

## 지그비 네트워크에서의 전송 시간 할당 방법

최효현\*

### An Transmission Time Allocation Scheme in ZigBee Network

Hyo Hyun Choi \*

#### 요약

지그비 네트워크는 비콘 전송 방식을 사용하는 경우 지그비 기기들은 코디네이터의 전송 범위 제약을 받고, 비콘 전송 방식을 사용하지 않는 경우는 지그비 기기들이 특정 시간에만 동작하고 나머지는 sleep 모드로 전환하는 에너지 절약 방법을 적용하기 쉽지 않다. 본 논문에서는 비콘 전송 방식을 사용하지 않고 특정 전송 시간을 지정해주는 활성화 슬롯 할당 방법을 제안한다. 지그비의 분산 주소 할당 기법을 기반으로 하며 코디네이터의 전송범위 제약을 받지 않아 확장성을 지원해준다. 본 논문에서는 활성화 슬롯의 구조와 활성화 슬롯을 할당해주는 순서에 대해 설명하고 이를 지그비 기기들의 동작 방식에 대해 기술한다. 모의실험을 통하여 제안한 방식을 검증하고 성능 평가를 보인다. 제안 방안은 산업 자동화와 환경 감시 등의 큰 규모의 네트워크에 유용하게 활용될 수 있다.

▶ 키워드 : 지그비, 슬롯 할당, 분산주소할당, 에너지 절약, 확장성

#### Abstract

When ZigBee network supports beacon transmission mechanism, ZigBee devices have the restriction of the transmission range from the coordinator. On the contrary, when it does not support beacon transmission, it is not easy to save the energy through turning into sleep mode. This paper proposes active slot allocation method that allocates a transmission time and does not use the beacon transmission mechanism. It is based on the ZigBee's distributed address assignment mechanism and supports the scalability. This paper explains the active slot structure and the allocation order and describes the operation of ZigBee devices. We verify the proposed mechanism through the simulation and show the performance evaluation. It can be useful on the industrial automation and the environmental surveillance.

▶ Keyword : ZigBee, Slot Allocation, Distributed Address Assignment, Energy Saving, Scalability

---

• 제1저자 : 최효현    교신저자 : 최효현

• 투고일 : 2011-01-05, 심사일 : 2011-01-19, 게재확정일 : 2011-01-23

\* 인하공업전문대학 컴퓨터정보과 (Dept. of Computer Science, Inha Technical College)

※ 이 논문은 2009학년도 인하공업전문대학 교내연구비지원에 의하여 연구되었음.

## 1. 서론

지그비(ZigBee) [1] 네트워크는 저전력과 저비용을 목표로 하는 근거리 무선 통신 기술 중의 하나로서 지그비 연합(ZigBee Alliance)에 의해 제정되었다. IEEE 802.15.4 [2] 표준의 물리 계층과 MAC (Medium Access Control) 계층과 그 상위 계층으로 네트워크, 응용지원과 응용 계층으로 구성된다. 2.4GHz 대역에서 16개의 채널, 915MHz 대역에서 10개의 채널과 868MHz 대역에서 1개의 채널을 사용하도록 되어 있는데, 나라별로 선택해서 사용하는 대역이 다르나, 2.4GHz 대역은 전 세계적으로 사용한다. 지그비 네트워크는 홈 네트워크, 빌딩 자동화, 산업 자동화, 물류 자동화, 환경 감시, 동물 관리 등의 광범위하게 적용될 수 있으며, 현재 홈 네트워크와 물류 자동화 등에 실질적인 적용이 활발해지고 있다.

지그비 네트워크는 일반적으로 하나의 코디네이터(Coordinator) 다수의 지그비 기기들로 구성된다. 지그비 기기들은 다시 라우팅 기능이 있는 지그비 라우터와 라우팅 기능이 없는 지그비 엔드 디바이스로 구분할 수 있다. MAC 방식은 Non-Slotted CSMA(Carrier Sense Multiple Access)와 Slotted CSMA 기반의 통신으로 구분된다. Slotted CSMA는 지그비 기기들간의 동기를 맞추고 에너지를 절약할 수 있는 Sleep 모드를 지원한다.

Slotted CSMA에서는 네트워크 코디네이터가 예정된 간격으로 슈퍼프레임 비콘을 송신한다. 비콘 프레임 간격은 최소 15ms 에서 최대 245 초가 되며 첫 번째 비콘을 포함하여 다음 비콘 수신 직전의 시간까지로 하나의 BI(Beacon Interval)를 구성한다. 이는 활성화 구간(Active Period)와 비활성화 구간(Inactive Period)로 나뉘며, 활성화 구간은 CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention free period)로 다시 세분화 된다. CAP는 네트워크기기가 CSMA-CA 기반의 경쟁을 하는 구간이며 대부분의 네트워크 기기간의 통신은 이 부분에서 일어난다. CFP는 경쟁 없이 다른 기기에 접근이 가능하다. 그러나, 이러한 비콘에 의존한 방식은 전체 네트워크의 정확한 동기화가 필요하며 기기 수가 많아졌을 때 복잡도가 증가하여 확장성에 문제가 생길 소지가 있다.

본 논문에서는 확장성을 지원하고 전송 시간을 할당해주어 기기들의 수명을 연장시킬 수 있는 방법에 대해서 연구한다. 이를 위해 비콘 전송에 의존하지 않으며 전송 시간을 각 지그비 기기에 할당해 줄 수 있는 방법을 제안한다. 지그비의 주

소 할당 기법인 분산주소 할당 기법 (DAAM, Distributed Address Assignment Mechanism)을 이용하여 주소가 할당될 때, 전송 시간을 할당해 주어 이 전송 시간 이외의 시간은 sleep 모드로 전환하여 에너지를 절약한다. 또한, 비콘 전송 방식을 사용하지 않기에, 코디네이터의 전송 범위에 제한을 받지 않는 확장성을 지원한다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련 연구에 대해서 서술하며, 3장에서는 지그비 네트워크의 분산주소 할당 기법을 소개한다. 4장에서는 제안 방법에 대해 설명하고 5장에서는 성능 평가 결과를 보인다. 끝으로 6장에서 결론과 향후 연구 방향에 대해 서술한다.

## II. 관련 연구

기존의 지그비 네트워크에서의 Slotted CSMA 방식을 통하여 각 노드에게 전송할 시간을 할당해 줄 수 있다. 그러나 이러한 방식은 확장성에서 문제를 가진다. 코디네이터는 비콘을 전송함으로써 전송 시간을 다른 노드들에게 알린다. 그림 1에서와 같이 코디네이터의 전송 범위가 한정적이므로 전체 노드들에게 이러한 시간을 알릴 수 없는 문제를 가진다. 이를 위해 각 기기들이 자식 노드들을 위해 각각 비콘을 전송한다면 비콘과 슈퍼프레임이 충돌하는 심각한 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하고자 IEEE 802.15.4b [3] 표준에서는 부모 기기의 비활성화 구간에 자식 기기의 비콘을 전송하는 방법을 채택하였다. 이 방식은 상위 기기가 하위 기기에 데이터를 전송할 때는 슈퍼프레임 시간 안에 전송이 가능하지만 하위 기기가 코디네이터와 같은 상위 기기에 데이터를 전송할 때에는 전송 지연의 문제를 발생시킨다. n개의 홉(hop) 위에 있는 기기에게 데이터를 전송할 때는 (n-1)개의 슈퍼프레임 만큼의 시간의 지연이 발생한다.

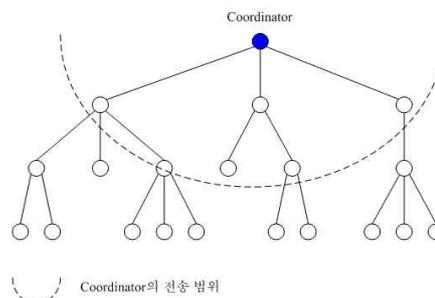


그림 1. 지그비 네트워크 구조의 예  
Figure 1. An Example of ZigBee Network Structure

WiBEEEM[4] 방식은 모든 지그비 기기들이 비콘을 송신하는 구간을 정의하고 이를 제어해 줄으로써, 비콘의 충돌과 전송 시간 지연의 문제를 해결하였다. 그러나 이러한 비콘에 의존한 방식은 전체 네트워크의 정확한 동기화가 필요하며 기기 수가 많아졌을 때 복잡도가 증가하여 확장성에 문제가 생길 소지가 있다.

지그비 네트워크에서는 시간 동기화가 중요하다. 에너지를 절약하기 위해서 전송하는 기기와 수신하는 기기가 같은 시간에 sleep 모드에서 전환하기 위함이다. 이에 대한 연구들 [5-7]이 진행되었으나, 효율적인 전송 시간 할당 방법에 자체에 대한 연구가 아닌 동기화 자체에 대한 연구들이다. 본 연구에서 활용하는 지그비의 분산 주소 할당 기법에 관한 연구들 [8-9]도 수행되었다. 이 연구들은 주소 할당 기법의 효율성을 높이기 위해 주소 할당 방법을 수정 제안하는 연구들이다. 본 연구에서는 주소 할당 기법을 전송 시간 할당에 이용한다. 전송 시간 할당 [10]에 대한 연구도 있었으나, 이 연구에서는 전송 시간 할당을 위해 비콘 전송 시간을 조절하고 멀티 홉 등의 확장성을 고려하지는 않았다.

본 논문에서는 지그비(ZigBee) 네트워크의 장시간 운용을 위해 데이터를 송수신하는 지그비 기기들 간에 데이터를 전송하는 시간을 지정해주는 전송 시간 할당 방법에 대해 연구한다. 전송 시간 할당을 위해서 지그비의 분산 주소 할당 기법을 이용한다. 이 방법을 통하여 지그비 네트워크의 멀티 홉을 지원하여 네트워크 확장성을 지원한다.

비콘 전송 방식을 사용하지 않으므로써 많은 지그비 기기들이 네트워크를 형성할 때에도 복잡도를 증가시키지 않으며 전송 시간을 각 기기들에게 할당해주어 에너지 소비를 절감시켜 배터리 기반으로 동작하는 기기들의 동작 수명을 최대한 연장시키는데 본 연구의 의의가 있다. 본 연구에서의 제안하는 전송 시간 할당 방식은 산업 자동화, 환경 감시와 대형 건축물 관리 등의 큰 규모의 네트워크에 지그비 네트워크를 설치하는데 유용하게 활용될 수 있다.

### III. 분산 주소 할당 기법

전송 시간 할당을 위하여 지그비 네트워크의 분산 주소 할당 기법을 활용한다. 지그비 기기가 새롭게 지그비 네트워크에 참여할 때 이 노드의 부모노드가 정해진 식에 따라 16 비트 주소를 부여한다. 지그비 표준에서는 이를 위해 다음과 같은 Cskip 식을 정의하였다.

$$Cskip(d) =$$

$$(1+Cm-Rm-Cm*Rm(Lm-d-1))/(1-Rm) \dots\dots\dots (1)$$

- Cm: 최대자식의 개수
- Lm: 네트워크 Tree 의 최대 깊이
- Rm: 자식으로 가질 수 있는 최대 ZigBee 라우터 개수
- d: 현재 노드의 깊이,
- Cskip(d): 깊이 d 노드가 가질 수 있는 주소의 부분 블록크기

식(1)을 활용하여 Cskip(d)를 계산하여 주소 할당에 사용한다. 코디네이터의 주소는 0으로 할당한다. 지그비 라우터들이 새로이 네트워크에 조인하는 경우에 주소를 할당해주는 노드는 부모가 되고, 주소를 할당 받는 라우터는 자식의 관계가 되며, 첫 번째 자식은 부모 주소에 1을 더하여 할당하여 주고, 두 번째 이상의 자식은 바로 전 할당하여 준 주소에 Cskip(d)만큼의 더하여 할당하여 준다. 이러한 결과의 예를 그림 2에 보인다. 자식을 가질 수 없는 지그비 엔드 디바이스 까지 고려한 경우는 식(2)와 같이 지정하여 준다. 자식 중에 일부분만이 지그비 라우터가 되는 경우로써  $Cm - Rm \geq 0$  인 경우에 적용된다.

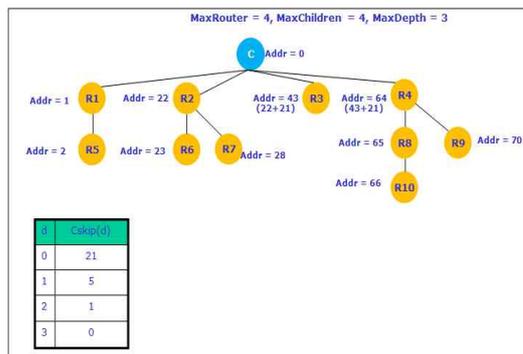


그림 2. Cskip을 활용한 분산 주소 할당의 예  
Figure 2. An Example of Distributed Address Assignment using Cskip

$$An = Aparent + Cskip(d) * Rm + n$$

$$( 1 \leq n \leq (Cm - Rm) ) \dots\dots\dots (2)$$

- n : n번째 지그비 엔드 디바이스  
(각 부모 입장에서의 순서)

본 연구에서 제안하는 방식에서는 이렇게 주소를 할당해주는 시간에 전송 시간도 할당해 준다. 기기들이 활성화 되는 시간을 활성화 슬롯 (Active Slot)이라고 정의하고 활성화

슬롯을 주소를 할당해 줄때 동시에 각 기기에 할당해주며, 이를 할당해준 부모 노드는 할당해준 슬롯 시각을 기억하여 자식 노드가 활성화되는 시간에 동시에 활성화 된다. 예를 들자면, 주소 순서대로 활성화 슬롯을 할당해 줄 때, 그림 2에서와 같은 때는 코디네이터는 1, 22, 43과 64 번째 활성화 슬롯 시간에 자식 노드들과 송수신을 위하여 활성화 되며, R1 지그비 기기는 1번째 활성화 슬롯 시간, R2 지그비 기기는 22번째 활성화 슬롯 시간, R3 지그비 기기는 43번째 활성화 슬롯 시간, R4 지그비 기기는 64번째 활성화 시간에 코디네이터와의 통신을 위하여 활성화 된다. 하위 노드들도 이와 같은 방식으로 활성화 된다.

### IV. 제안 기법

지그비 네트워크에서는 코디네이터가 작동을 시작하면서 주소를 0으로 설정하고, 새로이 조인하는 노드가 네트워크에 조인하는 경우 이를 Cskip을 이용하여 주소를 할당한다. 이렇게 네트워크에 조인되어 있는 지그비 라우터에 다른 지그비 기기가 조인을 원하는 경우 위의 방법이 반복된다. 제안하는 기법은 주소를 할당하는 동시에 활성화 슬롯의 순서 또한 할당하여 준다. 활성화 슬롯의 순서 번호는 1부터 식 3과 같이 최대 할당 할 수 있는 숫자, Sm이 있으며, 활성화 슬롯의 순서는 주소의 순서와 같다고 가정하고, 할당 순서에 대해서는 뒤에서 더 자세히 설명한다.

$$S_m = (L_m - 2) + \sum_{i=0}^{L_m-2} C_{skip}(i) * (R_m - 1) \dots\dots\dots (3) + C_{skip}(L_m - 2) + (C_m - R_m)$$

설명을 위하여 그림 3과 같은 위상을 가정한다. Cm = 3, Rm = 3, Lm = 2로 하였고, 가능한 모든 지그비 기기가 조인을 요청한다. 활성화 슬롯이 할당된 예를 그림 4에 보인다. 초기화 시간에는 각 지그비 기기가 조인을 요청하고 이에 따라 주소를 할당받는 동시에 활성화 슬롯도 할당받는다. 초기화 시간이 지난 후엔 sleep 모드에 들어가 있다가, 자식 노드가 할당받은 활성화 슬롯 시간과 부모 노드가 같은 시간에 깨어나서 서로 필요한 전송을 한다. 즉, 부모 노드는 할당해준 활성화 슬롯 순서에 대한 정보도 저장해두어야 한다. 그림 4에서의 예를 보면 주소 1을 가진 지그비 기기가 1번째 활성화 슬롯을, 주소 5를 가진 지그비 기기가 5번째 활성화 슬롯을, 주소 9를 가진 지그비 기기가 9번째 활성화 슬롯을 할당받는

다. 할당 받은 활성화 슬롯 시간에 이 기기들이 깨어나는 동시에 0번 지그비 기기인 코디네이터도 깨어난다. 다른 지그비 기기들도 부모 자식 간에 같은 활성화 슬롯 시간에 깨어나어 필요한 전송을 하게 된다. 그 이후에 비활성화 시간을 거쳐 다시 활성화 슬롯 시간에 깨어나는 것을 반복한다.

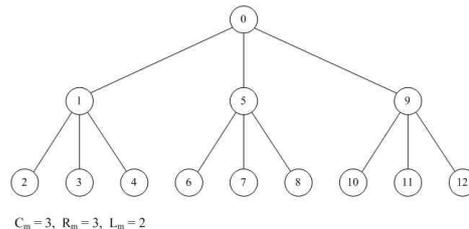


그림 3. 가정한 지그비 네트워크 위상 (Cm=3, Rm=3, Lm=2)  
Figure 3. An Assumed ZigBee Network Topology(Cm=3, Rm=3, Lm=2)

활성화 슬롯은 그림 5와 같은 구조를 가진다. 시간 동기화 구간은 두 개의 지그비 기기가 서로의 시간을 재동기화시켜 다음에 깨어나는 시간과 전송하는 시간을 정확하게 만드는 구간이다. 본 논문에서는 기기간에 시간 동기화가 잘 동작한다고 가정하므로 이 구간은 없는 것으로 가정한다. 전송 구간은 두 구간으로 나뉜다. 부모 기기와 자식 기기가 동시에 깨어나므로, 두 기기 중 어느 기기에 전송할 패킷이 있는지 알 수 없으므로 부모 기기에서 자식 노드로 전송하는 구간과 자식 기기에서 부모 기기로 전송하는 구간을 나누도록 한다. 본 논문에서는 각각의 구간을 하나의 패킷을 전송할 수 있는 시간으로 가정한다. 전송할 패킷이 큐에 많은 경우는 하나의 패킷을 전송하고 다음의 패킷은 다음 활성화 시간에 전송하도록 한다. 이로 인해 전송 지연 시간이 발생할 수 있다. 이러한 점은 목표로 하는 시스템에 따라 비활성화 구간을 지정해주어 전송 지연 시간을 조절해야 한다. 즉, 전송 지연 시간이 짧아야하고 패킷이 많이 생성되는 시스템은 에너지 효율성이 떨어지더라도 비활성화 구간을 짧게 해주어야 하고, 그 반대의 경우는 비활성화 구간을 길게 해주어야 한다.

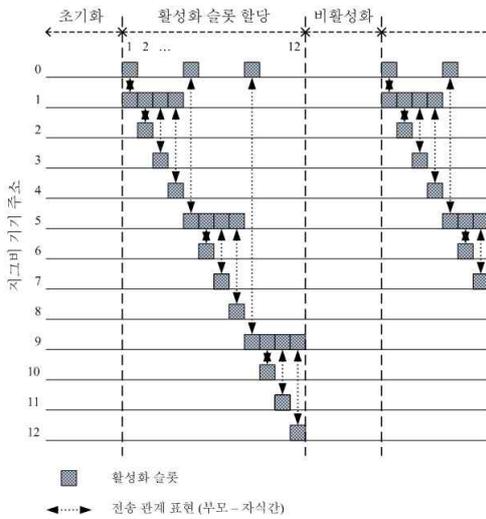


그림 4. 할당된 슬롯의 예  
Figure 4. An example of Allocated Slot

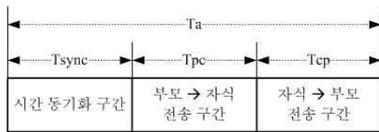


그림 5. 활성화 슬롯 구조  
Figure 5. Active time slot structure

부모 기기와 자식 기기간에 패킷이 전송할 패킷이 없을 경우도 있다. 이러한 경우는 전송할 쪽의 기기는 다음 구간까지 sleep 모드로 전환하여 에너지를 절약할 수 있으나, 이러한 경우는 패킷의 수신을 기다리는 기기 쪽에서는 계속 대기상태로 가는 경우가 발생 할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 두 전송 구간을 다시 전송을 요청을 하는 구간과 실제 전송을 하는 구간으로 나눌 수 있다. 본 논문의 성능 평가에서는 그림 5와 같이 요청을 하는 구간을 따로 두지 않는다.

앞서 설명한 바와 같이, 새로운 지그비 기기가 부모 기기에 네트워크에 조인을 요청하는 경우에 주소 할당과 같이 활성화 슬롯 번호를 부여 받는다. 이 경우에 지그비 기기는 초기화 종료 시간도 같이 자식 기기에게 알려주어 첫 활성화 시간을 계산할 수 있도록 해준다. 초기화 종료 시간은 코디네이터가 처음에 설정하여 자식 기기들에게 알려주며, 부모가 되는 기기들이 자식 기기들에게 알려주어 전파되도록 한다. 자식 기기는 전송 받은 정보를 이용하여 (초기화 종료 시간( $I_t$ ) - 현재 시간( $t$ )) + (활성화 슬롯 번호( $N_a$ ) - 1) \* 활성화 슬롯 시간( $T_a$ ) 시간 후에 깨어나도록 타이머를 설정하고 sleep 모드로 전환한다. 타이머에 의해서 깨어나고 필요한 패킷 전송을 마친 후에는 주기적으로 깨어나도록 타이머를 설정하고 sleep 모드로 전환한다. 주기적인 시간은 활성화 슬롯 전체 번호 ( $S_m$ ) \* 활성화 슬롯 시간( $T_a$ ) + 비활성화시간( $T_s$ )으로 계산한다. 이를 다음 식 4로 표현하였다. 자식 기기가 부모 기기로 받아야 하는 것은 주소와 활성화 슬롯 번호이고,  $C_m$ ,  $R_m$ ,  $L_m$ ,  $T_a$ ,  $T_s$ 와  $I_t$ 와 같은 시스템 파라미터는 코디네이터로부터 전파될 수도 있고, 모든 기기에 시스템 구축시에 부여해줄 수도 있다. 본 논문에서는 미리 부여해주는 것을 가정한다.

송을 마친 후에는 주기적으로 깨어나도록 타이머를 설정하고 sleep 모드로 전환한다. 주기적인 시간은 활성화 슬롯 전체 번호 ( $S_m$ ) \* 활성화 슬롯 시간( $T_a$ ) + 비활성화시간( $T_s$ )으로 계산한다. 이를 다음 식 4로 표현하였다. 자식 기기가 부모 기기로 받아야 하는 것은 주소와 활성화 슬롯 번호이고,  $C_m$ ,  $R_m$ ,  $L_m$ ,  $T_a$ ,  $T_s$ 와  $I_t$ 와 같은 시스템 파라미터는 코디네이터로부터 전파될 수도 있고, 모든 기기에 시스템 구축시에 부여해줄 수도 있다. 본 논문에서는 미리 부여해주는 것을 가정한다.

$$T = I_t - t + (N_a - 1) * T_a \quad \text{: 최초 sleep 시간} \dots\dots\dots (4)$$

$S_m * T_a + T_s$  : 주기적 sleep 시간

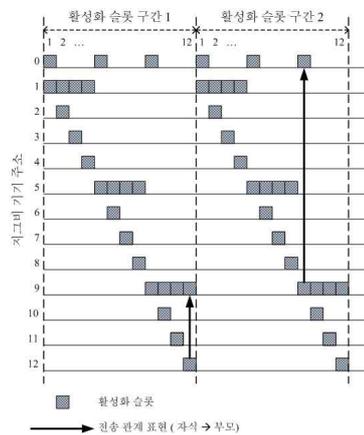


그림 6. 패킷이 전송되는 순서  
Figure 6. An order of packet transmission

지금까지 활성화 슬롯 번호는 주소와 같다고 가정하였다. 활성화 슬롯 번호를 할당해 주는 방식에 따라 패킷의 전송 지연 시간에 영향을 줄 수 있다. 간단한 예를 그림 6에 보인다. 설명의 편의를 위해 초기화 시간과 비활성화 시간은 생략하였다. 주소 0을 가진 코디네이터에서 기기들에게 패킷을 전송하는 경우에는, 그림 6과 같이 활성화 슬롯 번호와 주소가 같은 경우가 적당할 수 있다. 즉 하나의 코디네이터에서 전송한 패킷이 각 지그비 기기를 거치면서 모든 기기에 하나의 활성화 슬롯 구간 내에 전송이 가능하다. 반면, 각 지그비 기기들이 코디네이터로 데이터를 전송하려는 경우는, 그림 6에서와 같이 12번 지그비 기기가 코디네이터로 패킷을 전송하려는 경우 최소 두 번의 활성화 슬롯 구간을 거쳐야 가능하다. 즉, 패킷 전송 지연 시간의 증가를 초래한다. 각 지그비 기기들의 정보를 수집하려는 네트워크 시스템의 경우에는 활성화 슬롯

의 할당 순서가 주소와 반대로 할당되어야 적당할 수 있다. 예를 들면, 활성화 슬롯 번호( $N_a$ ) = 최대 활성화 슬롯 번호 ( $S_m$ ) - 할당된 주소 + 1와 같이 할당할 수 있다. 본 논문에서는 활성화 슬롯 번호 할당 방식을 오름차순과 내림차순의 두 가지 방식을 가정하였으나, 시스템 엔지니어의 결정에 따라 보다 다양한 방식을 설정할 수 있다. 예를 들면, 시스템이 코디네이터에서 패킷을 전송하고 수집하는 두 가지 목표가 있는 경우는 최대 활성화 슬롯 번호 내의 랜덤한 번호 할당을 설정할 수 있다.

앞서 언급한 시간 동기화 구간은 매 활성화 슬롯 구간마다 시간 동기화 프로토콜 사용하여 각 기기간의 시간을 동기화시킬 수 있으나, 시스템의 효율성을 위해서는 몇 번 ( $N_{sync}$ )의 활성화 구간마다 시간 동기화 프로토콜을 동작시킬 수도 있다. 또한, 본 논문에서와 같이 시간 동기화 구간을 사용하지 않을 경우는 전송에 실패한 지그비 기기는 sleep 모드로 전환하지 않고 계속 전송을 시도하여 전송을 성공한 시점에서 활성화 슬롯 시간에 맞추어 시간을 동기화시킨 후에 sleep 모드로 전환하는 방식을 사용할 수 있다.

초기화 시간 이후에 네트워크에 조인하려는 지그비 기기가 있거나, 오류로 인해 패킷 전송이 실패하였으나 빠르게 재전송하려는 기기를 위하여 활성화 슬롯 구간에 몇 개 ( $N_{com}$ )의 공용 활성화 슬롯을 할당하여 모든 기기들이 동시에 깨어나도록 할 수도 있다. 즉,  $S_m + N_{com}$  만큼의 활성화 슬롯을 할당하고  $S_m$  활성화 슬롯 시간 이후에  $N_{com}$ 의 활성화 슬롯 시간만큼 모든 지그비 기기들이 깨어나도록 한다. 이 또한, 시스템의 효율성을 위하여 몇 번의 활성화 구간마다만 사용할 수 있다.

### V. 성능 평가

제한한 기법의 동작의 정확성과 성능 평가를 위하여 모의 실험을 수행하였다. 초기화 시간 이후에는 새로운 기기들의 조인 요청이 없고 시간 동기화는 항상 잘 유지되고 여러 기기들이 오류 없이 잘 전송한다고 가정하였다. C 언어를 이용하여 시뮬레이터를 event-driven 방식으로 구현하였다. 표 1에서 모의실험 파라미터를 보였다. 13개의 지그비 기기를 사용하였으며  $C_m = 3, R_m = 3, L_m = 2$ 를 사용하였다. 각 기기들은 마지막 깊이에 있는 기기를 제외하고는 가능한 모든 자식을 다 가지도록 하였다. 모의실험의 편의상, 위상은 미리 지정하고 부모 자식 간의 관계를 지정하였다. 따라서 초기화 시간은 모의실험에서 필요하지 않는다,

코디네이터에서 모든 지그비 기기로 패킷을 전송하는 경우

와 지그비 기기들이 코디네이터로 전송하는 경우를 실험하였으며 각각에 대해서 활성화 슬롯 할당 방식을 오름차순과 내림차순의 경우를 실험하였다. 코디네이터에서 지그비 기기로 패킷을 전송하는 경우는 생성된 패킷이 모든 자식 기기에 복사되어 전송된 후 큐에서 삭제하도록 하였다. 지그비 기기에서 코디네이터로 전송하는 경우는 복사하는 경우 없이 생성된 패킷이 전송되도록 하였다. 지그비 기기에서 코디네이터로 전송하는 경우는 가장 깊이가 깊은 기기들(leaf 기기)만 패킷을 발생시키며 라우터 역할을 하는 기기들은 패킷을 발생시키지 않는다. 패킷은 100 byte가 생성되도록 하였으며 트래픽 타입은 CBR(Constant Bit Rate)과 Poisson 분포의 두 가지를 사용하였다.

표 1. 모의실험 파라미터  
Table 1. Simulation Parameter

모의실험 파라미터	값
최대 자식 기기 개수 ( $C_m$ )	3
최대 지그비 라우터 개수 ( $R_m$ )	3
최대 네트워크 깊이 ( $L_m$ )	2
비활성화 시간 ( $T_s$ )	0.76 sec
활성화 슬롯 시간 ( $T_a$ )	0.02 sec
활성화 슬롯 할당 방식	오름차순, 내림차순
패킷 크기	100 bytes
트래픽 source type	CBR, Poisson
CBR interval	4.0 sec
Poisson $\lambda$	0.25 / sec
모의실험 시간	100000 sec

표 2. CBR 트래픽 생성인 경우의 결과값  
Table 2. Result in the case of CBR traffic generation

경우	평균 전송 지연 시간	평균큐 크기	최대큐 크기
코디네이터->기기, 오름차순할당	0.125	1.000	1
코디네이터->기기, 내림차순할당	1.552	1.000	1
기기->코디네이터, 오름차순할당	1.975	1.462	3
기기->코디네이터, 오름차순할당	1.055	1.462	3

표 3. Poisson 트래픽 생성인 경우의 결과값  
Table 3. Result in the case of Poisson traffic generation

경우	평균 전송 지연 시간	평균 큐 크기	최대 큐 크기
코디네이터->기기, 오름차순할당	0.294	1.308	5
코디네이터->기기, 내림차순할당	1.723	1.308	5
기기->코디네이터, 오름차순할당	2.447	7.462	18
기기->코디네이터, 오름차순할당	1.531	7.538	19

표 2에서는 CBR 트래픽 생성인 경우의 평균 전송 지연 시간, 평균 큐 크기와 최대 평균 큐 크기를 보인다. 코디네이터에서 기기들로 패킷을 전송하는 경우는 활성화 슬롯을 오름차순으로, 기기들에서 코디네이터로 패킷을 전송하는 경우는 활성화 슬롯을 내림차순으로 할당하는 것이 더 나은 결과임을 알 수 있다. 기기들에서 코디네이터로 전송하는 경우는 지그비 라우터 기기에 leaf 기기에서 생성된 패킷이 큐잉되기에 패킷 큐가 증가하고 이에 따라, 평균 전송 지연시간도 증가된다. 이러한 결과를 통하여 제안 방안의 동작 방식을 검증할 수 있었다. 이러한 CBR 트래픽 생성을 통하여 최소 전송 지연시간과 큐 크기 또한 확인할 수 있었다.

표 3에서는 poisson 트래픽 생성의 경우의 결과를 보인다. 오름차순 할당이 유리한 경우와 내림차순 할당이 유리한 경우가 같음을 확인할 수 있다. 순간적으로 많은 패킷이 생성될 수 있기에 큐의 크기가 CBR 트래픽 생성의 경우보다 증가된다. 이에 따라 전송 지연 시간도 증가된다. 최대 큐 크기는 모의실험을 반복할수록 더 큰 크기도 가능하다. 여기서의 결과는 보통의 경우를 보였다.

그림 7에서는 poisson 트래픽 생성률 변화에 따른 평균 전송 지연 시간과 평균 큐 크기를 보인다. 생성률 증가에 따른 평균 전송 지연시간과 큐 크기가 증가하는 당연한 결과를 볼 수 있다. 여기서 살펴 볼 점은 비활성화 시간 (Ts)와 같은 시스템 파라미터를 결정할 때 예측 되는 패킷 생성률을 참조해야 한다는 점이다. 즉, 평균 전송 지연 시간의 감소를 위해서는 Ts를 감소시켜야 한다. 그림에서의 예를 보면, 요구되는 평균 전송 지연 시간이 1초라면 생성률이 0.2까지는 괜찮지만, 0.25인 경우는 Ts를 감소시켜야 한다. 물론 Ts의 감소는 지그비 기기가 깨어 있는 시간의 증가를 초래하며 에너지 감소의 요구를 충족시킬 수 없다. 이러한 시스템 특성을 파악하여 시스템 파라미터 결정 및 시스템의 올바른 동작 유무를

미리 파악할 수 있다.

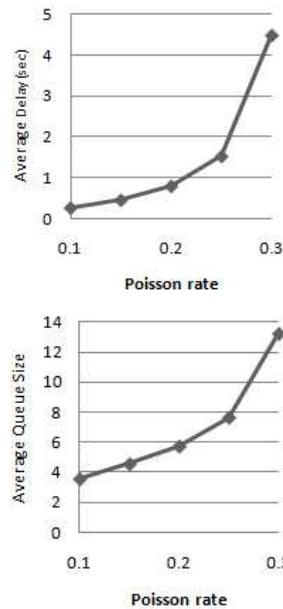


그림 7. Poisson 전송률에 의한 결과  
Figure 7. A Result in terms of Poisson rate

## VI. 결론

본 논문에서는 분산주소 할당 기법을 이용한 활성화 슬롯 할당 방법에 대해 제안하였다. 할당된 시간 이외에는 sleep 모드로 전환하여 지그비(ZigBee) 네트워크의 장시간 운용을 가능하게 하며, 비콘 전송 방식을 사용하지 않기에 코디네이터의 전송 범위 제약을 받지 않아 확장성을 지원한다. 제안 방안에 대하여 활성화 슬롯의 구조와 활성화 슬롯을 할당해주는 순서에 대해 설명하고 이를 지그비 기기들의 동작 방식에 대해 기술하였다. 모의실험을 통하여 제안한 방식을 검증하고 성능 평가를 보였다.

향후 보다 랜덤한 환경에서의 성능 평가를 수행할 것이고, 현재는 하나의 시점에 하나의 활성화 슬롯만을 사용하는데, 더 빠른 전송을 위하여 여러 개의 활성화 슬롯을 동시에 사용하기 위해서 다중 채널까지 할당해주는 연구를 진행할 계획이다.

## 참고문헌

[1] ZigBee Alliance, ZigBee Specification Version 1.0, <http://www.zigbee.org>

- [2] IEEE 802.15.4, Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), Standard, IEEE, Sep. 2006.
- [3] IEEE 802.15 WPAN Task Group 4b (TG4b), <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4b.html>, Sep. 2004.
- [4] Ho-in Jeon, "WIBEEF: An Optimized USN Architecture for U-City Service Development," Information and Communication Magazine (in Korean), Vol. 23, No. 12, pp. 17 - 36, 2006.
- [5] Jimn-Kwei Guo, Chung-Jou Tsai, Chun-Lin Lu and Chung-Fan Liu, "Device Synchronization for the Light Control in ZigBee Networks," CASoN(Computational Aspects of Social Networks), pp. 171-174, 2010.
- [6] Hyuntae Cho, Sanghyun Son and Yunju Baek, "Design and Implementation of Precision Time Synchronization in Wireless Networks Using ZigBee," Journal of Korea Information and Communication Society (Wireless Communication) (in Korean), Vol. 33, No. 5, pp. 561 - 570, 2008. 5
- [7] Ping Song, Kejie Li, Xiaodong Shan and Guangping Qi, "Multi-hop based highly precise time synchronization Protocol for ZigBee networks," Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, pp. 1197 - 1201, 2009
- [8] Hyeong-Jong Ju, Doohyun Ko and Sunshin An, "Enhanced Distributed Address Assignment Scheme for ZigBee-Based Wireless Sensor Networks," INCOS(Intelligent Networking and Collaborative Systems), pp. 237 - 240, 2009.
- [9] Miaoqi Fang, Jian Wan and Xianghua Xu, "A Preemptive Distributed Address Assignment Mechanism for Wireless Sensor Networks," pp. 68-71, CCWMSN07 (Conference on Wireless, Mobile and Sensor Networks), 2007.
- [10] Jeong-Ah Kim, Yeong-Ho Jean and Hong-Seong Park, "Period Assignment and Optimal Scheduling for Zigbee-based sensor," International Joint Conference SICE-ICASE, pp. 1030-1035, 2006.

## 저 자 소개



### 최 효 현

1994: 서강대학교  
전자계산학과 공학사

1996: 서강대학교  
컴퓨터공학과 공학석사

2005: 서강대학교  
컴퓨터공학과 공학박사

2005 - 2009: 삼성전자 통신연구소  
책임연구원

2009 - 현재 : 인하공업전문대학  
컴퓨터정보과 조교수  
관심분야: RFID/USN, Mesh 네트워크,  
M2M, 소셜 네트워크

Email : hchoi@inhac.ac.kr