

저전력 무선센서네트워크를 위한 적응제어 방법

최병철*, 류재홍*, 김동원**

*한국전자통신연구원, USN/IoT 융합연구부

**충북도립대학 전자정보계열

e-mail:bcchoi@etri.re.kr

Adaptive Control Method for Low-power Consumption Wireless Sensor Network

Byeong-cheol Choi*, Jae-Hong Ryu*, Dongwon Kim**,

*Electronics Telecommunication Research Institute

**Dept of Electronics Information, Chungbuk Provincial University

요 약

Zigbee와 같은 무선 네트워크에서 전력 절감을 위하여서는 슈퍼프레임을 구성하는 비콘주기내에서 액티브구간과 인액티브구간으로 운용될 시 전력 소모를 줄이기 위하여 네트워크의 트래픽 특성과 부하 정도에 따라 액티브 구간을 적응 제어하는 방법이 제안되었다. 제안 방법에 따른 성능을 분석하여 전력 소모가 감소하여 보다 효과적인 센서 네트워크를 구축할 수 있음을 보인다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 주로 많은 분산된 노드들이 스스로 네트워크를 멀티-홉 형태로 구성하는 모습이다. 각 노드들은 여러 개의 센서들과 임베디드 프로세서, 저전력 라디오를 갖추고 있고 주로 배터리로 동작한다.

최근 환경감시, 의학 시스템, 로봇 탐사와 같은 다양한 분야에서 활발히 응용되기 시작하는 기술분야이다. 이러한 네트워크 노드들은 공통의 작업을 수행하도록 상호협력관계로 되어 있다.

무선 센서 네트워크의 매체접근제어(MAC:Media Access Control)은 다른 공유 매체 네트워크에서처럼 네트워크의 성공적 동작을 위해 아주 중요한 기술요소이다[1][2].

무선 센서 네트워크를 위한 좋은 MAC 프로토콜을 설계하기 위하여, 첫째로 중요하게 고려하는 사항이 에너지 효율성이다. 주로 배터리 전력 공급 방식의 노드들로 구성된 네트워크의 수명을 연장시키는 기술이 아주 중요한 관심 사항이 되었다.

따라서 본 연구에서는 저전력 무선 센서망에 적합하게 노드들의 이동에 따른 네트워크 트래픽을 고려하여 보다 효율적이고 에너지 소모를 적게하는 방법을 연구한다.

2. 연구 배경

제안된 프로토콜은 슈퍼프레임(superframe) 구조를 가지고 있다. 이 슈퍼프레임은 노드들이 송수신 행위를 할 수 있는 활성화 구간(Active Period)과 그렇지 못하고 전력소모를 최소로 한 상태에서 Sleep 또는 Standby하는 비활성화 구간(Inactive Period)로 구성된다. 액티브구간은 16개의 SuperFrame Slot으로 구성된다.

이때 비콘주기와 액티브구간 길이를 정하는 방법에 있어

서 기존의 ZigBee와 본 연구의 방법이 상이한 차이를 가진다.

기존의 ZigBee에서는 비콘주기(BI:Beacon Interval) 및 aBaseSlotDuration의 길이가 네트워크 설계 및 설치 단계에서 정해지고 이에 따라 액티브구간의 길이(aBaseSuperframeDuration)는 슬롯길이(aBaseSlotDuration)와 슬롯갯수(aNumSuperframeSlots)의 곱에 의해 결정된다.

이러한 네트워크 파라미터가 고정적으로 설치 운용되는 바 다음과 같은 문제점이 발생할 수 있다.

노드의 이동에 의해 서비스 영역내의 노드의 수가 증가하거나 감소한다. 이때 노드들로부터 유발된 트래픽의 변화에 의해 망의 전송 품질에 변화가 생긴다. 노드 당 평균 트래픽 발생량이 동일한 특성을 가지더라도 노드수의 많고 적음에 따라 트래픽 부하가 때에 따라 커졌다 작아졌다 변화한다.

기존의 Zigbee 방식은 이러한 노드들의 모바일 환경을 고려하지 않음으로 인하여 네트워크 파라미터를 고정 설치함으로써, 운용 중에 실제 유효 대역폭이 남을 수도 있고 부족할 수도 있는 단점이 있으며, 유효 대역폭이 남을 수 있도록 운용하게 되면 그동안에 전력소모가 더 발생하게 되어 노드의 수명을 단축시키는 단점이 있다. 또한 실시간 트래픽 서비스 제공을 위한 GTS의 할당과 해제 및 재할당에 따른 제어 메카니즘이 아주 복잡하고 비 효율적인 여러 단계를 거침으로 디바이스에서 이를 지원하고자 할 때 회로의 복잡성과 에너지 소모 측면에서 단점이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 네트워크를 효율적으로 사용하고

보다 전력소모를 줄이고자 비콘주기, 타임슬롯 길이, 타임슬롯 갯수를 노드들의 트래픽 상황에 맞게 가변적으로 제어할 수 있도록 하여 액티브구간의 길이를 적응 제어할 수 있도록 설계한다.

3. 제안 방법

(1) GTS 제공 방법

디바이스가 PNC에게 GTS_allocation_request (CSMA/CA 방식으로 CAP구간에서)를 한다. 이때 할당요청하는 트래픽량을 슬롯 갯수를 파라미터로 하여 요청한다.

요청을 받은 PNC는 할당가능 여부를 검사한후 비콘프레임의 GTS할당 정보필드에 스타트 슬롯 번호(start_slot_number)와 할당된 슬롯갯수(allocated_slot_count)를 표시하여 device에게 알려준다.

비콘 프레임은 다음 그림 1과 같다. (device k, device l, device m 이 GTS 사용을 요청하고 할당이 된 상태)

device k는 비콘으로부터 1번째 슬롯부터 시작하여 2슬롯 사용권을 할당 받음

device l은 device k 다음이므로 비콘으로부터 3번째 슬롯부터 시작하여 3슬롯 할당 받음.

device m은 device l 다음이므로 비콘으로부터 6번째 슬롯부터 시작하여 1슬롯 할당받음.

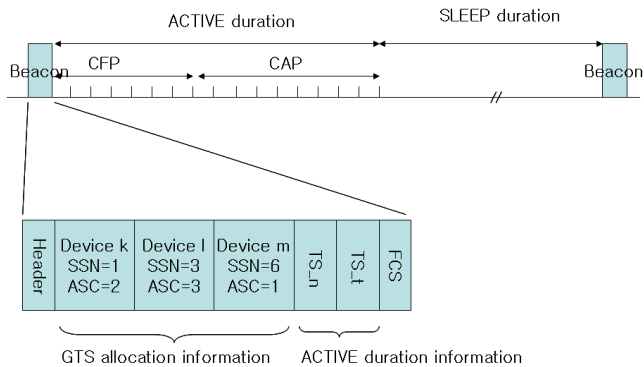


그림 1. 비콘 프레임 구조

각 device는 비콘 프레임을 캐치하여 그 속에 포함된 각자에게 할당된 GTS슬롯시작번호와 할당된 개수 정보를 갖고 해당 슬롯 사용을 개시할 수 있다. 이때 자기에게 할당된 슬롯이 아닌 구역에서는 RF를 끄고 전력을 절감할 수 있다.(NAV 동작시키는 것과 같은 효과를 가질 수 있음)

(2) 비콘을 이용한 PAN 노드들 간의 네트워크 파라미터 갱신

PNC는 BI 마다 전송되는 비콘의 ACTIVE duration information 필드를 통해 슬롯갯수(TS_n), 슬롯길이(TS_t)를 각 노드에게 알려준다. 여기서 TS_n은 양의 정수(integer)이며, TS_t는 한개의 타임슬롯 길이를 시간으로

나타낸다.

이때 액티브 구간의 길이는 $TS_n * TS_t$ 이며 BI 보다 작아야 한다.

각 노드는 통보된 파라미터를 갖고 자신의 파라미터를 갱신함으로써 PAN과 동기를 유지한다.

(3)BI, ACTIVE 구간의 길이 결정 방법

주어진 시간 BI에서 최대한 많은 량의 데이터를 전송하거나 아님 전송을 최대한 빨리 종료하여 이후의 시간을 비활성화 상태로 지내는 것이 소모전력 절감 측면에서 중요하다.

앞서 언급 했듯이 기존의 ZigBee MAC에서는 노드의 수나 각 노드간에 데이터 전송 량을 고려 하지 않고 무조건 16개 슬롯을 고정하고 슬롯 길이도 고정하여 사용하였으나, 이는 센서 네트워크의 특성을 고려하지 않은 것이다.

여기에서 중요한 요소는 현재 구축된 망에서의 BI, 노드 수(SN_n), 각 노드에서 BI 주기마다 도착되는 데이터의 평균 데이터 전송시간(DT_i), 슬롯갯수(TS_n), 슬롯길이(TS_t)의 상관관계이다.

즉, TS_n과 TS_t의 곱을 액티브구간(X)라 하고 이 값은 비콘 주기 시간(BI) 보다 작아야 하며, DT_i와 SN_n의 곱을 요구대역폭(Y)라하고 X는 Y보다 크게 제공되어야 네트워크 시스템이 안정상태로 동작하게 된다.

여기서 당연히 X가 Y보다 너무 크지 않게 최적으로 네트워크의 운용중에 조정하는 것이 가장 효과적이다.

PNC와 device의 BI 및 ACTIVE 구간을 제어하기위한 역할과 동작흐름은 그림2와 같다.

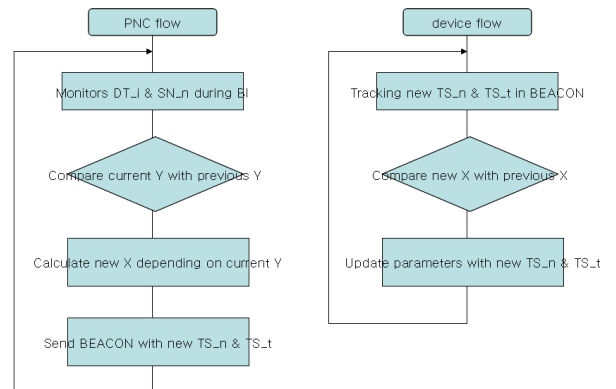


그림 2. BI, ACTIVE duration 제어 절차

정책1)

가장 간단히 네트워크의 부하 변동 사항을 감지하는 방법은 모든 노드들이 동일한 트래픽 특성을 가진다는 가정(즉, DT_i가 고정으로 볼 수 있음)하에서는 PNC에서 새로운 노드들이 이동해 들어오거나 나가는 것을 감지하는 것(SN_n이 바뀐)이다.

따라서, DT_i가 변하지 않는다는 가정하에서는 TS_t를 DT_i에 맞게 고정하고, SN_n에 따라 TS_n을 비례시키는 정책이다.

정책2)

SN_n은 고정된 상태에서 각 노드에서 발생시키는 트래픽이 급격히 늘어 나거나 줄어 들거나 할 경우(즉, DT_i가 변함)는 PNC에서 링크 이용율을 추적하여 TS_t를 비례시키는 정책이다.

이때 링크 이용률은 액티브구간중 유효 트래픽 전송에 점유된 슬롯의 비율이다.

정책3)

상이한 트래픽 특성을 가지는 노드들의 이동에 따른 경우(즉, SN_n 및 DT_i 동시 변화)는 정책1과 정책2를 혼합한 방법이다.

4. 성능 분석

실제적으로 ZigBee와 같은 센서네트워크의 타겟 환경이 데이터길이 10바이트 미만의 짧은 편이다. 10바이트 데이터 길이에 해당하는 DT_i는 320us이다. 이때 CSMA/CA 알고리즘에서 노드들이 채널을 센싱하여 idle하지 않을 때 백오프하는 기본시간인 단위백오프시간(aUnitBackoffPeriod)가 20심볼로써 320us이다. 이렇듯 DT_i와 단위백오프시간이 동일하거나 비슷할 경우 TS_t를 조정하는 것 보다 TS_n을 조정하는 것이 효과적이다.

따라서 정책1의 상태를 위주로 실험을 수행한다.

그림 3은 노드 개수를 늘려가면서 TS_n의 값에 따라 각 노드에서 겪게되는 백오프 회수를 실험을 통해 측정하였다. 노드 개수가 늘어남다는 것은 네트워크의 트래픽 부하가 늘어남다는 의미이다.

TS_n의 값이 작은 경우는 큰 TS_n 값의 경우에 비해 활성화 구간이 짧으므로 노드 개수가 늘어남에 따라 더 빨리 급격히 백오프 횟수가 늘어 남을 볼 수 있다.

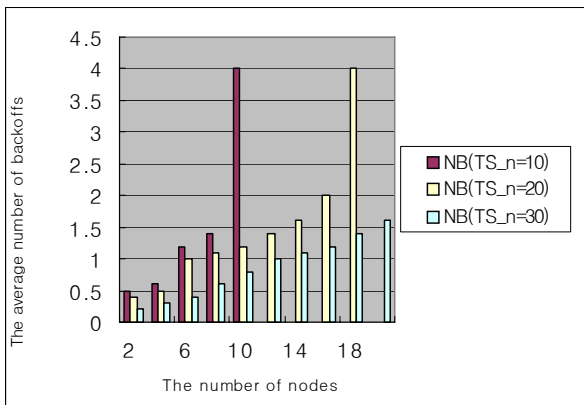


그림 3. 노드의 개수에 따른 백오프 발생수

그림 4는 소비전력을 분석한 결과이다. 전력 소모 계산 방법은 [4]의 방법을 적용하였다. TS_n 값이 작을 수록 활성화 구간이 짧아 소모 전력이 작고, TS_n 값이 클 수록 전력 소모가 늘어남을 알 수 있다.

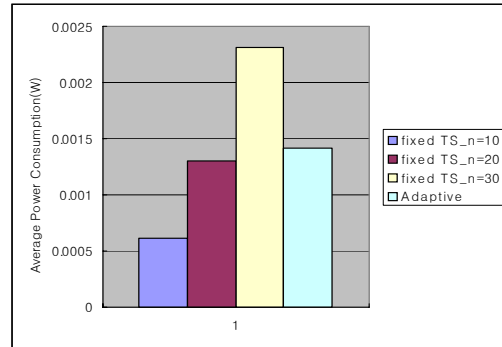


그림 4. 평균 소비 전력

이렇게 고정된 값을 가질 경우 TS_n을 크게 하였으나 노드 개수가 작다면 트래픽이 없는데도 깨어 있음으로 인해 전력을 많이 소모하게 되고, TS_n을 작게 한다면 트래픽이 늘어나는 경우에 그림 3에서 처럼 백오프가 늘어나서 지연시간이 늘어나는 품질 저하가 발생할 수 있다. 본 제안 방식을 적용한 결과 평균 전력 소모를 줄일 수 있으면서도 전송 품질의 영향을 줄일 수 있음을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 Zigbee와 같은 무선 네트워크에서 실시간 트래픽을 수송할 수 있는 방법과 노드의 에너지 소모를 줄여 생존시간을 늘이는 방법을 제안하고 성능을 분석하였다. 전력 절감을 위하여서는 슈퍼프레임을 구성하는 비콘주기내에서 액티브구간과 인액티브구간으로 운용될 시 전력 소모를 줄이기 위하여 네트워크의 트래픽 특성과 부하 정도에 따라 액티브 구간을 적응제어하는 방법이 제안되었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천 기술개발사의 일환으로 수행하였음. [10035380, 초절전 센서네트워크 핵심기술개발]

참고문헌

[1] Hagen Woesner, Jean-Pierre Ebert, Morten Schlager, and Adam Wolisz, "Power Saving Mechanisms in emerging standards for wireless LANs: The MAC level perspective," IEEE Personal Communications, Jun 1998

[2] Juan Carlos Cano and Pietro Manzoni, "Evaluating the energy consumption reduction in a MANET by dynamically switching-off network interfaces," 6th IEEE symposium on computers and communications, Jul. 2001

[3] IEEE802.15.4-2003 IEEE Standard for Information Technology-Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANS), 2003

[4] Dongwon Kim, Tae-geon Park, "An Energy Efficient MAC Protocol Providing Guaranteed Service for Wireless Sensor Network," TIIS Vol. 5, Issue 1, 2011.1.31 pp. 123-140