

IEEE 802.15.4에 있어서 샘플링 주기를 이용한 비콘 구간 및 슈퍼프레임 구간의 적응적 제어방법

준회원 김 정 아*, 전 영 호*, 정회원 박 흥 성**°

Sampling time-based Adaptive Beacon Interval and Superframe Duration Control in IEEE 802.15.4

Jeong-ah Kim* Yeong-ho Jeon** *Associated Members,*
Hong-seong Park*** *Regular Member*

요 약

이 논문은 IEEE 802.15.4기반 센서 네트워크에서 파워 소모를 줄이는 방법을 고려하였다. 파워 소모를 줄이기 위해 함께 동작되는 센서들의 sampling time에 바탕을 두어 비콘 구간을 조절하는 적응적 비콘 구간 제어방법과 실제 전송될 데이터 량에 따라 적응적으로 슈퍼프레임 구간을 조절하는 적응적 슈퍼프레임 구간 제어 방법을 제안한다. 또한 위 두 가지 방법의 통합 방법인 적응적 통합 제어 방법을 제안한다. 이 논문에서 제안한 파워 절감 방식의 유효성을 보이기 위해 ns-2 시뮬레이터를 통해 모의실험 하였다.

Key Words : Wireless Sensor Network, Beacon Interval, Superframe Duration, Sampling Time, IEEE 802.15.4

ABSTRACT

This paper proposes the way that reduces power consumption of the IEEE 802.15.4-based sensor network. To reduce power consumption, we consider following two schemes; first scheme is the Adaptive Beacon Interval Control. the next is the Adaptive Superframe Duration Control. Our results show that these guarantee reducing power consumption in ns-2 simulator.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 유선을 사용하는데 한계가 있는 다양한 어플리케이션을 위해 사용되는 기술이다. 즉, 유선 설치 시 비용이 많이 소요되거나 임시적으로 설치되어 지속적인 감시가 필요한 곳, 예를 들면 환경모니터링 응용에서 적절하게 사용될 수 있다. 환경모니터링 응용에서는 센서 노드는 환경 감시를 위해 주위환경 정보를 주기적으로 전송해야

하고 또한 배터리로 동작하므로 전력 소모를 적게 하여 오랫동안 사용 가능하게 해야 한다.

무선 센서 네트워크에서 사용하는 센서들은 크게 이벤트에 반응하는 이벤트성 센서와 주기적으로 데이터를 샘플링하는 주기성 센서로 나눌 수 있다. 주기성 센서는 수질, 온도, 공기 질, 습도등과 같은 변수를 주기적으로 센싱 할 때 사용된다. 그리고 이벤트성 센서는 산불 감지, 출입 감지 등의 이벤트 발생의 감지에 사용된다. 환경 모니터링과 같은 곳에

※ 본 연구는 MOCIE 및 두뇌한국21사업에 의하여 부분적으로 지원되었습니다.

* 강원대학교 통신멀티미디어학과 (lfairyjj,diebu)@control.knagwon.ac.kr),

** 강원대학교 전기전자공학부 (hspark@kangwon.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2006-12-524, 접수일자 : 2006년 12월 11일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 8일

사용되는 센서들은 이벤트성 센서보다 주기성 센서를 많이 사용한다. 일반적으로 이벤트성 센서들의 데이터는 주기성 센서의 데이터 보다 빈도수가 매우 낮아 주기성 센서 데이터보다 센서 네트워크에 영향을 적게 미친다. 따라서 이벤트성 데이터를 무시하고 주기 전송만을 고려한다. 또한 이벤트성 데이터들은 빈도를 가상 주기로 만들 수 있기 때문에 주기성 데이터로 간주할 수 있다.

이러한 응용에 사용할 수 있는 무선 센서 네트워크 기술 중 IEEE 802.15.4[1]가 알맞다. IEEE 802.15.4는 낮은 데이터율과 낮은 가격, 낮은 전력 소모를 원칙으로 개발된 기술이다. IEEE 802.15.4의 연구는 데이터의 효과적 전송 방법^{[2][3]}과 효과적 전력 소모 절감 방법^{[4][5][6]}에 관한 것이다. 또한 IEEE 802.15.4의 표준에서도 노드들을 일정 구간 동안 휴면(sleep) 혹은 휴지(idle) 상태로 만들어 전력 소모를 줄이는 방법을 제안하고 있다. 이러한 IEEE 802.15.4 관련 연구들에는 비콘 구간(Beacon Interval, BI)과 슈퍼프레임 구간(Superframe Duration, SD)을 설정하는 연구들이 아직까지 없다.

이 논문에서는 각 네트워크 디바이스들에 내장된 센서의 샘플링 주기를 이용한 적응적 비콘 구간 제어 (Adaptive Beacon Interval Control, ABI)방법과 전송되는 데이터 량을 고려한 적응적 슈퍼프레임 구간 제어 (Adaptive Superframe Duration Control, ASD)방법과 두 방법을 통합한 적응적 통합제어(Adapation Beacon and Superframe interval Control :ABS)을 제안한다. 단, 제안한 방법들은 비콘 모드 및 성형(star) 토폴로지에서 적용된다. 적응적 비콘 구간 제어방법은 PAN에 속해 있는 각 노드들의 샘플링 주기에 따라 적응적으로 비콘 구간을 조정하여 비콘 전송의 낭비 등을 줄임으로써 전력 소모를 절감하는 방법이다. 적응적 슈퍼프레임 구간 제어 방법은 한 비콘 구간에 실제 데이터 전송에 관여하는 노드의 수 및 데이터 량에 따라 슈퍼프레임 구간을 변화시켜 데이터의 효율성은 어느 정도 유지하면서 불필요한 전력 소모를 절감하는 방법이다. 이 방법들을 적용할 경우 전력 소모를 절감할 수 있을 뿐 만 아니라 데이터의 효율성도 비슷함을 모의실험을 통하여 보여준다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 IEEE 802.15.4의 동작 모델에 대해 간략하게 설명하고 3절에서는 적응적 비콘 구간 설정 방법과 적응적 슈퍼프레임 구간 설정 방법을 제시하고 4절에서는

ns-2를 사용하여 제안한 방법의 유효성을 검증하고 5절에서 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.15.4 동작 모델

이 논문에서는 각 센서 노드들이 비콘 모드로 동작되며 코디네이터들과는 성형 토폴로지로 구성되는 시스템에 대해 고려한다.

일반적으로 IEEE 802.15.4는 비콘을 포함한 데이터를 송수신할 수 있는 슈퍼프레임 구간 혹은 활성(active) 구간과 데이터를 송수신할 수 없는 비활성(inactive) 구간으로 나누어진다. 이러한 구간들의 구분이 그림 1에 예시되어 있다. 활성 구간과 비활성 구간을 합친 구간이 비콘 구간이며, 이 비콘 구간은 연속적으로 반복되므로 한 주기로 간주될 수 있다.

$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} \quad (1)$$

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO} \quad (2)$$

여기서 $aBaseSuperframeDuration$ 은 960슬롯시 칸으로 정해져 있다[1]. 비콘 구간(BI)과 슈퍼프레임 구간(SD)는 각각 (1)과 (2)에 의해 결정되며, (1)과 (2)에서 보듯이 각 구간은 BO (Beacon Order)와 SO(Superframe Order)에 의해 결정된다. BO와 SO와의 관계는 $0 \leq SO \leq BO \leq 14$ 이다.

이들 비콘 구간과 액티브 구간 설정은 네트워크 구성 노드들의 수와 그들이 송수신하는 데이터 량에 따라 다르게 된다. BI가 커지면 같은 시간 당 비콘 전송횟수가 감소하지만 데이터가 많이 입력되는 반면, BI가 작아지면 같은 시간 당 비콘 전송횟수가 증가하지만 데이터가 상대적으로 적게 입력된다. SD가 커지면 노드들이 많은 시간동안 깨어 있게 되어 전력 소모가 많이 되지만 데이터 효율성이 높아지는 반면, 작아지면 전력소모가 덜 되지만 데이터의 전송 효율이 낮아진다. 따라서 적은 SO를 갖는 네트워크는 에너지 효율적이다. 그러나 전력

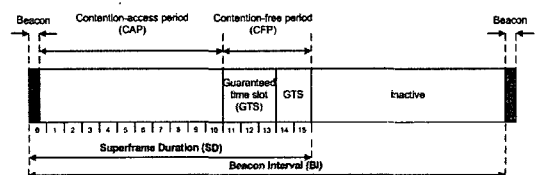


그림 1. 비콘 구간과 슈퍼프레임 구간

소모 절감과 효율적인 데이터 전송 간에는 서로 절충(tradeoff)이 있어야 한다. 다시 말하자면, IEEE 802.15.4는 BI와 SD 설정 치에 따라 전력 소모량과 데이터 전송 지연 시간 등이 달라질 수 있다. 센서 노드들에는 주기성 센서가 존재하여 각 샘플링 주기들이 존재하고 노드들의 이동성은 없다고 가정한다.

새로운 센서 노드가 코디네이터에 연결(join)되자 할 때 그림 2의 패킷들을 사용하여 그림 3과 같은 과정을 거친다. 센서 노드가 코디네이터로부터 비콘을 수신하면 결합 요구(association request) 패킷을 보내고 코디네이터는 수신확인(ack)를 센서 노드에게 보낸다. 코디네이터는 결합 요구에 대한 응답으로 결합 응답(association response) 패킷을 센서 노드에게 전송하고, 센서 노드는 수신 확인을 전송한다.

1. 결합 응답 패킷

Frame control field								
Bits 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame type	Security enabled	Frame pending	Ack. req.	Intra PAN	reserved	Dest. Addressing mode	reserved	Source addressing mode

2. 결합 요구 패킷

Frame control field								
Bits 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame type	Security enabled	Frame pending	Ack. req.	Intra PAN	reserved	Dest. Addressing mode	reserved	Source addressing mode

그림 2. 결합 요구/응답 패킷

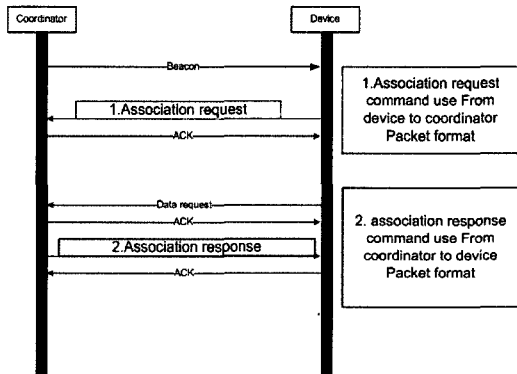


그림 3. 네트워크 결합 과정

III. 적응적 비콘 구간 및 슈퍼프레임 구간 제어 방법

3.1 적응적 비콘 구간 제어 방법

네트워크를 구성하고 있는 노드들의 상황에 따라 적응적으로 BO값을 설정하여 비콘 구간을 조정함으로써 불필요한 비콘의 전송과 수신에 따른 전력 소모를 줄일 필요가 있다. 센서 노드들에서 전송할 데이터는 센서가 주변 환경으로부터 데이터를 샘플링하는 시간과 관련되어 있다. 즉, 데이터를 샘플링해야 전송할 데이터가 생기게 된다는 의미이다. 따라서 비콘 구간은 샘플링 간격보다 짧게 할 필요가 없기 때문에 비콘 구간은 샘플링 구간과 동일한 값으로 설정하면 된다. 그림 4는 비콘 구간이 샘플링 구간보다 적은 경우에 비효율적 혹은 의미 없는 비콘 전송으로 인해 전력 소모가 된다는 것을 보여준다.

여러 개의 센서 노드가 존재할 경우 서로 다른 샘플링 구간 혹은 샘플링 주기가 존재할 수 있다. 이 경우 서로 다른 샘플링 시주기를 어느 한 샘플링 주기에 기준하여 동기화할 필요가 있다. 이러한 기준이 되는 샘플링 주기는 일반적으로 가장 작은 샘플링 주기(기본 샘플링 주기)를 선정된다. 기본 샘플링 주기(T_s)가 비콘 구간으로 설정되어야 하므로 (1)을 사용하여 BO를 구해야 한다. BO가 정수라는 것을 주의해야 한다. 해석을 단순하게 하기 위해 BO 값은 정수 값으로 구하여 진다고 가정한다. 이 가정은 기본 샘플링 주기를 조정함으로써 실제적으로 가능한 내용이다.

이와 같이 비콘 구간 혹은 기본 샘플링 주기가 결정이 되면, 코디네이터는 각 센서 노드에게 결정된 비콘 구간을 기반으로 노드별 샘플링 구간을 넘겨준다.

코디네이터와 통신하고자 하는 센서 노드의 수는 N이라 하자. 각 노드로부터 샘플링 주기를 받은 코디네이터는 각 노드마다의 값을 비교하고 그 중 가장

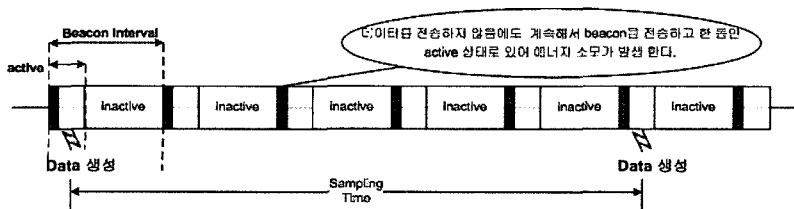


그림 4. 샘플링 시간과 비콘 구간

장 작은 것을 선택한다. 또한 새로운 노드가 추가할 때 마다 역시 가장 작은 샘플링 주기를 가진 것을 선택한다. 다음이 비콘 구간을 결정하고 연결되는 노드에 대해 비콘 구간을 기반한 새로운 샘플링 주기를 할당하는 알고리즘이 제시되어 있다.

아래에서 i 번째 노드의 샘플링 주기를 T_s^i 라 하자.

단계 1. 코디네이터는 비콘을 주위 노드들에게 보냄. 이 비콘에 포함된 BI를 oBI 라 한다.

단계 2. 새로운 노드 i 는 코디네이터에 결합 요구(결합 요구 패킷에 그 노드의 샘플링 주기, oST_i 를 포함하여 보냄)을 보내면 코디네이터는 새로운 비콘 주기(nBI) 혹은 새로운 BO(nBO)를 생성하여 보낸다.

$$oST_i = \lceil T_s^i / oBI \rceil \text{ or } oST_i = \lfloor T_s^i / oBI \rfloor$$

$$nBI = T_s^i = \min_{all\ i} (oST_i)$$

$$nBO = \log_2(nBI / aBaseSuperframeDuration)$$

단계 3. 코디네이터는 해당 노드에 새롭게 설정된 비콘 구간에 기반으로 둔 새 샘플링주기 nST 값을 결합 응답 패킷에 포함하여 보내줌

$$nST = \lceil T_s^i / nBI \rceil \text{ or } nST = \lfloor T_s^i / nBI \rfloor$$

단계 4. 새로운 노드가 연결될 때마다 혹은 노드가 코디네이터에서 사라질 때마다 이러한 단계를 반복한다.

oST 와 nST 의 값은 그림 2의 결합 요구 패킷 및 결합 응답 패킷의 사용되지 않는 5개의 비트들($b7, b8, b9, b12, b13$)에 의해 결정된다. 13번째 비트($b13$)이 최상위 비트이다.

단계 2에서 파라미터 BO값은 정수형이므로 $(nBI/aBaseSuperframeDuration)$ 값은 2의 지수 형태를 가지고 있어야 한다. 만일 새로운 비콘 주기가 y 초라고 하면, $aBaseSuperframeDuration$ 이 0.01536 s 이므로 $0.01536 \cdot 2^{m-1} \leq y \leq 0.01536 \cdot 2^m$ 이 된다. y 가 1초라고 하면 m 은 7이 된다.

nBO 값은 $m-1$ 혹은 m 값을 가질 수 있다. nBO 값이 $m-1$ 를 가지는 경우를 ABI_m , m 을 가지는 경우를 ABI_{m+1} 이라 한다. ABI_m 는 ABI_{m+1} 보다는 더 자주 비콘을 전송하므로 전력이 더 소모되지만 실제 샘플링 주기보다 비콘 구간이 짧기 때문에 데이터가 적시에 보내진다. ABI_m 은 ABI_{m+1} 보다 비콘을 적게 보내므로 전력이 적게 소모되지만 실제 샘플링 주기보다 비콘 주기가 길 수 있기 때문에 한 센서에서 샘플링된 데이터 2개가 전송될 수 있어 적시에 데이터

를 보내지 못하는 경우가 발생한다. 에너지 효율적인 측면이 중요할 때에는 ABI_m 를, 적시에 샘플링 데이터를 보내고자 할 때는 ABI_{m+1} 이 효과적이다. 그러나 무선의 신뢰성을 고려하면 오류가 존재할 수 있기 때문에 ABI_{m+1} 가 더 좋다고 말할 수 있다.

이러한 적응적 비콘 구간 설정 방법에서 새로운 비콘 구간이 정해 졌다면, 새로운 노드가 코디네이터로 연결되거나 기존의 노드가 연결을 끊지 않는 한 설정된 BO 값은 계속 유지한다.

3.2 적응적 슈퍼프레임 구간 제어 방법

앞 절과 같이 비콘 구간이 정해지면, 실제 데이터 패킷을 송수신하는 활성 구간의 길이를 정하는 SO 값을 결정해야 한다. 이 SO 값이 커지면 전력은 더 소모되지만 많은 데이터 패킷을 송수신할 수 있고, 작다면 전력은 덜 소모되지만 데이터 패킷의 지연 시간이 길어질 수 있다. 따라서 전송되는 데이터 패킷의 양에 따라 적정 SO 값을 정해야 효율적인 전력 소모가 된다. 실제 샘플링 데이터 패킷은 모두 전송되기 때문에 SO 구간의 적정 값은 한 비콘 구간에서 생성된 모든 데이터 패킷들을 보낼 수 있는 시간과 오류가 생겨 재전송에 소요되는 시간을 합친 값이다.

N 개의 센서 노드 중 i 번째 센서노드가 샘플링 주기, nST 가 $k \cdot BI$ 이고 전송하는 데이터 패킷의 수가 N_i^D 라 하고, k 번째 비콘 구간을 B_k 로, k 번째 비콘 구간의 예상 패킷오류율을 \hat{P}_e 로, N 개의 nST 에 대한 최소 공배수를 nST_L 로, i 번째 노드의 j 번째 샘플링 데이터 패킷의 전송시간을 T_{ij}^D 로 하자.

비콘 구간 B_k 시 보낼 수 있는 노드의 집합을 S_k 라 하자. 비콘 구간 B_k 시 보낼 수 있는 데이터 패킷의 전송 시간, T_k 은 (3)과 같다.

$$T_k = \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^{N_i^D} T_{ij}^D / (1 - \hat{P}_e) \tag{3}$$

보통은 SO값이 초기에 정해진 값에 따라 정해지게 되므로 슈퍼프레임 구간 또한 고정되어 진다. 이 같은 경우 그 비콘 주기에 데이터를 전송하는 노드가 적응에 불구하고 정해진 구간만큼 노드들이 깨어있어야 하므로 이에 따른 에너지 소모가 발생할 수 있다. 따라서 이 논문에서는 해당 비콘 주기에 데이터전송에 참여하는 노드의 수에 따라 적응적으로 슈퍼프레임 구간을 정하고자 한다.

코디네이터에서는 각 센서 노드의 샘플링 주기를 알고 있으므로 각 비콘 구간마다 참여 가능한 센서 노드를 알 수 있다. 또한 코디네이터는 각 센서 노드가 비콘 구간 시 전송하는 데이터의 수와 최대 길이를 안다고 가정한다. 따라서 코디네이터는 각 비콘 구간마다 전송에 소요되는 시간을 계산할 수 있고 이를 위하여 표 1과 같은 테이블을 유지한다. 또한 현재 비콘 구간의 예상 패킷 오류율은 이전 비콘 구간의 실제 오류율을 가지고 계산한다.^[8]

$$\hat{P}_e = 1 - \frac{N_{TX}^s}{N_{TX}^T} \quad (4)$$

여기서 N_{TX}^s 는 전송에 성공한 패킷 수이며, N_{TX}^T 는 재전송 패킷을 포함하여 전송한 모든 패킷의 수를 말한다.

예를 들면, 다음의 시스템을 고려하자: 각 센서 노드에서는 하나의 데이터만 샘플하여 샘플링 주기마다 전송 한다(즉, $N_i^D=1$). 전송되는 데이터 길이를 80바이트라 가정하면, 헤더(20바이트)를 포함한 데이터 패킷의 길이(T_{ij}^D)는 100바이트가 된다. 센서 노드의 수(N)는 5개이며, 각 샘플링 주기는 비콘 구간을 기준으로 1, 2, 3, 4, 6으로 가정한다. 최소 샘플링 주기가 비콘 구간과 같아야 하기 때문에 항상 1은 포함되어 있어야 한다. 이 경우 nST_L 은 12가 된다. 즉, 12개 비콘 길이마다 같은 형태가 반복된다. 물론 테이블의 길이를 줄이는 방법도 많이 연구되고 있다. 이 경우 k 번째 비콘 구간, B_k 와 그 비콘 구간에 전송 가능한 노드의 수(N_k)간의 관계가 표 1에 예시되어 있다. 따라서 코디네이터는 다음 비콘 주기에 참여 노드 수를 테이블을 참조하여 알고 있다고 가정한다.

비콘 구간 B_k 에서 사용하는 SO값, SO_k 를 적응적으로 구하기 위해서는 다음과 같은 알고리즘을 사용한다.

<p>단계 1. B_{k-1} 구간에서 송수신되는 패킷들을 사용하여(4)를 사용하여 예상 패킷 오류율 \hat{P}_e을 구한다.</p> <p>단계 2. (3)를 이용하여 데이터의 패킷 전송시간 T_k를 구한다.</p> <p>단계 3. T_k를 사용하여 다음과 같이 SO_k를 구한다.</p> $SO_k = \left\lceil \log_2 \frac{N_k}{aBasedSuperframeduration} \right\rceil$ <p>if $SO_k > {}_nBO$ if ${}_nBO = 14$ $SO_k = 14$ else $SO_k = {}_nBO$ else SO_k</p>
--

위의 알고리즘을 이용하여 SO_k 를 구하면, k 번째 비콘 전송 시 구한 SO_k 를 포함하여 전송함으로써 각 센서 노드의 활성 구간의 길이를 알게 한다. 좀 더 전력 소모를 줄이기 위해서는 각 센서 노드는 자신이 참여하는 비콘 주기에만 깨어나게 하여 동작시킴으로써 좀 더 전력 소모를 줄일 수 있다. 즉, 송수신 동작을 하지 않는 휴지 시간을 갖는 것보다 휴면 기간으로 동작하는 것이 훨씬 전력 소모가 덜 된다.

3.3 적응적 통합제어

앞서 제시한 두 가지 방법을 하나로 혼용하여 사용할 수 있다. 이 논문에서는 이를 Adaptation Beacon and Superframe Interval(ABS) Control 이라 한다.

이를 크게 2단계로 나누어 보면 처음 제시한 ABI와 ASD이다. 우선적으로 ABI를 통해 네트워크를 구성하고 있는 노드들의 샘플링시간에 따라 적응적으로 비콘 구간을 설정한 후에 ASD에 따라 각 비콘 구간 당 적절한 액티브구간을 설정하게 된다. 전반적인 비콘 구간과 액티브 구간을 동시에 제어하게 되면 독립적으로 제어하는 것보다 많은 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.

이 ABS는 크게 ABS_s 와 ABS_r 로 나눌 수 있다. 이는 첫 번째 알고리즘인 ABI를 ABI_s 와 ABI_r 중 어느 을 사용하느냐에 따라 달라진다.

IV. 모의실험

이 논문에서 제안하는 에너지 절감 방법인 ABI와 ASD, ABS의 효율성을 보이기 위해 다음과 같은 환경에서 모의실험을 수행 하였다. 시뮬레이션 툴은 ns-2 2.29 버전을 사용하였고 초기 BO, SO 값은 표준에서 사용되는 6, 4를 사용 하였다. 네트워크를 구성하는 노드는 하나의 코디네이터와 5개의 디바이스로 구성되며 5개의 디바이스의 샘플링 시간은 각각 3,4,5,6,8이다. 각 디바이스에서 생성되는 데이터의 크기는 헤더를 포함하여 100Byte 이고 총 모의실험 시간은 1000초이다.

또한 이 논문에서 사용되는 전력 소비 모델은 표 2에 예시되어 있다^[7].

이 논문에서 제안한 에너지 절감 방안인 ABI와 ASD 그리고 ABS의 효율성을 보이기 위해 시간변화에 따른 에너지 변화량을 살펴보면 그림 5와 같다.

표 2. 각 상태별 초당 소비 파워

상태	초당 소비 파워
전송	31mW
수신	35mW
휴지	0.76mW
휴면	0.035mW

아래 그림 5에서 보듯 초기 BO와 SO를 각 6과 4로 시작하였을 때 시간 변화에 따른 에너지 소비는 표준에 의한 방법이 가장 많은 것을 볼 수 있다. 이에 반해 우리가 제안한 ABI_s 과 ABI_l 의 경우 표준의 방법 보다 30%에서 50% 적은 에너지 소비를 보이는 것을 알 수 있다. 그리고 두 번째 제안한 ASD의 경우도 표준에 의한 방법보다 30%정도 에너지 효율이 높은 것을 알 수 있다. 이 두 가지 에너지 절약 알고리즘을 통합한 $ABS_x(x=s,l)$ 의 경우 $ABI_x(x=s,l)$ 만 실험한 것 보다 더 좋은 에너지 효율성을 보이는 것을 알 수 있다.

표 3에서는 노드들의 수에 따른 에너지 사용량을 표시 하였다. 전반적으로 노드의 수가 증가함에 따라 전체 네트워크의 에너지 소모도 많아지는 것을 볼 수 있다. 이때 늘어나는 노드의 샘플링 시간은 순차적으로 3,4,5,6,8로 하였다. 우리가 제안한 ABI와 ABS의 경우 표준의 의한 방법 보다 적은 노드 수 일 때는 50% 높은 노드 수 일 때는 10% 에너지 효율이 높은 것을 확인할 수 있다. 네트워크의 노드 수가 증가함에 따라 에너지 효율 차가 좁아지는 것은 노드 수 증가에 따른 충돌과 재전송 때문이다. 재전송과 관련된 모의실험 결과는 그림 8에 나타난다. 그러나 ASD의 경우 노드의 수가 적을 때 에너지 효율이 IEEE 802.15.4보다 좋지만 노드 수가 증가함에 따라 에너지 소비가 많아지는 것을

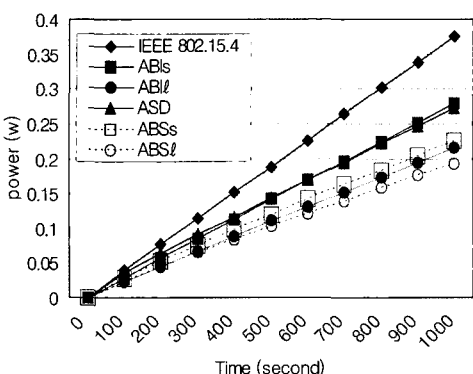


그림 5. 시간 변화에 따른 에너지 소비량 (초기 BO:SO=6:4)

표 3. 각 알고리즘별 노드수에 따른 에너지 량 (초기 BO:SO=6:4)

노드수	IEEE 802.15.4	ABIs	ABI _l	ASD	ABSs	ABS _l
3	1.02	0.69	0.53	0.70	0.55	0.48
7	3.30	2.64	2.00	2.96	2.57	1.39
11	6.76	5.97	5.20	6.29	5.87	5.76
15	10.95	9.89	9.43	10.75	9.75	9.71
19	16.47	15.23	14.90	16.36	15.24	14.85

볼 수 있다. ASD가 이와 같은 에너지 소비 형태를 보이는 것은 데이터 전송에 관여하는 노드의 수에 따라 적응적으로 슈퍼프레임을 조절하기 때문이다. 따라서 노드의 수가 증가하면 슈퍼프레임의 크기가 증가함으로 이에 따른 에너지가 사용된다.

IEEE 802.15.4에 대한 평가를 할 때 에너지 문제뿐만 아니라 데이터 전송도 중요한 이슈이다. 따라서 우리는 데이터 전송 성공률과 데이터 재 전송률을 측정하였다. 이는 그림 7과 그림 8에 표시되어 있다. 이때 전송 데이터 수는 각 노드마다 100개이다. 즉 9개 노드일 경우 전체 보내지는 데이터 수는 900개 이다.

그림 6을 살펴보면 가장 좋은 성능을 보이는 것은 ASD이다. 이는 노드의 수에 따라 적응적으로 슈퍼프레임 크기를 달리 하였기 때문에 많은 수의 노드가 데이터 전송에 관여 하여도 좋은 성능을 보인다. ABI만을 적용하였을 때 보다 ASD를 더한 ABS의 경우가 더 좋은 성능을 보이는데 이도 ASD와 같은 이유이다. 최종적으로 제안한 ABS의 경우 IEEE 802.15.4와 비슷한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 7은 노드 수 변화에 따른 데이터 재전송 횟수를 나타낸 그림이다. 노드수가 증가하면 할수록

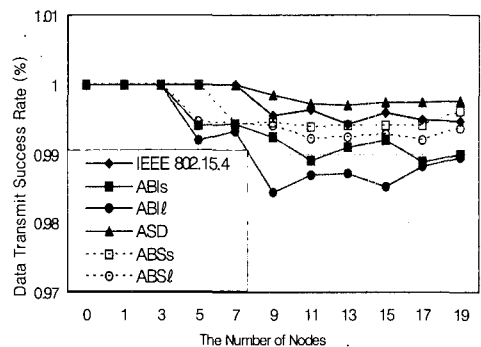


그림 6. 노드 수 변화에 따른 데이터 전송 성공률 (초기 BO:SO=6:4)

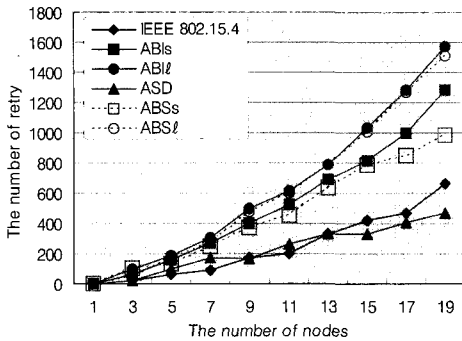


그림 7. 노드 수 변화에 따른 데이터 재전송 횟수 (초기 BO:SO=6:4)

모든 방법이 전반적으로 데이터 재 전송횟수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 같은 한정된 슈퍼프레임 구간을 여러 노드가 사용하기 때문에 충돌에 따른 재전송이 많이 발생하게 되기 때문이다. $ABIs_x(x=s,l)$ 와 $ABSl_x(x=s,l)$ 는 표준의 방법보다 많은 재전송이 발생하는데 이는 ABI적용에 따라 표준보다 상대적으로 비콘 구간이 커져 슈퍼 프레임 동안 전송할 데이터 수가 더 많이 집중되기 때문이다. 이에 반해 노드 수에 따라 적응적으로 슈퍼프레임 구간을 조절하는 ASD의 경우 전반적으로 표준과 비슷한 결과를 보이거나 노드 수 증가에 따라 더 좋은 성능을 보인다.

그림 7과 표3를 종합적으로 비교해 볼 때 전체적으로 노드수가 증가함에 따라 네트워크 파워 소모와 재전송 수도 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 하지만 재전송이 많다는 것은 재전송에 의한 파워소모가 많다는 것을 의미한다. 그럼에도 표 3에서 ABS가 IEEE 802.15.4 보다 에너지 효율이 높다는 것을 볼 수 있다. 이는 재전송에 의한 에너지 소모보다 제안한 방식에 따른 에너지 이득이 더 크다는 것을 의미 한다.

V. 결론

무선 센서 네트워크는 유선을 사용하는데 한계가 있는 여러 응용에 사용될 수 있는 기술이다. 우리는 이 무선 센서 네트워크에서 사용되는 센서들 중 주기적 센서를 중심으로 무선 센서네트워크 기술의 하나인 IEEE 802.15.4의 에너지 절감 방식을 제안하였다. 각각 네트워크 디바이스들에 내장된 센서의 샘플링 주기를 이용한 적응적 비콘 구간 제어 방법과 전송되는 데이터 량을 고려한 적응적 슈퍼프레임

구간 제어 방법과 두 방법을 통합한 적응적 통합제어를 제안하였다, 이 논문에서 제안한 에너지 절감 방식의 효율성을 보이기 위해 ns-2를 통해 시뮬레이션 하였다. 그 결과 통합 적응적 제어 방법인 ABS가 적게는 10%에서 크게는 50%까지 에너지 효율이 IEEE 802.15.4보다 좋은 것을 알 수 있었다. 또한 데이터 전송 측면에서도 IEEE 802.15.4와 비슷한 성능을 보였다. 이 논문에서 제안한 ABS가 데이터 전송 성능에서 약 0.01% 정도 차의 비슷한 성능을 보이면서 에너지 효율이 높다고 볼 수 있다. 따라서 이 논문에서 제안한 에너지 절감 방안이 기존의 IEEE 802.15.4 보다 효과적이라고 할 수 있다.

앞으로 우리는 IEEE 802.15.4의 성형에서만 아니라 트리(tree)나 메쉬(mesh)형에서도 구간 제어방법을 강구할 것이다.

참고 문헌

- [1] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "Wireless Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low_Rate Wireless Personal Area Networks (LR_WPANs)", IEEE, New York, NY, USA, IEEE Std 802.15.4-2003.
- [2] Seong-eun Yoo, Daeyang Kim, Minh-Long Pham, Yoonmee Doh, Eunchang Choi. Jae-doo Huh "Scheduling support for Guaranteed Time services in IEEE 802.15.4 Low Rate WPAN", RTCASA'05, 2005.
- [3] J. Mesic, S. Shafi, V.B. Mistic "Admission Control in 802.15.4 Beacon Enabled Clusters", IWCMC'06, 2006.
- [4] B. Bougard, F. Catthoor, D. C. Daly, A. Chandrakasan, W. Dehaene, "Energy Efficiency of the IEEE 802.15.4 Standard in Dense Wireless Microsensor Networks: Modeling and Improvement Perspectives", Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE'05)
- [5] D. Mirza, M. Owrang, C. Schurgers "Energy-efficient Wakeup Scheduling for Maximizing Lifetime of IEEE 802.15.4", WICON'05, 2005
- [6] M. Neugebauer, J. Plonnigs, K. Kabitzsch "A New Beacon Order Adaptation Algorithm for IEEE 802.15.4 Networks", EWSN 2005, 2005
- [7] "Chipcon AS SmartRF CC2420DBK

Demonstration Board Kit User Manual(ver 1.2)", Chipcon AS, Jul26, 2004

- [8] Myung Seon Ryou, Hong Seong Park, Soo Hee Han Maximum Frame Size Control Based on Predicted BER in Wireless Networks Trans. of Wireless Communication Technologies, Vol.E88-B No.7, p.3065

김 정 아 (Jeong-ah Kim)

준회원

2005년 2월 강원대학교 전기전
자정보통신공학부 졸업
2005년 5월~현재 강원대학교 통
신멀티미디어공학과 석사 과정
<관심분야> 무선통신, 센서네
트워크



전 영 호 (Yeong-ho Jeon)

준회원

2005년 2월 강원대학교 전기전
자정보통신공학부 졸업
2005년 5월~현재 강원대학교
통신멀티미디어공학과 석사
과정
<관심분야> 무선통신, 센서네트
워크



박 흥 성 (Hong-seong Park)

정회원

1983년 2월 서울대학교 제어계
측공학과 졸업
1986년 2월 서울대학교 제어계
측전공 석사
1992년 2월 서울대학교 제어계
측전공 박사
1992년~현재 강원대학교 전기전



자공학부 교수

<관심분야> 실시간 통신, 센서네트워크, 미들웨어