

# IEEE 802.15.4 에서의 에너지 효율적인 라우팅을 위한 계층적 주소할당에 기반한 비콘 스케줄링

김수중\*, 엄두섭

\*고려대학교 전자컴퓨터공학과

e-mail : [mulderz@korea.ac.kr](mailto:mulderz@korea.ac.kr)

## Beacon Scheduling for Energy-efficient Routing based on Hierarchical Address allocation in IEEE 802.15.4

Soo Joong Kim\*, Doo Seop Eom

\*Dept. of Electronics and Computer Engineering, Korea University

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 LR-WPAN 네트워크에서 계층화된 주소 할당방식을 통한 TDMA 방식의 비콘 스케줄링 기법을 제안한다. 본 제안은 각 노드가 데이터를 전달할 다음 노드의 active 구간을 비콘 추적 없이도 알 수 있어 데이터 전송시에 다음 노드의 경쟁구간(Contention Access Period, CAP)에 바로 참여할 수 있는 있는 형태로 되어 있다. 또한 계층적 주소 할당 방식을 사용하므로 다중 홉(multi-hop) 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 라우팅이 가능해진다.

### 1. 서론

최근 유비쿼터스 시대의 도래와 함께 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks, WSN)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중에서도 낮은 전송속도와 저렴한 가격, 긴 배터리 수명과 간단한 구조 및 연결성을 제공함으로써 10m 이내의 작은 범위 내에서 무선 연결에 적합하여 홈 네트워크 구축과 응급 상황 감지 시스템, 헬스 케어 시스템을위한 센서 및 모니터링 등 넓은 분야에 적용할 수 있는 IEEE 802.15.4 LR-WPAN 기술이 주목받고 있다.

센서 네트워크에서 에너지 효율은 가장 중요한 문제이므로 비콘 메시지를 사용하여 노드를 동기화하고 활성/비활성 구간을 결정하게 된다. 센서 네트워크의 특성상 수많은 노드가 사용된다는 점에서 노드간의 충돌 없이 동기를 맞추는 것이 에너지 효율과 관련하여 중요한 문제가 되므로 적절한 비콘 스케줄링 기법의 설계가 필요하다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 와 Zigbee 를 참고하여 beacon-enabled 네트워크에서의 계

층적 주소 할당에 기반한 비콘 스케줄링 기법을 제안한다.

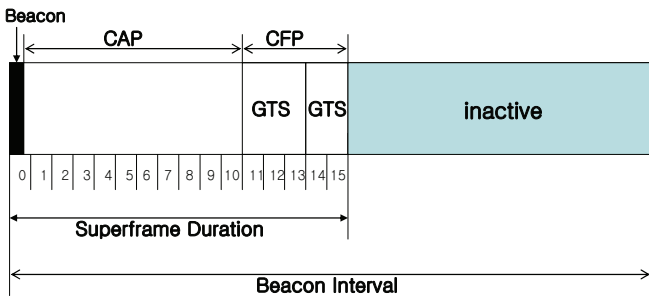
논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 비콘 스케줄링 기법에 대한 기존 연구를 언급하고, 3 장에서 제안한 비콘 스케줄링 기법을 소개하고, 4 장에서는 3 장에서 언급한 비콘 스케줄링 기법에 대한 모의 실험 결과를 제시하며 마지막 5 장의 결론으로 끝을 맺는다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조

IEEE 802.15.4에서는 PHY 와 MAC 을 정의하고 있는데, 슈퍼프레임의 구조는 다음과 같다. 슈퍼프레임은 그림 1 과 같이 활성구간과 비활성구간으로 나뉘고, 또 활성구간은 16 개의 슬롯으로 구성되며 이 중에서 노드간의 동기를 맞추는 역할을 하는 비콘은 첫번째 타임 슬롯에서 전송된다. 비콘 구간 다음으로는 CAP(Contention Access Period)구간, 그리고

CFP(Contention Free Period)구간의 순서로 구성된다. CAP 구간에서는 모든 노드들이 slotted CSMA-CA 방식을 사용하여 경쟁을 통해 채널에 접근할 수 있고, CFP 구간에서는 코디네이터에 의해 설정된 GTS(Guaranteed Time Slot)을 통해 특정 노드가 정해진 시간에 채널에 접근할 수 있도록 되어 있어 일정한 bandwidth 를 필요로 하는 데이터의 경우 등에 사용할 수 있도록 되어 있다. BI(Beacon Interval)와 SD(Superframe Duration)의 조절을 통하여 활성, 비활성 구간의 조절이 가능한 구조로 되어 있다.(그림 1 참조)



$$BI = aBaseSuperframeDuration * 2BO$$

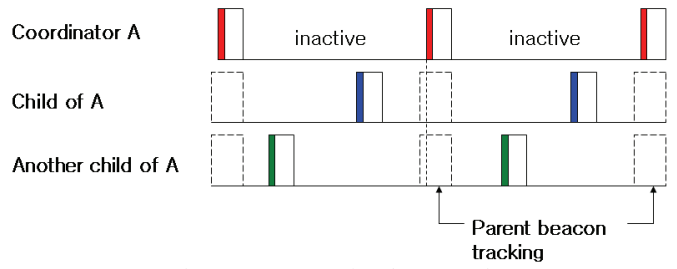
$$SD = aBaseSuperframeDuration * 2SO$$

Where, aBaseSuperframeDuration = 960 symbols  
 $0 \leq BO \leq 14, 0 \leq SO \leq 14$

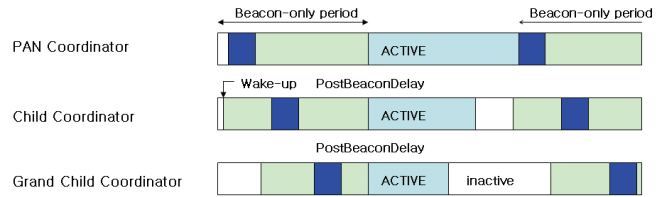
(그림 1) IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조

### 2.2 Zigbee 의 비콘 스케줄링

그림 2 에서 볼 수 있듯이 Zigbee 에서 비콘 스케줄링은 BO(Beacon Order)를 SO(Superframe Order)보다 크게 설정하여 멀티 홉 트리형 네트워크에서 각 노드의 활성화 구간이 서로 겹치지 않도록 설정함으로써 비콘이나 데이터 전송시 서로 충돌하는 구간이 없도록 하고 있다. 여기서 비콘 프레임의 전송 시간은 부모 노드나 이웃 노드의 비콘을 받은 시간에 일정한 time offset 값을 더함으로써 결정된다. 이러한 구조에서 멀티 홉으로 데이터를 보내는 경우 한 노드는 먼저 자기 자신의 활성화구간에서 깨어있어야 하고 또한 부모의 비콘 추적을 위하여 부모의 활성화구간에서도 깨어있어야 한다. 따라서 이것은 전력 소모의 원인이 된다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 IEEE 802.15.4b 에서는 그림 3 과 같은 비콘 스케줄링 방법을 제시하고 있다. 슈퍼 프레임 내에 비콘 전송만을 위한 구간(BOP, Beacon-only Period)을 두는 방법을 통해 모든 계층의 노드가 코디네이터와 동일한 비콘 전송 구간을 가지는 구조이다. 여기서 하위 노드는 스캔을 통해 상위 노드가 사용하지 않는 비콘 슬롯을 인지하여 이와 다른 비콘 슬롯을 사용하게 된다. 하지만 이 방법 역시 같은 계층의 노드 사이에 비콘 충돌문제가 발생하게 되는 문제가 있다.



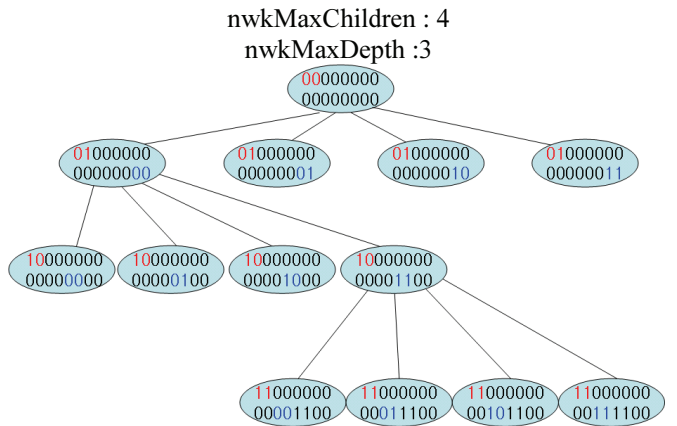
(그림 2) Zigbee 의 비콘 스케줄링



(그림 3) IEEE 802.15.4b 의 비콘 스케줄링

### 3. 제안하는 비콘 스케줄링 기법

IEEE 802.15.4 의 16bit short address 를 사용하여 트리 구조에 맞게 계층적으로 주소를 할당한다. 그림 4 는 이러한 주소 할당의 예를 보인 것이다. Zigbee 트리 구조에서 네트워크 특성 상수값을 정의하고 있는데, 그림의 예는 다음 값을 아래와 같이 가정한 경우이다.

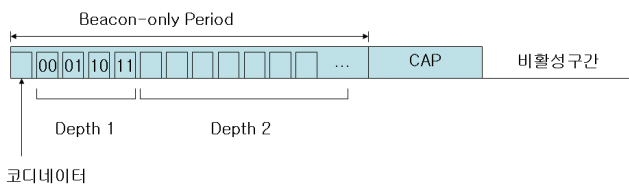


(그림 4) 계층적 주소 할당방식을 이용한 트리 구조

먼저 가장 상위의 노드는 코디네이터를 표시하고 있다.(depth 0) 그림의 주소에서 빨간색으로 표시한 상위 2 비트는 트리의 깊이(depth)를 나타내는데 쓰이게 되고, 실제 주소는 파란색으로 표시한 것처럼 depth 1 은 하위 2 비트를, depth 2 는 그 다음 2 비트를 사용하는 식으로 트리를 구성하면 부모-자식간의 계층적 구조가 되어 소스가 목적지의 주소만 알게 되면 누구의 부모, 자식인지를 구분할 수 있게 된다. 위에서 밝힌 구조는 한 예를 든 것으로 트리의 깊이(depth)를 나타내는 상위 비트의 범위를 다르게 하면 트리 구조의 확장이 가능하여 충분히 많은 노드의 계층적인 주소 할당이 가능해진다. 물론 하나의 노드가 가질 수 있는 자식의 수도 하위 비트의 수를 조정함으로써 변화시

킬 수 있다.

모든 노드가 코디네이터와 같은 BI(Beacon Interval) 과 SD(Superframe Duration)을 가진다고 가정할 때 이러한 계층적 주소 할당과 IEEE 802.15.4b 의 BOP(Beacon-only Period)를 바탕으로 다음의 그림 5 같이 비콘 스케줄링을 고려할 수 있다. 위에서 언급한 계층적 주소 할당 방식이 모든 노드에 적용된 상황이 기 때문에 소스 노드는 목적지 주소만 알면 상위 2 비트의 노드의 depth 를 비교하고, 하위 2 비트 그리고 그 다음 2 비트의 순차적 비교를 통해 자신이 어디에 속해 있고, 목적지 노드가 어디있는지, 또 어느 경로를 통해 가야하는지에 대해 계산할 수 있으므로 특정한 라우팅 프로토콜 없이도 목적 경로를 판단할 수 있게 된다. 또한 비콘 슬롯의 크기가 모두 동일하다는 가정 하에 아래의 그림 5 와 같은 비콘 스케줄링을 통하여 각 노드가 항상 정해진 시간에 비콘을 보내는 방법을 사용함으로써 상위 노드의 비콘을 추적하지 않고도 상대방이 깨어나는 시간에 같이 깨어 데이터 전송구간인 CAP 에 바로 참여할 수 있으므로 에너지 효율성을 높일 수 있다.

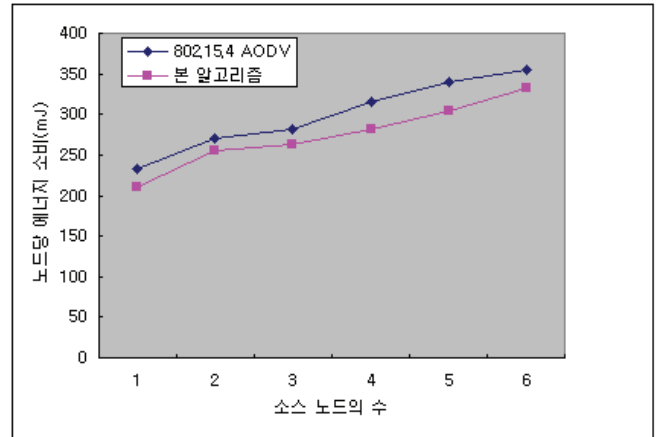


(그림 5) Beacon-only Period 구간의 TDMA 방식을 이용한 비콘 스케줄링

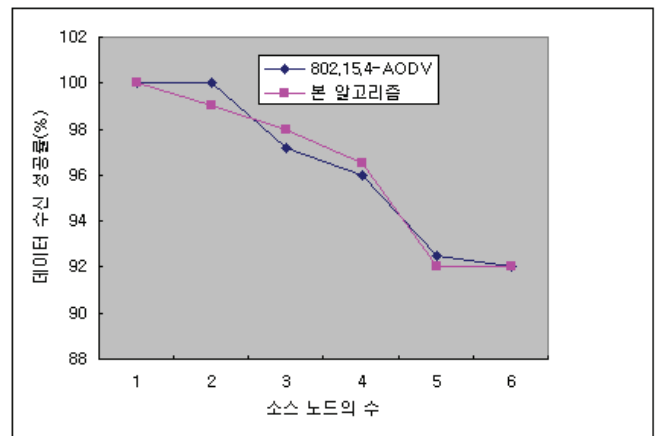
물론 완전한 트리(Full-tree)구조가 아닌 이상 Beacon-only period 중간에 사용하지 않는 구간이 발생할 수 있지만 이는 위에서 설명한 내용에 비추어 보면 충분히 감안할 수 있는 경우이다.

#### 4. 모의실험 및 분석

본 모의 실험을 통해 멀티 홉 상황에서의 본 알고리즘을 기존의 IEEE 802.15.4-AODV 의 경우와 비교하여 에너지 효율적 측면에 대해 비교한다. 본 분석에서는 네트워크 크기를 100 \* 100 으로 하고 패킷의 크기를 100Byte 로 잡아 초기 에너지를 무한대로 한 상황에서 두 알고리즘의 노드당 에너지 소비량을 비교하였다. 데이터를 보내려는 소스 노드의 수를 1 에서 6 까지 늘려가면서 노드당 에너지 소비를 비교한 결과가 그림 6 에 나타나 있다. 또한 둘 사이의 데이터 수신 성공률의 비교를 그림 7 에서 나타내고 있다.



(그림 6) 노드당 에너지 소비 비교



(그림 7) 데이터 수신 성공률의 비교

그래프에서 볼 수 있듯이, 트래픽을 발생시키는 소스 노드의 수를 늘려가면서 각 노드의 평균적인 에너지 소비량을 살펴본 결과, IEEE 802.15.4-AODV 에 비하여 제시한 알고리즘이 데이터 수신 성공률에 큰 차이가 없으면서도 에너지 효율은 더 높다는 것을 확인할 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 네트워크 기반에서 트리의 최대 깊이, 최대 자식의 수를 가정했을 경우 계층적 주소 할당 방식을 사용하여 비콘 스케줄링을 하였을 때 상대 노드의 비콘 추적 없이 상대의 활성 구간을 알 수 있어 데이터 전송시 경쟁구간(CAP)에 바로 참여할 수 있는 기법에 대해 소개하고, 실제로 모의 실험을 통하여 에너지 효율이 높아진다는 것에 대해 확인할 수 있었다. 앞으로 본 알고리즘에 대한 연구와 ns-2 를 이용한 더 많은 시뮬레이션을 통해 실험 결과를 확장할 계획에 있다.

#### 참고문헌

[1] Zigbee Alliance, "Zigbee Specification," 2005 <http://www.zigbee.org>  
 [2] IEEE-TG15.4, "Part 15.4: Wireless Medium Access

Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS),” *IEEE standard for Information Technology*, 2003

- [3] LAN/MAN Standards Committee for IEEE Computer Society, Draft Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPAN), P802.15.4REVb/D1, January-2005.
- [4] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A Survey on Sensor Networks.”, *IEEE Communication Magazine*, August 2002.
- [5] Beacon Scheduling Method for Communication System: Internal Report 10-2004-0020032, Samsung Advanced Institute of Technology, March 2004.