

# 무선 센서 네트워크에서 유연한 지연시간을 갖는 MAC 프로토콜

김광중, 김재현, 김학배  
연세대학교

e-mail : haya256@yonsei.ac.kr, macross7@yonsei.ac.kr, hbkim@yonsei.ac.kr

## A Flexible Delay MAC(FD-MAC) Protocol For Wireless Sensor Networks

Kim Kwang Jung, Kim Jae Hyun, Kim Hak Bae  
Yonsei Univ.

### 요 약

고정된 duty-cycle을 갖는 S-MAC 프로토콜은 노드 A에서 B로 메시지를 전송 후, 노드 C는 에너지 효율을 위해 스케줄 된 수면구간 상태이다. 따라서 노드 C는 노드 B로부터의 메시지를 수신 할 수가 없게 된다. 따라서 지연(delay)이 발생하게 된다. 반면 제안하는 프로토콜은 평상시에 Bit정보가 00으로 설정되어 있어, 에너지 효율에 중점을 둔 S-MAC과 비슷한 동작을 하다가 설정한 설정치를 넘길 때마다 Bit정보에 변화를 주어 전송해야 할 메시지의 우선순위가 높다고 판단하여 프레임크기와 활성구간의 크기에 변화를 주어 지연시간을 줄이게 된다. 사용자 입장에서 우선순위가 높은 메시지라 함은 예를 들어 불이 발생 했을 경우 노드에서 감지되는 높은 온도 값이 이에 해당되고 반면 우선순위가 낮은 메시지는 노드에서 감지되는 낮은 온도 값이 이에 해당된다. 사용자 입장에서 감시해야 할 온도, 압력, 수위와 같은 환경변수에 설정치를 설정하여 상황에 따라 지연시간과 에너지 소모를 선택적으로 유연하게 조절하여 지연시간을 개선시키는 MAC 프로토콜을 제안한다.

### 1. 서론

센서 네트워크를 이용하여 산불, 홍수와 같은 환경감시에 사용이 가능하고 건강관리, 전장에서 군사적인 목적 등에도 활용이 가능하다. 또한 최근에 대두되고 있는 유비쿼터스 개념에 맞춰 홈 네트워크 와 물류, 유통 등 다양한 산업과 발전소에 활용 할 수 있으며, 그 효과는 클 것으로 기대가 되어 지고 있다.

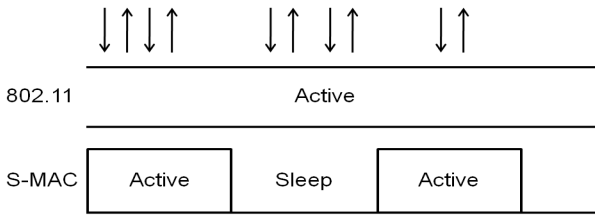
무선 센서 네트워크에서 에너지 효율은 MAC 프로토콜 설계의 중요한 사항이다. 고정된 duty-cycle을 갖는 S-MAC이 제안이 되었고, 활성구간(Active interval)과 수면구간(Sleep interval)으로 구분하여 에너지 효율을 높이고자 하였다. 그러나 S-MAC을 사용할 경우 노드 A에서 B로 데이터를 전송을 해야 하는데, 노드 B가 수면구간이라면, 노드 A로부터의 데이터를 수신 할 수가 없게 된다. 따라서 지연(delay)이 발생하게 되고 성능에 문제가 될 수 있다.

제안한 프로토콜은 설정치를 설정하여 환경변수(온도, 압력, 습도 등)의 값을 이용하여 그 값이 사용자 입장에서 의미 있고 신속히 받아야 할 정보라는 것을 판단하여 지연시간을 줄여 신속하게 처리 할 수 있는 방법을 제안한다. 제안하는 프로토콜은 산업에 사용하는 기기(Equipment)들의 온도, 압력, 유량, 레벨 등의 변화량을 연속적

으로 측정하는 경우, 주기적으로 목적 노드에 메시지를 전송하도록 설계하는데 적용이 가능하다. 또한 산불 화재나 건물화재 등의 화재 경보 시스템과 같은 특정 이벤트에 반응하는 시스템의 경우, 이벤트 시에만 목적노드에 메시지를 전송할 수 있도록 설계 하는 곳에도 적용이 가능하다.

예를 들어 공장에 화재감시를 위해 무선 센서 노드를 배치했다고 가정을 해본다. 실제 화재감시기가 화재로 판단하는 기준 온도는 일반적인 기준이 70°C이며, 적외선은 파장이 4.35 $\mu$ m에 집중된 적외선 방사의 현대역에서 화재로 판단한다. 온도가 20°C일 때와 70°C일 때, 사용자 입장에서 우선순위가 다르다. 20°C일 때 노드에서 발생한 메시지가 사용자 입장에서 전송받아야 할 우선순위가 낮은 메시지라고 볼 수 있고, 70°C일 때 노드에서 발생한 메시지가 사용자 입장에서 신속히 전송받아야 할 우선순위가 높은 메시지라고 볼 수 있다. 즉 우선순위가 낮은 메시지 전송 시에는 에너지 효율에 더욱 중점을 두고 지연시간이 증가해도 문제가 없을 것이다. 반면에 우선순위가 높은 메시지를 전송해야 할 상황에서는 에너지 사용이 증가 하더라도 지연시간을 줄여 빠르게 메시지를 사용자에게 신속히 전송하여 알리는 것이 중요하다. 이러한 측면에서 접근한 지연시간을 줄이거나 에너지 효율을 높이는 방법을 선택적

으로 유연하게 조절하는 프로토콜을 제안한다.



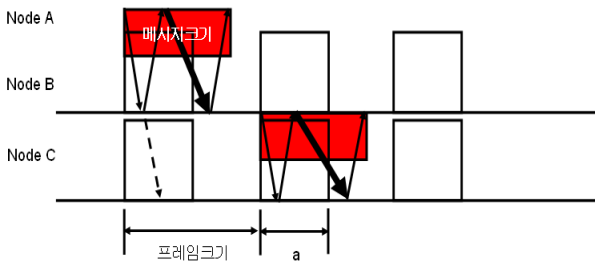
<그림. 1. 802.11과 S-MAC의 동작방식 비교>

2. 본론

제안하는 프로토콜의 기본적인 원리는 다음과 같다.

첫 번째, 프레임의 크기를 메시지의 크기보다 작게 하여 전송한다.

이웃 노드로 빠르게 메시지 전송을 하기위해서 메시지의 크기를 프레임의 크기보다 작게 설정해야 한다. 이 논문에서는 정상적인 상황의 프레임크기( $T_f$ )보다 8배까지 작아지게 설정하므로, 메시지의 크기를 프레임크기( $\frac{T_f}{8}$ )보다 작게 설정한다.



<그림. 2. 프레임크기보다 메시지크기를 작게 설정>

두 번째, 온도, 압력, 수위, 유량, 습도, 농도, 무게 등의 감시하고자 하는 환경변수에 설정치를 설정한다. 설정치는 사용자가 임의로 센서노드에 부여 할 수 있다. 마이크로컨트롤러에서 프로세싱에 의한 지연은 없다고 가정한다. 여기서  $V_{sensing}$  는 감지되는 값(온도, 압력, 수위, 유량, 습도, 농도, 무게 등),  $SET_k$   $k=H, A, E$ 는 상황별 설정치 값,  $B_k$   $k=H, A, E$ 는 상황별 Bit 값이 저장되는 값이며,  $H, A, E$ 는 High, Alarm, Emergency 상황을 의미한다.

- Normal :  $V_{sensing} < SET_H$  then assign  $B_N=00$
- High :  $SET_H \leq V_{sensing} < SET_A$  then assign  $B_H=01$
- Alarm :  $SET_A \leq V_{sensing} < SET_E$  then assign  $B_A=10$
- Emergency :  $SET_E \leq V_{sensing}$  then assign  $B_E=11$

이 논문에서는 4가지 단계의 상황에 따라 Normal, High, Alarm, Emergency로 나누고 이 설정치를 기초로 하여 감지되는 값에 따라 각 2 bit 값 00, 01, 10, 11을 할

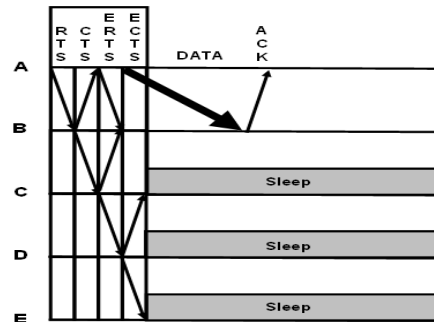
당한다. 통신에 사용되는 4-handshake 방식의 RTS (Request To Send), CTS (Clear To Send) 와 같은 제어 패킷(control packet)에 이러한 2 bit를 첨가하여 프레임의 크기(Frame Length = Active + Sleep interval)와 활성구간(Active Interval)을 조절하는 하는 기능을 제안하고, 프레임 크기와 활성구간 조절을 통해 상황에 따라 지연시간을 개선하는 방법을 사용한다.

감지되는 값의 조건	Bit 정보	프레임 크기	활성구간크기
$V_{sensing} < SET_H$	00	$T_f$	$T_{SYNC} + T_{RTS} + T_{CTS}$
$SET_H \leq V_{sensing} < SET_A$	01	$\frac{T_f}{2}$	$T_{SYNC} + T_{RTS} + T_{CTS}$
$SET_A \leq V_{sensing} < SET_E$	10	$\frac{T_f}{4}$	$T_{SYNC} + 2 \times (T_{RTS} + T_{CTS})$
$SET_E \leq V_{sensing}$	11	$\frac{T_f}{8}$	$T_{SYNC} + 4 \times (T_{RTS} + T_{CTS})$

<표. 1. Bit정보에 따라 프레임크기와 활성구간의 크기 설정>

여기서  $T_{SYNC}$ 는 SYNC 구간의 시간,  $T_{RTS}$ 는 RTS 구간의 시간,  $T_{CTS}$ 는 CTS 구간의 시간,  $T_f$ 는 프레임 크기(활성구간+수면구간)의 시간을 의미한다.

세 번째, ERTS, ECTS와 XRTS 패킷을 사용한다. 이 패킷은 각각 Extended-RTS, Extended-CTS와 eXtra-extended-RTS를 의미하고, 이웃노드와 Bit 정보를 공유하기 위해 사용할 뿐 Early Sleeping 문제를 해결하기 위해 사용되지는 않는다.

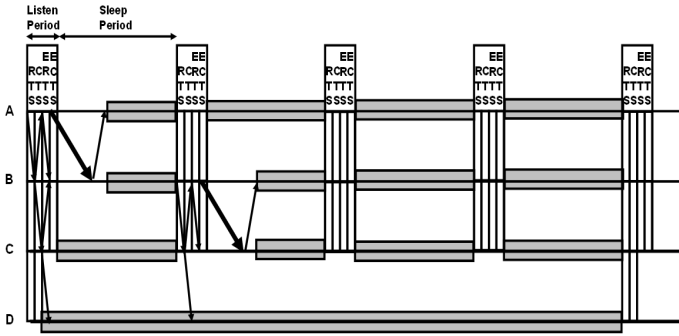


<그림. 3. ERTS와 ECTS 패킷을 통해 Bit 정보 공유>

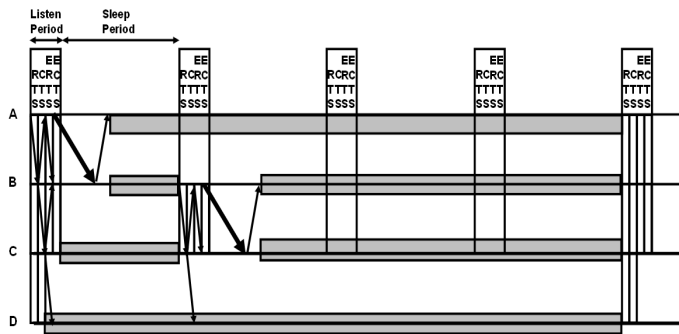
네 번째, ACK 패킷을 받은 노드의 프레임의 크기를  $T_f$ 로 조절한다.

노드는 Bit정보를 유지하는 동안 프레임크기만을  $T_f$ 로 조절로 하여 Idle listening으로 인한 추가로 에너지 소모를 줄일 수 있다. 또한 Bit정보가 10,11일 때 발생하는 ERTS 패킷을 overhearing 한 노드는 프레임 크기를 유지하고, 그렇지 않다면 프레임 크기를  $T_f$ 로 전환하는 방법을 사용하여 추가적인 에너지 소모를 줄일 수 있다.

위에서 설명된 네 가지 기본적인 원리를 사용하여, 다음의 환경변수 값을 가정하여 시뮬레이션을 통해 Bit정보에 따라 상황별 에너지 소모량과 지연시간을 비교한다.



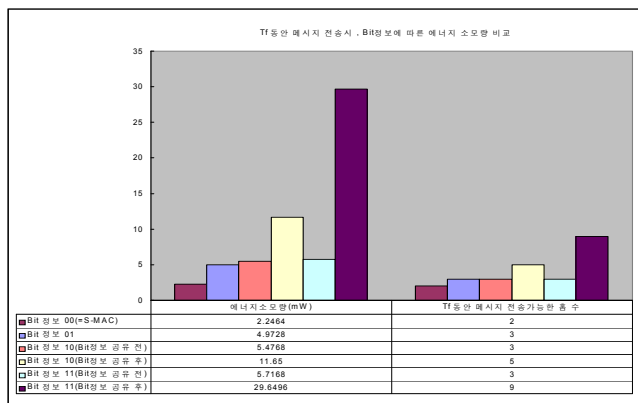
<그림 4. ACK 패킷을 받은 노드의 프레임 크기  $T_f$ 로 전환 미적용>



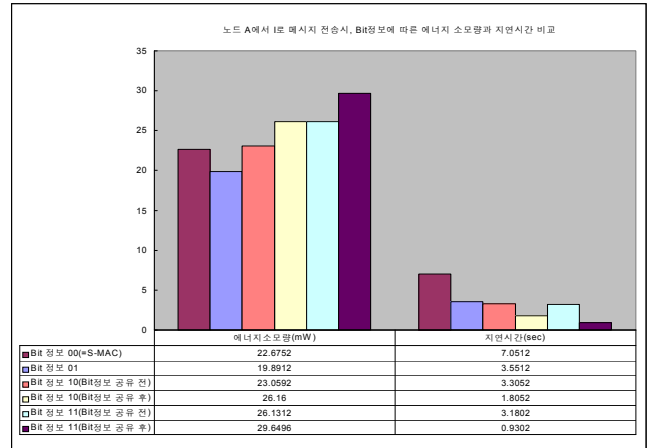
<그림 5. ERTS 패킷을 overhearing 못한 노드의 프레임 크기  $T_f$ 로 전환>

데이터 전송률 = From 40 To 250 (Kbps)
활성구간과 수면구간의 시간 합인 프레임크기 = 1000 (msec)
제어패킷(RTS, CTS, ERTS, ECTS, XRTS, DS)의 크기 = 160 (bits)
제어패킷 하나를 송수신하기 위한 최대 시간 = 4 (msec)
제어패킷(ACK)의 크기 = 128 (bits)
Data패킷의 크기 = 1600 (bits)
단위시간당 송신하는데 사용되는 전력량 = 30 (mW/sec)
단위시간당 수신하는데 사용되는 전력량 = 12 (mW/sec)
단위시간당 idle listening 상태에 사용되는 전력량 = 12 (mW/sec)

<표. 2. 시뮬레이션을 위한 정보>

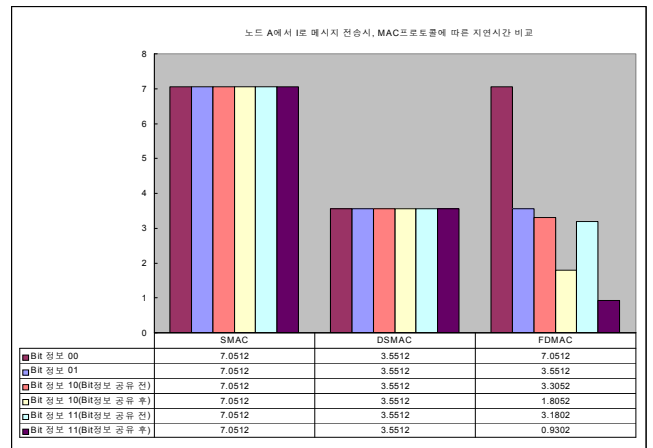


<그림 6. Bit 정보에 따라  $T_f$  동안 메시지를 전송하기 위해 필요한 에너지 소모량과 전송 가능한 홉 수 비교>



<그림 7. 노드 A부터 I까지 메시지 전송할 경우에 필요한 에너지 소모량과 지연시간>

제안하는 프로토콜은 평상시에 Bit정보가 00으로 설정되어 있어, S-MAC과 비슷한 동작을 한다. 하지만 온도, 압력, 수위, 유량, 습도, 농도, 무게 등의 감시하고자 하는 환경변수의 설정치에 의해 상황에 따라 프레임 크기와 활성구간 크기를 변화시켜 지연시간을 감소시켜 준다. 다른 MAC 프로토콜과 지연시간을 비교해보면 SMAC과 DSMAC은 환경변수 값 변화에 무관하게 확일적 MAC 프로토콜을 적용함으로 지연시간은 균일하다. 반면 FDMAC은 환경변수 값 변화에 따라 MAC 프로토콜을 적용함으로 상황에 따라 지연시간 개선효과를 가져온다. 정상 상황 시와 비교하여 긴급한 상황 시 에너지소모가 30% 증가한 반면 지연시간 87%가 개선된다.



<그림 8. SMAC, DSMAC, FDMAC 지연시간 비교>

### 3. 결론

무선 센서 네트워크는 배터리로 운영되기 때문에, 에너지 효율을 좋게 하기 위해서는 지연시간이 증가한다. 즉 에너지효율과 지연시간의 Trade-off관계는 불가피 하다. 사용자 입장에서 우선순위가 낮은 메시지 전송 시에는 에너지 효율에 더욱 중점을 두고 지연시간이 증가해도 문제가 없을 것이다. 반면에 신속히 사용자에게 알려야 할 우

선순위가 높은 메시지를 전송해야 할 상황에서는 에너지 사용이 증가 하더라도 지연시간을 줄여 빠르게 메시지를 사용자에게 신속히 전송하여 알리는 것이 중요하다. 이러한 측면에서 접근한 지연시간을 줄이거나 에너지 효율을 높이는 방법을 선택적으로 유연하게 조절하는 프로토콜을 제안하였다.

제안하는 프로토콜은 RTS, CTS과 같은 제어 패킷에 Bit정보를 추가하여, 이웃노드에 Bit정보를 공유한다. 또한 ERTS, ECTS, XRTS와 같은 제어패킷을 제안하여, 이 패킷에도 Bit정보를 추가 하여 노드사이에 Bit정보를 공유하도록 하였다. Bit정보는 프레임 크기(활성구간+수면구간)와 활성구간의 크기에 대한 정보를 가진다. 정상적인 상황에서는 Bit정보가 00으로 설정되어 있어, 에너지 효율에 중점을 둔 S-MAC과 비슷한 동작을 한다. 하지만 S-MAC은 에너지 효율 면에서는 장점을 보이나 하나의 프레임 구간동안에 2홉을 초과하여 메시지를 전송하는데 지연시간 측면에서 문제가 있음을 알 수 있다. 따라서 제안한 프로토콜은 지연시간을 개선하기 위하여 메시지 크기를 프레임 크기보다 작게 설정을 하였다. 또한 설정치를 사용하여 환경변수(온도, 압력, 수위, 유량, 습도, 농도, 무게 등) 상황에 따라 사용자 입장에서 우선순위가 높은 정보를 분류한다. 그리고 분류하여 Bit정보를 할당하고 Bit정보에 따라 프레임 크기와 활성구간 크기를 변화시켜  $T_f$  동안 메시지 전송 가능한 홉 수를 증가함으로써 지연시간을 감소시키는 효과를 만든다. 그리고 ACK 패킷을 받은 노드는 현재 Bit 정보에 기초한 프레임 크기와 무관하게 프레임크기를  $T_f$ 로 전환하고, ERTS패킷을 over-hearing 하지 못한 노드의 프레임크기도  $T_f$ 로 전환하여 추가적인 에너지효율을 개선시켰다. 정상 상황에서는 노드가 에너지 효율에 중점을 두고 운영이 되지만 상황이 변화함에 따라 지연시간이 개선되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인 할 수 있었다. 향후 연구에서는 제안한 프로토콜을 Routing 개념과 접목시켜 에너지효율과 지연시간 개선에 관한 추가적인 연구와 구현을 할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 배진현, 김건욱, “대규모 센서 네트워크에서의 에너지 효율성을 고려한 MAC 프로토콜” 전자공학회논문지 제 44권 CI편 제 3호, 2007년 5월
- [2] Shih-Hsien Yang, Hung-Wei Tseng, "Utilization Based Duty Cycle Tuning MAC Protocol for Wireless Sensor Networks" IEEE Globecom 2005
- [3] 이주아, 김재현, 민승욱, “무선 센서 네트워크를 위한 향상된 센서 MAC 프로토콜 “ 한국통신학회논문지 '06-11 Vol.31 No.11A
- [4] Tijs van Dam, Koen Langendoen, "An Adaptive

Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks"

- [5] 김성훈, 이성근, 정창렬, 고진광, “WMSN에서 낮은 지연을 위한 적응적 MAC 프로토콜”, 한국인터넷정보학회 (10권 2호)
- [6] 유대석, 박수성, 최승식, “센서네트워크에서 트래픽 적응형 동적 S-MAC 프로토콜”, 한국컴퓨터종합학술대회 논문집 Vol35, No.1(D)
- [7] 김재현, 김석규, 이재용, “무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율성을 고려한 MAC/라우팅 프로토콜”, 전자공학회지 제32권 제7호 2005년 7월
- [8] 성태경, 이형기, “무선 센서네트워크에서 에너지 효율성을 개선한 MAC 프로토콜 연구”, 한국통신학회논문지 '08-04 Vol. 33 No.4
- [9] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "An Energy-Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks", USC/ISI Technical Report ISI-TR-543
- [10] Wei Ye, John Heidemann, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on networking, Vol. 12, No.3, June 2004
- [11] 신성식, 서현곤, “유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 실시간 실내 화재감시 시스템”, 2008 한국정보과학회 학술심포지움 논문집 제2권 1호