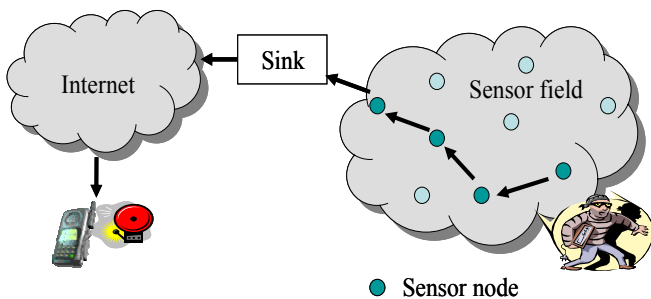
Chi-Woo Cho\*, Jae-Min Son\*, Ki-Jun Han\*  
\*Dept. of Computer Engineering, Kyung-Pook University

### 요 약

본 논문에서는 센서 네트워크(sensor networks)의 가장 대표적인 MAC 프로토콜인 S-MAC 의 에너지 효율을 높이기 위한 새로운 ACK(Acknowledgement) 기법을 제안한다. S-MAC 의 데이터 전송 절차는 Stop and Wait ARQ(Automatic Repeat Request) 방식을 사용하기 때문에 ACK 패킷으로 인한 불필요한 에너지 소비가 크다. 에너지 효율성은 센서 네트워크의 가장 중요한 고려사항이므로 불필요한 에너지 소비를 줄이는 새로운 ACK 기법을 제안한다. 우리는 시뮬레이션을 통해 S-MAC 과 제안된 ACK 기법의 에너지 효율을 비교했다. 시뮬레이션 결과에서 제안한 기법이 S-MAC 보다 에너지 효율성이 높았다.

### 1. 서론

무선 센서 네트워크는 최근 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)에서 핵심 기술로 떠오르고 있는 분야이다. 센서 네트워크는 군사용, 제조업, 운송업 등의 다양한 분야에 적용될 전망이다. 센서 네트워크는 일반적으로 크기가 작은 센서 노드로 구성된다. 센서 노드는 센서 필드에 뿌려지며 데이터를 수집하고 수집한 데이터는 멀티-홉을 거쳐 싱크 노드로 전송된다. 그림 1은 센서 네트워크의 일반적인 구성이다.



(그림 1) 센서 네트워크 구성도

센서 노드는 배터리의 충전이나 교체가 힘들기 때문에 에너지 효율성은 센서 네트워크의 가장 중요한 과제이다. 센서 네트워크에서 에너지를 소비하는 중요

한 요소로 충돌(collision), 오버히어링(overhearing), 비활성시 수신(idle listening), 제어 패킷의 오버헤드(control packet overhead)가 있다[1]. 불필요한 컨트롤 패킷의 송신과 수신은 네트워크의 에너지 효율을 저하시킨다.

본 논문에서는 S-MAC(Sensor MAC)의 데이터 전송 절차에서 ACK 패킷 수를 줄여 센서 노드의 에너지를 효율적으로 사용하게 하는 ACK 기법을 제안한다. 향후 센서 네트워크는 멀티미디어 데이터의 처리도 요구할 것이며, 에너지 효율성은 더욱 중요한 목표가 될 것이다[2].

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 센서 네트워크의 대표적인 MAC 프로토콜에 관해 소개한다. 3 장에서는 S-MAC 의 문제점을 소개하고 4 장에서 새로운 기법을 제안한다. 5 장에서는 시뮬레이션 결과를 보이고 6 장에서는 결론을 맺는다.

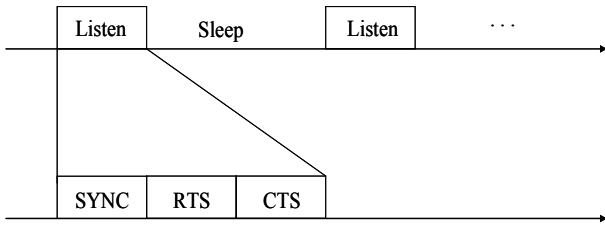
### 2. 관련 연구

센서 네트워크의 대표적인 MAC protocol 로는 IEEE 802.11, T-MAC, S-MAC 이 있다. 본 절에서는 각 MAC 프로토콜에 대해 소개하고 문제점을 제시한다.

IEEE 802.11 은 모든 노드가 활성화 상태에 있기 때문에 비활성시 수신으로 인한 에너지 소비가 크다. 노드들이 주기적으로 깨어나는 Power-Saving(PS) 모드가

있지만 단지 각 노드의 옵션일 뿐이다. T-MAC 은 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서 프레임을 활성 구간(active period)과 비활성 구간(sleep period)으로 구분한다. 활성 구간에서 이웃 노드와 통신하고 비활성 구간에서는 라디오 부를 꺼서 에너지 소비를 줄인다. 하지만 T-MAC 은 동적으로 활성 구간을 조절하기 때문에 노드 간의 동기화 문제가 발생한다[3][4].

S-MAC 은 센서 네트워크의 가장 대표적인 MAC 프로토콜이다. S-MAC 은 노드가 비활성시 수신상태에서 소비하는 에너지를 줄이기 위해서 주기적으로 리스닝(listening)과 슬립(sleep)을 반복한다. 그림 2 는 S-MAC 의 프레임 구조를 보여준다. 리스닝 구간은 SYNK 패킷을 위한 싱크 구간과 데이터 전송을 위한 구간으로 구분된다. 싱크 구간에서 노드는 자신의 스케줄 정보를 패킷에 담아서 방송(broadcast)한다. 그리고 데이터 전송 구간에서 이웃 노드들과 통신한다. 슬립 구간에서는 라디오 부를 꺼서 불필요한 에너지 소비를 막는다.



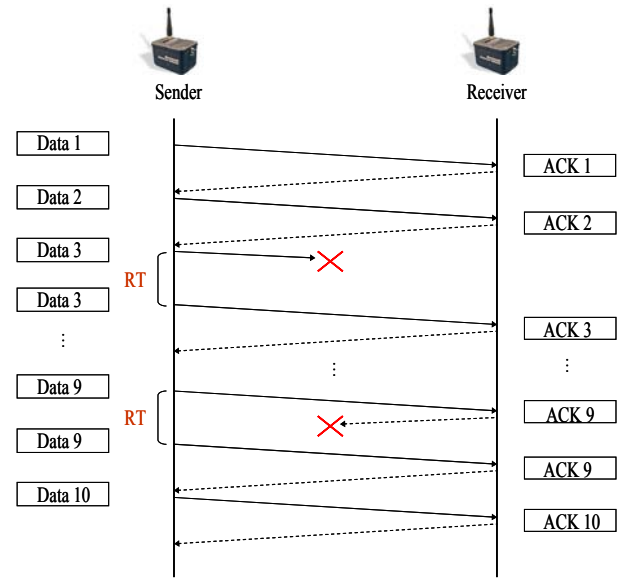
(그림 2) S-MAC 의 프레임 구조

그리고 S-MAC 은 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해서 송신 노드와 수신 노드는 RTS/CTS/DATA/ACK 의 순서를 따른다. RTS 와 CTS 를 들은 송신 노드와 수신 노드의 이웃 노드들은 슬립 상태로 전환해서 에너지 소비를 막는다[5].

### 3. S-MAC 의 문제점

센서 네트워크에서 센서 노드가 데이터를 수집하기 위해서는 노드는 패킷을 신뢰성 있게 전송해야 한다. 하지만 무선 네트워크에서 패킷은 에러(errors), 충돌(collisions) 때문에 전송 중에 유실 될 수 있다. S-MAC 은 에너지 효율성과 지연을 고려한 효율적인 패킷 전송을 위해서 Message Passing 기법을 제안했다[5]. Message Passing 은 IEEE 802.11 의 Stop and Wait ARQ 방식과 유사하다. IEEE 802.11 은 패킷을 프레임(fragment) 단위로 나누어 전송한다. RTS 와 CTS 는 첫 번째 프레임과 ACK 를 위한 시간만큼 채널(channel)을 예약한다. 첫 번째 프레임과 ACK 는 다음 프레임과 ACK 를 위한 가상의 RTS 와 CTS 의 역할을 한다. 프레임이 성공적으로 전송되면 수신 노드는 positive ACK 를 송신 노드에 전송한다. 이 방식에서는 송신 노드는 다음 프레임을 송신하기 위해서는 반드시 ACK 패킷을 수신해야 한다. 만약 전송한 프레임이나 ACK 패킷이 유실된다면 일정한 시간(ACK\_Timeout) 이후에 재전송을 한다. Stop and Wait ARQ 방식은 패킷 전송의 높은 신뢰성을

보장하고 구현이 용이하다[6]. 그림 3 은 IEEE 802.11 과 S-MAC 의 패킷 전송 과정을 보여준다.



(그림 3) S-MAC 의 데이터 전송 절차

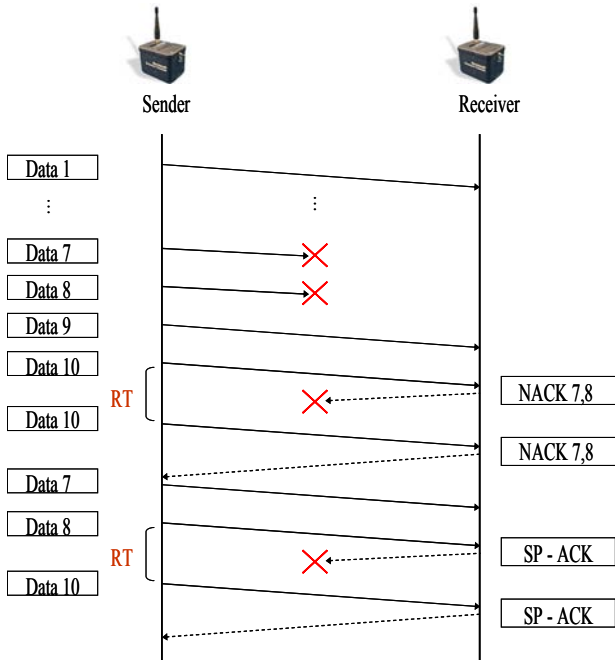
그러나 Message Passing 과 IEEE 802.11 ARQ 방식에는 차이점이 있는데 다음과 같다. 802.11 의 RTS 와 CTS 는 첫 번째 프레그먼트를 전송하고 ACK 를 수신하기 위한 시간을 예약하지만 S-MAC 의 RTS 와 CTS 는 전체 프레그먼트를 전송하기 위한 시간을 예약한다[3][5]. Stop and Wait 방식의 단점은 ACK 패킷을 수신하기 위해 기다리는 휴지 시간(idle time)이 크다는 것이다[7]. 또한 ACK 패킷을 전송하고 수신하는데 소비하는 불필요한 에너지가 크기 때문에 비효율적이다.

### 4. 제안된 ACK 기법

본 절에서는 ACK 패킷으로 인한 불필요한 에너지 소비와 휴지 시간(idle time)을 줄이는 효율적인 ACK 기법을 제안한다. 제안된 기법에서도 S-MAC 의 Message Passing 과 마찬가지로 패킷은 프레임 단위로 전송되고 RTS 와 CTS 또한 전체 프레임 전송을 위한 채널을 예약한다. 모든 패킷은 duration field 를 가지며 duration field 에는 현재 남아 있는 전송시간이 담겨있다. 송신 노드는 전체 프레그먼트를 ACK 패킷 수신 없이 연속해서 전송한다. 수신 노드는 마지막 프레그먼트를 수신하면 시퀀스 번호(sequence number)를 확인하여 유실된 프레그먼트가 있는지 판단한다. 유실된 프레그먼트가 있으면 송신 노드는 NACK 패킷을 전송한다. NACK 패킷은 유실된 프레임의 시퀀스 번호와 재전송 되어야 할 프레임의 개수를 담고 있다. 만약 유실된 프레그가 없다면 수신 노드는 단지 하나의 ACK 만을 전송한다. 만약 수신 노드에서 전송하는 NACK 또는 ACK 가 유실되면, 송신 노드는 일정한 시간(Retransmission Time)이 되면 마지막 프레그먼트를 재전송 한다. 송신 노드는 NACK 또는 ACK 전송 후에 마지막 프레그먼트를 다

시 수신하게 되면 전송 중에 유실이 발생했다고 판단하고 NACK 또는 ACK 를 재전송한다. 그러므로 마지막 프레임트는 데이터 전송뿐만 아니라 재전송을 요구하는 제어 패킷(control packet)의 역할도 수행한다.

S-MAC 이 프레임마다 ACK 패킷을 전송하는 이유는 숨겨진 노드 문제(hidden node problem)를 해결하기 위해서이다. 하지만 제안된 기법에서 전송이 완료되기 전에 깨어나는 수신 노드의 이웃들은 NACK 패킷을 수신하여 다시 슬립 구간으로 전환되기 때문에 문제가 되지 않는다. 그림 4 는 제안된 기법의 데이터 전송 절차를 보여준다.



(그림 4) 제안된 기법의 데이터 전송 절차

5. 시뮬레이션 및 평가

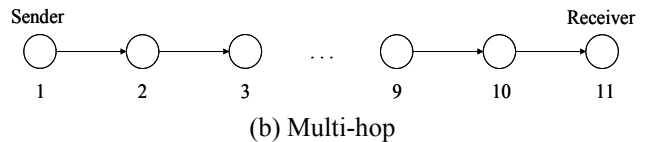
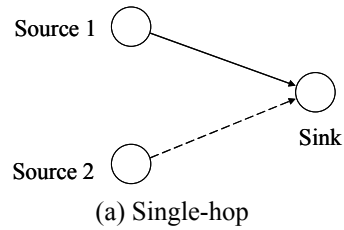
이 장에서 우리는 제안한 기법의 성능을 평가하기 위해서 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 한다. 실험에서 모든 노드는 패킷 전송에 실패는 없다고 가정했다. 표 1 은 성능 분석을 위한 파라미터를 보여준다.

<표 1> 성능 분석을 위한 파라미터

Parameter	Value
Channel bandwidth	20 Kbps
Control packet length	10 bytes
Data packet length	400 bytes
Duty cycle	10 %, 30%, 50%
Frame size	1000 ms
Transmit energy consumption	34 mW
Receive energy consumption	24 mW
Idle energy consumption	20 mW

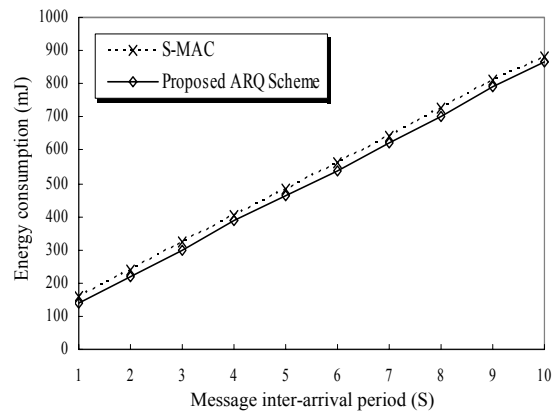
시뮬레이션은 싱글-홉(single-hop topology)과 멀티-홉

(multi-hop topology)에서 수행하였다. 네트워크 토폴로지는 그림 5 와 같다.



(그림 5) 네트워크 토폴로지

싱글-홉 토폴로지에서는 Source1 과 Source2 에서 패킷을 경쟁을 통해 싱크 노드로 전송한다. 전송하는 데이터 패킷과 제어 패킷은 각각 400 bytes 와 10 bytes 로 고정이며, 데이터 패킷은 40 bytes 로 프레임트 된다. 그리고 RTS, CTS 패킷으로 인한 에너지 소비는 고려하지 않는다. Source1 과 Source2 에서 각각 10 개의 패킷을 싱크 노드로 전송한다. 에너지 소비를 측정하기 위해서 source1 과 source2 의 송신(transmitting), 수신(receiving), 휴지(idle) 상태에서 소비하는 에너지를 측정하였고 센서 네트워크의 duty cycle 을 10%, 30%, 50%로 하여 실험하였다.

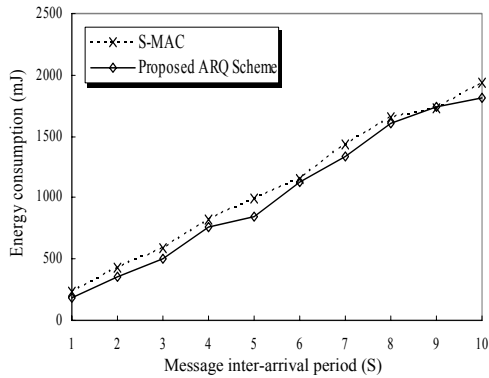


(그림 6) 10% duty cycle 에서의 에너지 소비

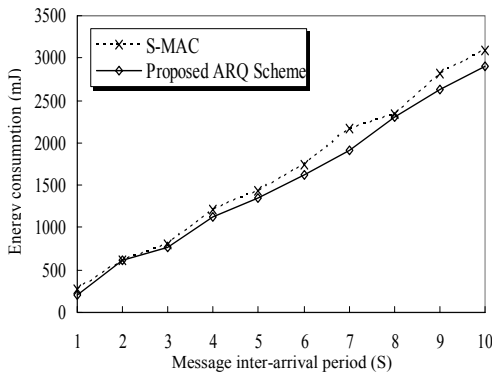
그림 6 은 10% duty cycle 에서의 에너지 소비를 보여준다. Message inter-arrival period 는 패킷이 발생하는 주기이다. Message inter-arrival period 가 낮을수록 트래픽 로드(traffic load)가 높다. 10% duty cycle 에서 제안된 기법은 S-MAC 에 비해 일정한 양의 에너지 효율성을 보였다.

그림 7(a), (b)은 30% duty cycle 와 50% duty cycle 에서의 에너지 소비를 보여준다. 10% duty cycle 의 결과와는 달리 각 트래픽 로드에서의 에너지 소비가 일정하지 않다. 그 이유는 duty cycle 의 증가로 인해 idle

상태에서 소비하는 에너지가 많기 때문이다. 그러므로 센서 네트워크에서 특정 어플리케이션에 따른 적절한 duty cycle 의 조절이 필요하다. 트래픽 발생이 빈번한 네트워크에서는 duty cycle 을 늘려주고 상대적으로 트래픽이 가벼운 네트워크에서는 duty cycle 을 줄여줄 필요가 있다.



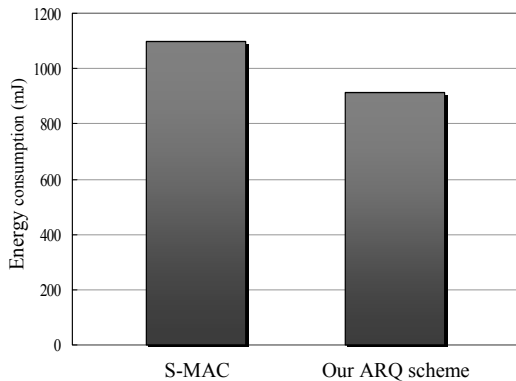
(a) 30% duty cycle



(b) 50% duty cycle

(그림 7) 30%, 50% duty cycle 에서의 에너지 소비

다음은 멀티-홉 토폴로지에서의 실험 결과이다. 기본적인 실험 방식은 싱글-홉 토폴로지의 방식과 동일하다. 노드 1 은 노드 11 로 멀티-홉을 통해 패킷을 전송한다. 이번 실험에서는 각 노드의 휴지(idle) 상태에서 소비하는 에너지는 측정하지 않는다. 그림 8 은 멀티-홉 전송에서의 에너지 소비를 보여준다.



(그림 8) 멀티-홉 토폴로지에서의 에너지 소비

그림은 제안된 기법이 S-MAC 보다 에너지 효율적이라는 것을 보여준다. 센서 네트워크의 규모가 커지고 전송에 참여하는 노드의 수가 증가할수록 상대적으로 많은 에너지를 저장할 수 있을 것이다.

## 6. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크의 대표적인 MAC 프로토콜에 대해 소개하고, S-MAC 의 에너지 효율을 높이기 위한 새로운 ACK 기법을 제안하였다. 새로운 기법은 기존 S-MAC 의 ACK 패킷으로 인한 불필요한 에너지 소비를 줄이기 위해 제안되었다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법이 S-MAC 의 데이터 전송 기법보다 에너지 효율적이었다. 데이터 전송에 참여하는 노드의 수가 증가할수록 저장되는 에너지가 증가하였다. ACK 패킷으로 인한 오버헤드를 줄임으로써 저장되는 에너지는 센서 네트워크의 수명(life time)을 증가시킬 것이다.

## 참고문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks," *INFOCOM*, pp. 1567-1576, June 2002.
- [2] M.Gerla and K.Xu, "Multimedia Streaming in Large-Scale Sensor Networks with Mobile Swarms," *SIGMOD*, vol.32, December 2003.
- [3] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification," *IEEE standard*, 1999.
- [4] T.van Dam and K.Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *SenSys*, pp.171-180, November 2003.
- [5] W. Ye, J. Heidemann, nad D.Estrin, "Medium Access Control with Coordinated, Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," *IEEE/ACM Transaction*, vol. 12, pp.493-506, June 2004.
- [6] D. Kliazovich and F. Granelli, "A Delayed-ACK Scheme for Performance Enhancement of Wireless LANs," *ICT*, August 2004.
- [7] M. de Lima, H. and Duarte O.C.M.B., "An Effective selective repeat ARQ strategy for high speed point-to-multipoint communications," *GLOBECOM 96*.