

지그비에서 전력 소비를 줄이기 위한 동적 프로토콜

권도근*, 정기현*, 최경희**
*아주대학교 전자공학부
** 아주대학교 정보 통신 대학원
e-mail : kwondk81@gmail.com

Adaptive power efficiency protocol for Zigbee

Do-keun Kwon*, Gihyun Jung*, Kyunghee Choi**

*Dept. of Electronics, Ajou University

**A Professional Graduate School for Info. and Comm. Engineering, Ajou University

요 약

지그비(zigbee) 장비는 센서 네트워크 장비 중에서도 규모가 큰 측에 속하고 배터리로 동작하기 때문에 전력 소비가 큰 문제점으로 부각되고 있다. 지그비에서 비콘(beacon)을 사용하는 네트워크를 구성하면, 센서 장치들은 데이터 전송 빈도가 낮을 때도 중앙 데이터 처리기(coordinator)가 전송하는 비콘 패킷을 매번 받아야 하기 때문에 그에 따른 전력소모가 상당히 높다. 이러한 지그비 네트워크의 중앙 데이터 처리기와 주변 센서 장치(device)에 비콘 수신 주기를 동적으로 설정할 수 있는 프로토콜을 추가 함으로써 기존의 데이터 응답 속도를 유지하면서 전력 소모도 줄이는 방안을 제시하고자 한다.

1. 서론

무선 센서 네트워크 기술은 모든 물체가 언제 어디서나 네트워크에 연결되는 유비쿼터스 시대에 핵심이 되는 기술이다. 수백, 수천 개의 작은 모듈로 구성된 센서 네트워크는 생산공정 자동 제어, 창고 물류 관리, 병원에서의 환자 원격 모니터링 및 외부 침입 탐지 시스템 등 다양한 분야에서 이미 사용되고 있거나, 개발되고 있다.

센서 장치에서 가장 중요시 되는 문제는 전력 소모량이다. 센서 장치는 대부분 전력선 없이 배터리로 운용되는 것이 일반적이기 때문에 제한된 전력량으로 최대한 오래 사용할 수 있는 것이 큰 관건이다. 그래서 많은 학교나 연구소, 기업에서 센서 네트워크 장치의 전력 소비를 줄이기 위해서 하드웨어 디자인은 물론 저전력 네트워크 토폴로지 구성, 효율적인 MAC 레이어 프로토콜, 네트워크 라우팅 프로토콜 등이 연구 되어 왔다.

특히 효율적인 MAC 레이어 프로토콜 연구에서 S-MAC[2], T-MAC[6], P-MAC[4] 등 다양한 연구들이 진

행 되어 왔다. 센서 장치는 전송할 데이터가 없어도 자신에게 전송될 데이터를 기다려야 하기 때문에 채널을 관찰하고 있어야 한다. 비교적 데이터의 전송 빈도가 낮은 센서 장치에서는 불필요한 채널 관찰(Idle Listening)로 인한 전력 소모가 전체 전력 소모에서 큰 비중을 차지 하게 된다. 위의 연구된 효율적인 MAC 프로토콜들은 기본적으로 센서 장치가 깨어 있는 시간을 최대한 줄임으로써 전력 소비를 줄이는 방식을 채택하고 있다. 주기적 혹은 동적으로 센서 장치가 수면하게 함으로써 전력 소비를 최대한 줄이는 것이 위 프로토콜의 목표이며 과제이다.

지그비 장치는 센서 네트워크를 구성하는 장치들 중에서도 그 규모가 큰 편에 속한다. 주기적으로 센서 장치를 수면시킴으로써 전력 소모를 줄일 수 있는 메커니즘이 있지만 그 메커니즘이 상당히 고정적이기 때문에 다양한 네트워크 상황에 효과적으로 적응하기에는 부족한 점이 많다. 따라서 앞으로 가정용 홈 네트워크 제품에 각광 받는 표준이 되기 위해서 더 효율적인 전원 관리 능력을 가져야 한다.

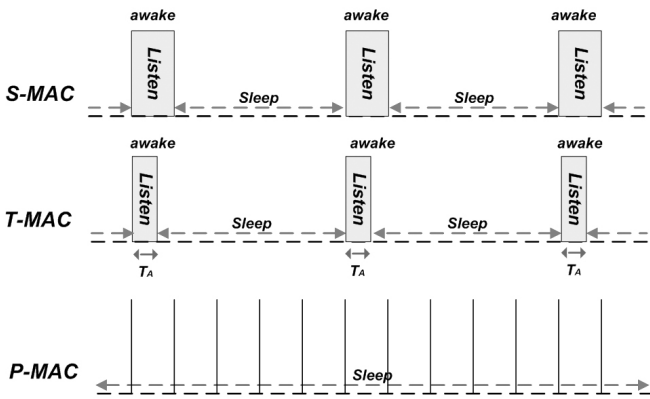
이 논문에서는 센서 네트워크에서 연구된 MAC 프로

토콜을 살펴 보고 지그비에 동적인 수면 프로토콜을 적용할 수 있는 방안을 찾아본다

2. 관련 연구

센서는 깨어 있는 것 자체가 전력 소모를 일으키는 원인이므로 따라서 깨어있는 시간 자체를 줄이면서 전력 소비를 줄이는 MAC 프로토콜이 여러 가지 연구되었다. 가장 보편적으로 사용되는 S-MAC (Sensor MAC) 프로토콜이며, T-MAC (Timeout - MAC), P (Pattern - MAC 등 여러 가지 저전력 MAC 프로토콜 연구가 진해 되어 왔다.

위의 언급된 프로토콜들에 대해 간단히 알아본다.



(그림 1) S-MAC, T-MAC, P-MAC 프로토콜 비교

2-1 S-MAC (Sensor MAC)

그림 1 에서와 같이 S-MAC 은 주기적으로 수면과 채널 관찰을 반복하는 프로토콜이다. 이 프로토콜은 간단하고 구현이 쉽기 때문에 센서 네트워크에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 대표적인 저전력 기법이다. 이 프로토콜은 수면 주기만큼의 데이터 반응 속도를 감소 시키지만 불필요한 채널 관찰로 인한 전력 소모를 효과적으로 줄일 수 있다.

이 MAC 프로토콜은 수면 주기를 최대한 늘이면 전력 소비는 줄일 수 있겠지만, 그 주기만큼의 반응 속도가 늦어지게 되는 문제점이 있고, 네트워크에 보낼 데이터가 없어도 주기적으로 항상 깨어나야 하기 때문에 그로 인한 전력 소모가 일어난다.

2-2 T-MAC (Timeout MAC)

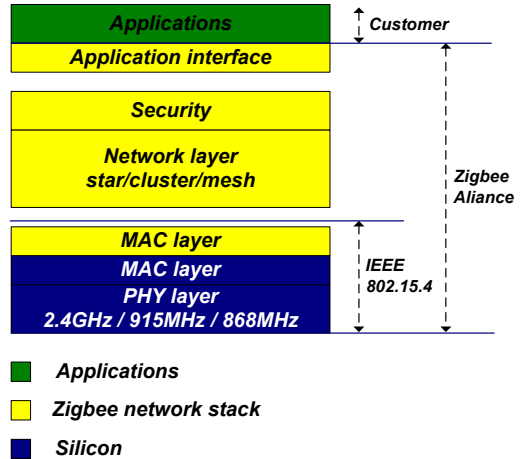
T-MAC 은 조금 더 S-MAC 을 발전 시킨 프로토콜이다. 다른 점은 S-MAC 에서는 채널 관찰 구간을 모두 깨어 있으면서 주변 센서 장치로 오는 데이터가 있는지 기다리고 하고 있어야 하지만, T-MAC 에서는 일정 시간 (T_A) 동안 채널에 아무런 신호가 없다면 바로 수면에 빠진다. 그림 1 에서 보다시피 S-MAC 보다 채널 관찰 구간을 줄임으로써 S-MAC 보다 불필요한 채널 관찰로 인한 전력 소비를 줄인 프로토콜이다. 하지만 이 프로토콜 역시 센서 장치가 보낼 데이터가 없는 경우에 주기적으로 항상 깨어나서 채널을 관찰하고

있어야 하는 문제는 여전히 남아 있다.

2-3 P-MAC (Pattern MAC)

P-MAC 은 SMAC 에서 더 진보한 MAC 프로토콜이다. 이 프로토콜은 S-MAC 을 기반으로 하고 있다. 하지만 P-MAC 프로토콜은 네트워크의 트래픽에 따라서 sleep 구간을 동적으로 할당 함으로써 S-MAC 보다 데이터 반응 속도를 높이고, 전력 소모를 줄일 수 있게 해주는 프로토콜이다.

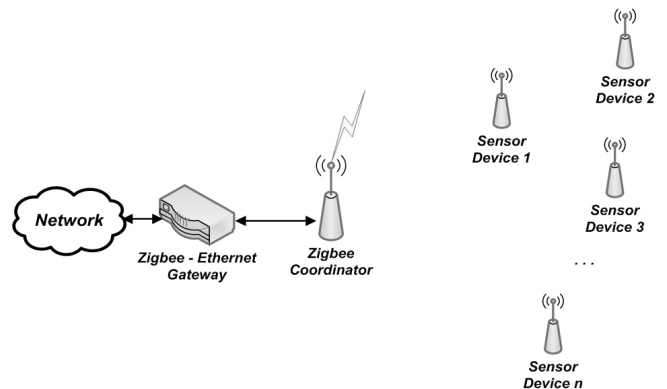
3. 지그비 / IEEE 802.15.4



(그림 2) 지그비 스택의 구성

지그비는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜을 바탕으로 구현되어 있다. 802.15.4 프로토콜은 실제 트랜시버 칩과 MAC 소프트웨어까지의 표준이고, 지그비 네트워크 표준에서 실제 네트워크 라우팅 등에 관한 네트워크 레이어 역할을 정의 한다.

3-1 지그비 네트워크의 구성



(그림 3) 지그비 네트워크의 구성도

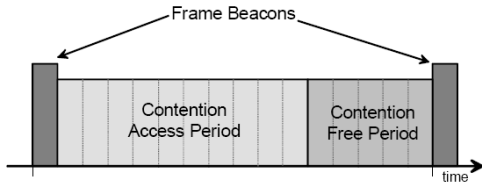
일반적으로 지그비 네트워크는 그림 3 과 같이 중앙 데이터 처리기(Coordinator)와 주변 센서 장치 (Device) 들로 구성될 수 있다. 중앙 데이터 처리기는 센서 네트워크를 관리하고 센서 장치들로부터 데이터를 수집/처리하며 지그비 - 이더넷 게이트웨이 같은 장비와

연결되어 실제 이더넷 망에 물려 연동 할 수 있는 장치이다. 이 중앙 데이터 처리기는 전력의 제약을 받지 않는 장비와 물려 연동하기 때문에 굳이 주기적으로 수면하지 않아도 된다. 반면 주변 센서 장치는 센서로 들어온 데이터를 수집하여 중앙 데이터 처리기에게 전달하거나, 중앙 데이터 처리기에서 전달된 명령을 수행하게 된다. 주변 센서 장치들은 보통 배터리로 운용되기 때문에 전력 소비를 최소화 시켜야 하며 주기적으로 수면하는 방식을 통해 전력소모를 줄이고 있다.

3-2 지그비에서의 저전력 기법

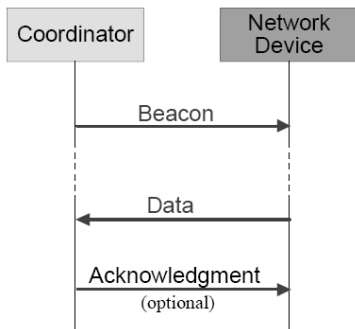
지그비 네트워크에서 데이터 전달 동기를 맞추는 메커니즘은 두 가지가 있다. 하나는 중앙 데이터 처리기에서 동기화를 맞추는 경우와 또 하나는 센서 장치에서 동기화를 맞추는 경우이다. 두 경우에 따라서 저전력 기법이 다르게 적용된다.

첫째, 중앙 데이터 처리기에서 동기화를 맞추는 경우, 중앙 데이터 처리기는 고정 주기로 비콘 패킷을 센서 장치로 전송하는 방법이다. 주변 센서 장치는 그림 5와 같이 그 주기에 맞추어 깨어나서 반드시 비콘 패킷을 받아야 한다.

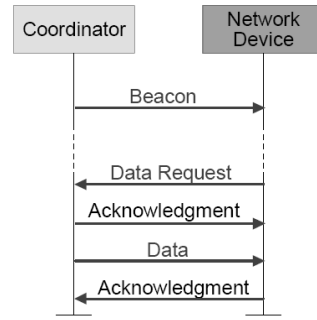


(그림 4) 슈퍼프레임의 구성

비콘 패킷에는 그림 4와 같은 슈퍼프레임[1]을 정의하고 있는데, 슈퍼프레임의 구조와 자신에게 할당 받은 시간 영역에 대한 정보가 있어야 슈퍼프레임 구조에 맞추어 깨어날 수 있게 때문에 비콘 패킷 간격으로 깨어나서 비콘의 내용을 확인하여야 하는 것이다. 이 경우 네트워크 전체가 중앙 데이터 처리기가 송신하는 비콘의 통제를 받기 때문에 네트워크를 관리하거나 주기적/비주기적인 데이터 송신 주변 센서 장치에게 효과적인 시간 할당이 가능하게 해준다. 하지만 장시간 보낼 데이터가 없는 주변 센서 장치들의 경우 주기적으로 비콘을 수신하여야 하기 때문에 그로 인한 전력 소모가 있다.



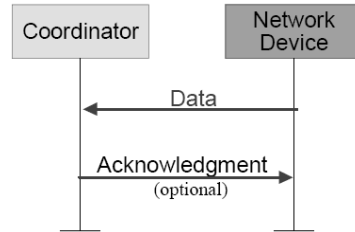
(가) uplink data 전달 과정



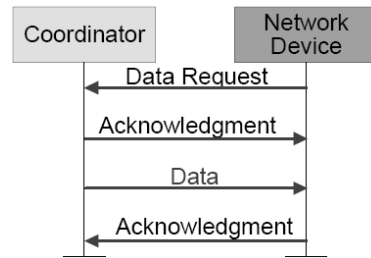
(나) downlink data 전달 과정

(그림 5) 비콘 네트워크 데이터 전달 과정

둘째, 주변 센서 장치에서 동기를 맞추는 경우이다. 주변 센서 장치는 중앙 데이터 처리기에 그림 6과 같이 주기적으로 요청 패킷(request packet)을 전달하여야 한다. 센서 장치는 중앙 데이터 처리기가 주변 센서 장치에게 보낼 데이터가 있는지 없는지 알 수 없기 때문에 중앙 데이터 처리기에게 데이터 요청 패킷을 주기적으로 전달하여야 한다. 이 경우 주변 센서 장치가 독자적으로 수면 주기에 대한 프로토콜을 적용하여 전력 소모를 줄인다.



(가) uplink data 전달 순서



(나) downlink data 전달 순서

(그림 6) 비콘을 사용하지 않는 네트워크 데이터 전달 과정

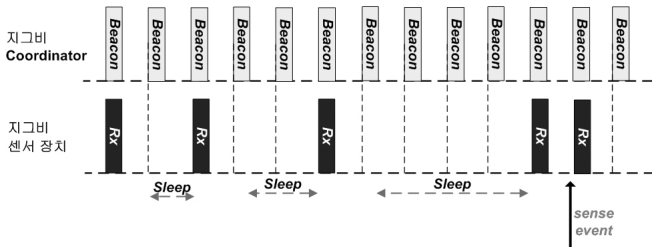
3-3 beacon network에서의 문제점

센서 네트워크에서 비콘을 사용하는 네트워크는 모든 주변 센서 장치가 중앙 데이터 처리기에서 전송한 비콘 패킷에 동기화되어 있기 때문에 네트워크를 관리하기가 쉬워진다. 또한 슈퍼프레임을 사용하면 주기적 / 비주기적인 데이터의 전송을 효과적으로 할 수 있는 시간 구간 스케줄링 메커니즘을 제공하지만 전력 소비에 관한 문제점을 안고 있다. 주변 센서 장치는 비

콘을 반드시 수신해야 하기 때문에, 만약 장시간 중앙 데이터 처리기에서 주변 센서 장치에 전달될 데이터가 없는 경우, 센서 장치는 주기적으로 깨어나는 문제로 인해 전력소모가 발생하게 된다. 비콘을 사용하지 않는 경우 주변 센서 장치에 독자적인 수면 프로토콜을 구현함으로써 저전력 프로토콜을 구현할 수 있지만, 비콘 네트워크의 경우 위와 같은 문제로 기존의 비콘 수신 정책의 변화가 있어야 한다.

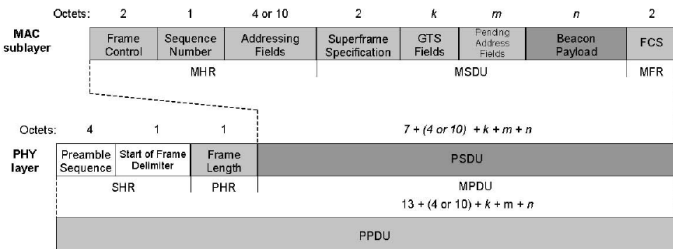
4. 지그비에 동적 프로토콜의 적용

주변 센서 장치가 동적으로 비콘 패킷 수신 간격을 설정하기 위해서는 수신 간격은 중앙 데이터 처리기가 전송하는 비콘 패킷 간격의 정수배가 되어야 하고, 중앙 데이터 처리기는 주변 센서 장치가 비콘을 수신하지 않는 구간에서는 주변 센서 장치에 시간 구간을 할당하지 않아야 한다.



(그림 7) 동적 프로토콜 적용시 지그비 센서 장치의 동작

그림 7에서와 같이 비콘 네트워크에서 트래픽에 따라서 센서 장치가 동적으로 비콘 패킷 수신 간격을 설정할 수 있도록 했을 때의 모습이다. 네트워크의 데이터가 없을 때에는 비콘 패킷 수신 구간 설정을 한계값(사용자 설정)까지 2 배씩 늘려가고, 데이터 전송이 시작(Sense event)되면 중앙 데이터 처리기가 전송하는 비콘 패킷 송신 주기로 동작함으로써 불필요한 비콘 수신으로 인한 전력 소모를 줄이고 데이터 전송 반응 속도는 기존과 동일하게 가져 갈 수 있게 할 수 있다.



(그림 8) 비콘 패킷

그림 8 과 같이 비콘 패킷의 슈퍼프레임 스펙(superframe specification)[1]에는 CAP(Contention Access Period)[1] 와 CFP(Contention Free Period)[1]의 구성을 설정하는 영역이 있고 GTS(Guaranteed Time slot)[1] 영역에는 주변 센서 장치에게 할당할 슈퍼프레임 시간 구간이 명시되어 있다. 따라서 동적인 프로토콜을 적용할 때 GTS 영역을 동적으로 통제 하여 주변 센서 장치가 비콘 패킷을 받지 못하는 구간에는 GTS 을 할

당하지 못하도록 한다.

비콘 주기는 8 초, 주변 센서 장치에서의 데이터 전송 평균 30 초로 설정하였으며, 동적 비콘 수신 주기 최대값은 8(8*8=64 초)로 설정 하였다.

적용/비적용	전력 소모
동적 프로토콜 적용	5.18mW
동적 프로토콜 비적용	10.36mW

(표 1) 주변 센서 장치에서의 초당 소비 전력

실험 결과 표 1 과 같이 중앙 데이터 처리기와 주변 센서 장치에 동적인 수면 프로토콜을 적용시켰을 때, 기존의 지그비보다 전력 소모를 적게 하였다.

5. 결론

지그비로 비콘 네트워크를 구성할 때 주변 센서 장치는 비콘 패킷을 항상 수신해야 하기 때문에 장시간 보낼 데이터가 주변 센서 장치는 전력 소모가 일어나게 된다. 주변 센서 장치에서 장시간 보낼 데이터가 없을 경우, 비콘 패킷 수신 간격을 2 배씩 늘려서 불필요한 비콘 패킷 수신으로 인한 전력소비를 줄이는 것이 동적 프로토콜의 목적이다. s 이러한 프로토콜을 적용시켰을 때, 주변 센서 장치의 전력 소모는 기존의 지그비 프로토콜을 수정없이 사용했을 때 보다 현저하게 낮았다.

나아가 P-MAC 프로토콜에서의 패턴을 지그비 동적 수면 주기 실험에 적용하고 전력 소모량, 반응 속도에 대한 실험을 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 802.15.4TM Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)
- [2] Wei Ye, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 12, NO. 3, JUNE 2004
- [3] Wei Ye, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 12, NO. 3, JUNE 2004
- [4] Tao Zheng, Sridhar Radhakrishnan and Venkatesh Sarangan "PMAC: An adaptive energy-efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks", IEEE WMAN 05
- [5] Peng Lin, Chunming Qiao and Xin Wang, " Medium Access Control With A Dynamic Duty Cycle For Sensor Networks"
- [6] T. V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," in SenSys'03, Los Angeles, Nov. 2003, pp.171-180.