

# 비컨 사용 멀티 홉 무선 센서 네트워크에서

## 비컨 스케줄링 기법\*

박영균<sup>o</sup>, 남영진

대구대학교 컴퓨터·IT 공학부

superhornet@daegu.ac.kr<sup>o</sup>, yjnam@daegu.ac.kr

### Beacon Scheduling Method based on beacon enabled multi-hop wireless sensor network

Young Kyun Park<sup>o</sup>, Young Jin Nam

School of Computer & Information Technology, Daegu University

#### 요 약

무선 센서 네트워크의 표준인 IEEE 802.15.4는 전력소모를 줄이기 위해 비컨을 사용하는 슈퍼프레임 구조를 지원하는데 이를 멀티 홉 네트워크 환경에 적용시킬 경우 비컨의 충돌이 발생한다. 네트워크의 정보를 담은 비컨이 충돌 되면 노드간의 통신에 장애가 발생하고 새로 네트워크에 참여하고자하는 노드도 수용할 수 없게 된다. 이와 같은 문제를 개선하고자 본 논문에서는 현재 제안되어있는 비컨 충돌 회피 방법들을 분석하고 이를 바탕으로 이웃 노드의 정보를 이용하여 다수의 센서 노드가 중복된 시간에 비컨을 전송할 수 있도록 하여 전체 네트워크에 비컨이 전송되는 시간을 줄이는 방법을 제시한다.

#### 1. 서 론

IEEE 802.15.4[1]는 저전력 무선 센서 네트워크의 표준으로써 주파수 868MHz, 915MHz, 2.4GHz 대역에서 각각 20kbs, 80kbs, 250kbs의 저속으로 동작하며 star, peer to peer 형태의 네트워크를 지원하고 비컨 사용, 미 사용 모드가 지원된다. 비컨을 사용할 경우 슈퍼프레임(superframe) 구조를 가지며 RF의 송수신기를 끄는 비 활동(inactive)구간을 선택적으로 사용할 수 있어 전력소 모를 줄일 수 있다. 기본적으로 CSMA-CA 채널 접근 방식을 사용하지만 비컨 사용 모드의 경우에는 TDMA를 지원하므로 필요할 경우 사용할 수 있다. 표준에서는 네트워크에서 동작하는 기기의 종류를 Full function device(FFD)와 Reduce function device(RFD) 두 가지로 구분한다. FFD는 비컨을 전송 할 수 있고 네트워크를 관리 할 수 있으며, RFD는 센서를 통해 데이터를 수집하고 전송 등 최소 기능만 수행한다. 비컨에는 망의 채널 및 PAN ID, Coordinator의 주소, 슈퍼프레임에 관한 정보, 데이터를 수신해야 될 기기의 주소 목록 등의 정보를 담고 있는데 IEEE 802.15.4 표준은 멀티 홉을 고려하지 않은 프로토콜이고 비컨의 충돌 회피에 관한 언급이 없어 둘 이상의 FFD가 비컨을 전송하면 충돌이 날 수 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4b 작업그룹에서 제안한 비컨 충돌회피 방법[2]을 소개하고 이를 바탕으로 기존의 방법과 비교했을 때 같은 슈퍼프레임 크기에서 비컨

의 전송에 사용되는 구간을 최적화 할 수 있는 방법을 제안 한다.

#### 2. 관련연구

##### 2.1. IEEE 802.15.4의 비컨 사용 및 전송

IEEE 802.15.4에서 비컨 사용모드와 비컨 미사용 모드의 차이점은 슈퍼프레임의 사용 여부 외에도 FFD의 비컨을 전송하는 시기가 다른 점을 들 수 있다. 비컨 미 사용 모드에서는 FFD 혹은 RFD가 네트워크에 참여하기 위해 채널을 검사하면서 비컨 요청 명령을 전송하고 FFD가 명령을 수신했을 경우만 비컨을 전송하는데 반 해, 비컨 사용 모드에서는 슈퍼프레임의 구조에 따라 주기적으로 매 슈퍼프레임이 시작하는 시점에 비컨을 전송 한다.

그림 1은 슈퍼프레임 구조를 나타낸 것으로, 슈퍼프레임은 비컨, CSMA-CA 방식으로 채널에 접근하는 CAP(Contention Access Period) 그리고 1:1통신을 보장하는 TDMA방식으로 경쟁이 없는 CFP(Contention Free Period) 그리고 전력소모를 줄이기 위해 RF의 송수신기를 꺼두는 비활동 구간으로 나뉜다.

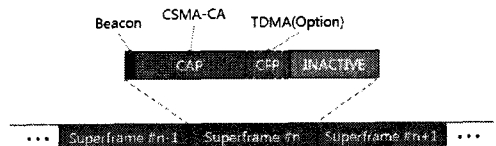


그림 1 IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임 구조

\* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터지원 사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2007-C1090-0701-0045)

CFP와 비활동 구간의 사용은 선택적인 부가사항이라 사용자가 필요할 때 사용하면 된다. 슈퍼프레임의 전체 길이, 비컨과 CFP를 포함하는 활동(Active)구간은 BO(Beacon Order), SO(Superframe Order) 두 매개변수로 조절이 가능하다. 하지만 하나의 슈퍼프레임에 하나의 비컨만 사용하는 구조이므로 FFD1, FFD2의 순서대로 PAN Coordinator의 네트워크에 참여하는 상황을 가정했을 때 FFD1과 PAN Coordinator의 비컨 전송 시간이 같거나 비슷하면 문제가 발생한다. PAN Coordinator와 FFD1의 비컨 충돌이 발생하면 PAN Coordinator의 자식노드인 FFD2가 PAN Coordinator의 비컨을 듣지 못해 동기가 손실된다. FFD2는 표준에 따라 자신의 Coordinator인 PAN Coordinator의 비컨을 4회 이상 수신하지 못 하게 되면, Orphan notification 명령을 통해 PAN Coordinator의 망에 다시 참여할 수 있다. 하지만 FFD1의 비컨과 PAN Coordinator의 비컨이 계속 충돌되는 상태이므로 FFD2는 동기를 잃고 다시 맞추려는 시도만 반복하게 된다.

2.2. IEEE 802.15.4b의 비컨 충돌 회피 방법

IEEE 802.15.4b 작업그룹에서는 비컨 충돌 문제를 Direct Beacon Conflict와 Indirect Beacon Conflict 두 가지의 부류로 나누었다. 그림 2의 a)의 경우는 Direct Beacon Conflict의 예를 나타낸다.

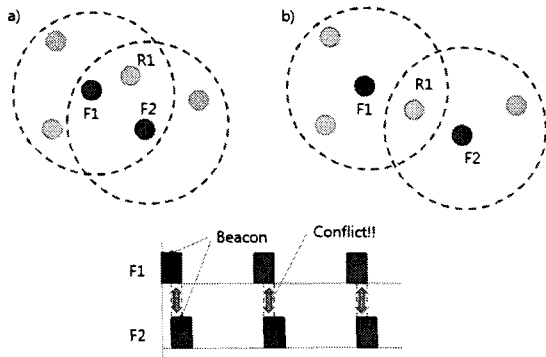


그림 2 Direct Conflict(a)와 Indirect Conflict(b)

하나 이상의 FFD가 같은 RF전송 범위 내에 존재하며 거의 비슷한 시간에 비컨을 전송하는 경우에 발생하고, Indirect Beacon Conflict를 나타내는 그림 2의 b)는 F1, F2의 RF범위는 다르지만 RF범위가 겹쳐지는 영역의 R1은 F1, F2가 비슷한 시간에 비컨을 전송하기 때문에 충돌이 발생해 F1, F2 중 누구의 비컨도 듣지 못하는 경우가 발생한다. R1이 비활동 구간일 때 F2가 네트워크에 참여한 경우 혹은 R1이 F1, F2의 RF 범위가 겹치는 영역에서 네트워크에 참여하려 하는 경우 이러한 문제가 발생한다.

802.15.4b 작업그룹에서는 이러한 문제의 해결책으로 두 가지 방법을 제안했다. 그림 3은 부모 노드의 Inactive 구간에 자식 노드가 비컨의 페이로드에 Beacon

Tx Offset을 포함시켜 전송하는 방법으로 IEEE 802.15.4b에서 채택하여 표준에 포함시킨 방법이다[3]. 네트워크에 참여하고자 하는 노드는 이웃 노드가 전송하는 비컨을 듣고 언제 비컨을 전송하는지 알 수 있다. 하지만 매우 짧은 활동 구간과 Duty cycle을 가지게 되고 CAP구간의 동적 확장이 용이하지 않으며, 자신의 슈퍼프레임의 활동 구간에 깨어나야 함은 물론이고 부모의 비컨을 듣기위해 부모의 활동 구간에도 깨어나야 하는 문제가 있다.

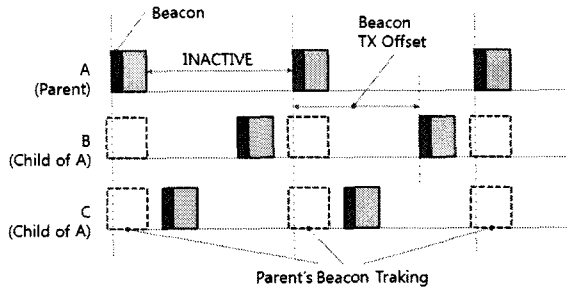


그림 3 부모 기기의 비활동 구간을 이용한 방법

두 번째 제안된 방법으로는 표준에서 슈퍼프레임 구조의 시작에 비컨을 하나만 허용하는 것과 달리 비컨만 전송할 수 있는 BOP(Beacon Only Period)를 두는 것이다. BOP에서는 CSMA-CA를 사용하지 않고 비컨을 전송하는데 그림 4와 같이 FFD는 BOP내에서 자신의 비컨을 전송할 슬롯을 결정하고 비컨을 전송한 후에는 어떠한 데이터도 전송하지 않고 postBeaconDelay만큼 backoff한다[4]. 비컨을 전송할 슬롯을 결정할 때 고려해야 할 사항이 있는데 FFD<sub>i</sub>가 사용하는 슬롯은 FFD<sub>i</sub>의 부모가 사용하는 슬롯과는 달라야 하며 FFD<sub>i</sub>의 자식을 포함해서 부모의 이웃 노드까지도 사용할 수 없다.

이 조건만 충족하도록 슬롯을 결정할 경우 3 hop 이상 떨어져 있는 두 노드는 같은 슬롯을 사용할 수 있고, 같은 자식을 가지지 않는 경우라면 형제 노드 간에도 같은 슬롯을 사용할 수 있다.

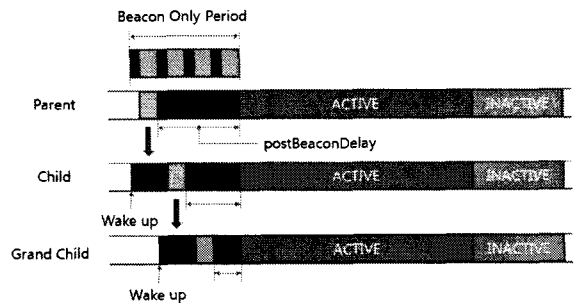


그림 4 BOP와 postBeaconDelay를 이용한 방법

하지만 Hop의 수는 3이상 일지라도 그림 2의 b)와 같이 물리적인 RF 범위가 겹치는 영역에서 새로운 기기

가 네트워크에 참여하고자 하는 경우가 발생하면, 비컨의 충돌로 인하여 네트워크에 참여하지 못 하게 된다.

### 3. 비컨 충돌 회피를 위한 스케줄링 기법 제안

본 논문에서는 IEEE 802.15.4b 작업그룹에서 제안한 비컨 충돌을 회피하는 방법 중 BOP를 사용하는 방법을 바탕으로 슈퍼프레임 구조에서 비컨의 전송에 사용되는 구간의 크기를 최적화 하는 방법을 제안한다.

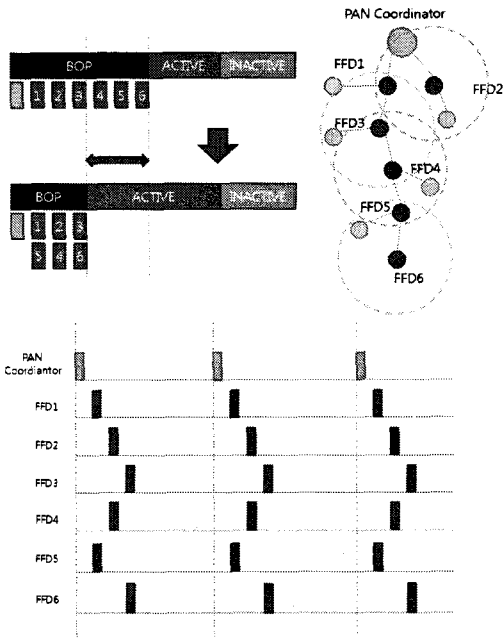


그림 5 슬롯 중복 할당의 예

만약 BOP의 크기가 고정되어 있다면 네트워크에 참여하는 FFD의 수가 증가 할 경우 더 이상 사용할 수 있는 BOP의 슬롯이 없어 네트워크에 참여하지 못 하게 된다. 하지만 이런 문제를 고려하여 BOP를 처음부터 크게 설정해둘 수도 없는 일이다. 덧붙여 BOP내에서 슬롯을 중복 시킬 수 있다면 전체 네트워크에서 비컨이 전송되는 시간도 줄어들게 된다. 즉 BOP의 길이가 짧아지므로 같은 슈퍼프레임 크기라도 데이터 전송에 사용되는 CAP구간을 좀 더 사용할 수 있게 되는 장점이 있다. 하지만 BOP내의 슬롯을 재사용하는 스케줄링을 구현하는 것은 NP-hard 혹은 NP-Complete 문제의 답을 찾는 것과 같아 불가능에 가까운 매우 어려운 문제이다. 따라서 완벽하게 최적화하기 보다는 시간, 메모리 등의 자원을 최소로 소모하면서 최적에 가까운 슬롯 할당 방법을 찾아야 한다. Z-MAC[5]에서도 이와 비슷한 문제를 다루고 있는데 Z-MAC에서는 Time frame rule을 이용해 2-hop 이웃 노드들과 같은 슬롯을 사용하지 않도록 할당하고 슬롯을 할당받은 노드가 존재 하더라도 단지 높은 우선순위를 가질 뿐 보낼 데이터가 없는 상황이라

만 해당 슬롯은 다른 노드에 의해 경쟁적으로 사용될 수 있다.

그러나 일반 데이터 및 명령 프레임과는 달리 비컨은 네트워크의 관리를 위한 중요한 정보이므로 BOP에서는 경쟁도 없어야 하며 해당 슬롯을 할당 받지 못한 노드는 절대 비컨을 전송 할 수 없어야 한다. 이는 Graph coloring 알고리즘과 같은데 그림 5는 슬롯 재사용의 예를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 RF 전송범위가 겹치지 않는 혹은 겹치더라도 같은 자식을 가진 경우가 아니라면 슬롯을 중복되게 할당하면 그만큼 데이터 전송에 좀 더 많은 시간을 사용할 수 있다.

### 3.1. 스케줄링 알고리즘

BOP구간을 효율적으로 사용할 수 있도록 제안하는 스케줄링의 알고리즘을 정리하면 다음과 같다. 우선 자신과 부모-자식의 관계가 아니더라도 들을 수 있는 범위 내의 모든 노드를 '이웃' 노드로 정의한다.

- 1) 네트워크에 참여하고자하는 노드  $n_i$ 는 IEEE802.15.4에 명시되어있는 참여과정을 거쳐 16bit 주소를 할당받은 후 이웃하는 노드에게 이웃하는 FFD가 사용하는 BOP의 슬롯 번호를 알려줄 것을 브로드캐스트(Broadcast)로 요청하고  $\alpha$ 시간만큼 대기한다. FFD의 경우 자신이 사용할 슬롯이 결정되기 전까지 Router로서의 역할을 하지 않도록 한다.
- 2) 이 요청을 수신한 노드는 자신의 이웃노드의 정보를 관리하는 네이비테이블(Neighbor Table)에서 홉의 제한 없이 모든 FFD들의 비컨을 전송하는 슬롯번호를 모아 요청한 노드로 전송한다.
- 3) 응답을 받은 노드  $n_i$ 는 이웃 노드들로부터 수집한 이웃노드들이 사용하는 BOP구간내의 슬롯 번호와 중복되지 않은 슬롯을 결정한다.
- 4) 결정된 슬롯으로 1홉 거리에 있는 노드들에게 사용해도 되는지 허가 요청한다.
- 5) 요청을 받은 노드들은 자신이 노드  $n_i$ 와 이웃하는 다른 FFD에 의해 비컨을 들을 수 없게 되는 경우가 아니면 사용허가 응답을 보낸다.
- 6) 만약 3)과정에서 사용할 수 있는 슬롯이 없다면 PAN Coordinator에게 BOP의 슬롯을 늘려줄 것을 요청하고 BOP가 확장될 때 까지 대기하고 확장되면 다시 2)과정부터 시작한다.
- 7) PAN Coordinator가 BOP 확장 요청을 받으면 다음 비컨을 보낼때 부터 수정된 BOP크기를 비컨 프레임에 담아 전송하고 네트워크의 FFD는 모두 업데이트하도록 한다.

이 같은 과정을 거치면서 네트워크에 참여하게 되면, 세 번째 과정에서 이웃 노드가 들을 수 있는 모든 FFD의 슬롯번호를 참조하여 자신이 사용할 슬롯을 정하기 때문에 Indirect 충돌도 방지할 수 있으며 다른 노드가 사용하는 슬롯을 선택하더라도 충돌나지 않으므로 슬롯을 재사용하게 되는 것이다. 슬롯을 결정하고 주위 노드에게 사용허가를 받을 때는 자신의 이웃 FFD가 사용 중

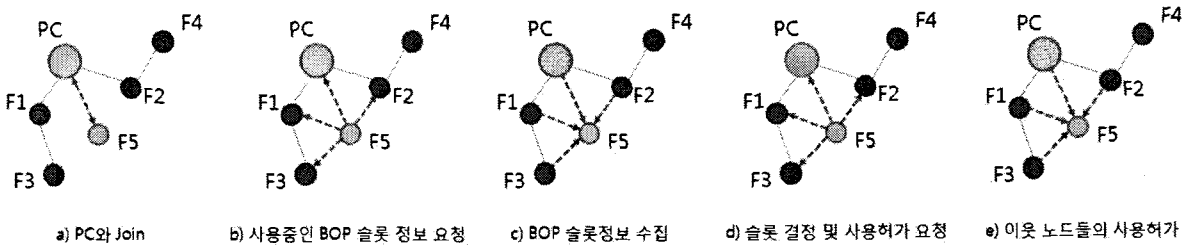


그림 6 제안하는 비컨 스케줄링 알고리즘의 동작 예

인 BOP 슬롯 정보를 알려준 노드들에게 요청하며, 하나의 노드라도 반대하면 다시 슬롯을 결정한다. 주의할 점은 이웃 노드들에게 이웃 노드들이 사용하는 슬롯 번호를 요청할 때 대기하는  $\alpha$ 시간은 네트워크의 형태 및 규모에 따라 정해야 한다. 그리고 초기 BOP 크기와 슬롯의 수 또한 네트워크의 규모에 따라 결정되어야 하며 노드가 BOP확장을 요청하더라도 무조건 적으로 늘리면 데이터 송수신에 더 많은 시간을 쓰고자하는 의도에 반하게 되므로 Superframe Duration을 고려해 임계치  $\beta$ 를 초과하지 않도록 해야 한다. 그림 6은 스케줄링 알고리즘이 동작하는 예를 표현한 것이고 그림 7은 스케줄링 결과로 네트워크에 참여하는 F5의 슬롯까지 설정된 그림이다. F5가 사용할 수 있는 슬롯은 1홉에 있는 노드가 사용하는 슬롯과 Indirect 충돌이 발생할 수 있으므로 F4가 사용하는 슬롯을 제외한 슬롯이어야 한다. 따라서 5번째 슬롯을 사용하도록 결정된다. F3과 F4는 동시에 비컨을 전송하더라도 충돌이 발생하지 않기 때문에 같은 슬롯을 사용할 수 있다.

하고 이를 바탕으로 슬롯을 정해 다시 이웃노드에게 사용허가를 받도록 하는 알고리즘이며 현재 IEEE 802.15.4b 표준에 채택된 방법과 비교했을 때 전체 노드의 활동, 비활동 구간이 동기화 되어있어 네트워크의 홉의 수가 커져도 데이터 전송 처리량은 월등히 나올 것으로 기대한다. RF 전송 범위를 고려해 이웃 노드들의 정보를 바탕으로 최적화된 비컨 슬롯을 찾는 것은 FFD가 적은 네트워크 환경에서는 상황에 따라 불필요한 오버헤드에 해당 할 수 있다. 하지만 네트워크에 FFD의 수가 상대적으로 많은 환경에서는 기존에 제안된 비컨 충돌 회피 방법에 비해 안정적인 성능을 보일 것이다.

현재 성능평가를 위한 시뮬레이션을 구현중이며 표준과의 비교 및 이웃 노드가 사용 중인 BOP의 슬롯 정보를 요청하고 대기하는  $\alpha$ 시간이 네트워크 초기 형성 시간에 미치는 영향 등을 확인할 것이다. 또한 Active구간 중에 BOP가 차지하는 비율에 따른 성능비교도 진행할 예정이다.

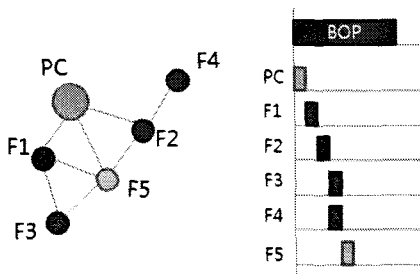


그림 7 비컨 스케줄링 결과

4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서 현재 제안되어있는 비컨 충돌 회피 방법을 토대로 활동, 비활동 구간의 크기가 같은 슈퍼프레임 조건에서 FFD의 비컨 전송 시간을 중복 가능한 FFD간에는 사용할 시간 슬롯을 중복시켜, 비컨을 전송하는데 사용되는 시간을 줄이는 기법을 제안하였다. 비컨의 Indirect 충돌을 피하고 둘 이상의 노드가 동시에 같은 슬롯을 선택하는 것을 방지하기 위해 이웃노드에게 들을 수 있는 모든 FFD가 사용하는 BOP의 슬롯정보를 요청

참고문헌

- [1] IEEE 802.15.4 Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- Local and metropolitan area networks -- Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003
- [2] Huai-Rong Shao, Mitsubishi, IEEE - 802.15 - 04 - 0313-01-004b - "Enhancements to IEEE 802.15.4"
- [3] Monique Brown, Motorola, IEEE- 802.15 - 04 - 0542-00-004b - "Beacon scheduling mechanism", 2004
- [4] Myung Lee, Samsung, IEEE - 802.15 - 04 - 0536 -00-004b - "Beacon scheduling mechanism", 2004
- [5] Injong Rhee, Ajit Warriar, Mahesh Aia and Jeongki Min, ZMAC: a Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks, 2005
- [6] ZigBee Alliance, ZigBee Document 053474r13, 2006