

## IEEE 802.15.4 WPAN 기술

전호인 (경원대학교 전기정보전자공학부)

### 1. 서론

유비쿼터스 네트워킹 환경은 사람 주변의 모든 기기가 하나의 네트워크로 연결되어 끊임없이 정보를 주고 받으며 통신을 가능하게 해 주는 전자공간과 실제 공간의 융합이다. 이와 같은 유비쿼터스 환경이 지원되면 우리가 살고 있는 세상은 평온하고 지능화된 느낌에 상황 인지 능력을 갖추게 되어 생산적이며 대응 능력을 지원받을 수 있는 안락한 상황이 된다. 이러한 유비쿼터스 환경의 제공을 위해서는 “항시 접속성(Always Connected)”와 “광대역성(Broadband)” 그리고 “모든 기기의 네트워킹화(Every Device in One Network)”의 세 가지 키워드를 가능하게 해 주는 핵심 기술 개발이 필수적이다.

항시 접속성을 지원하려면 무선 네트워킹 기술에 고속의 Hand-Off 기능과 로밍 기술, 그리고 멀티홉 클러스터 트리 네트워킹 기술이 핵심적으로 필요한 기술이 될 것이다. 광대역성을 위해서는 수 Tera bps급의 전송 속도를 지원하는 BcN 기술이 전송망에서 지원되어야 하지만 맥내에는 FTTH 기술이나

VDSL과 같은 가입자 망 기술이 지원되어야 한다. 끝으로 모든 기기의 네트워킹화 기능에는 IPv6가 가장 대표적인 기술이지만 고성능의 기기가 아니면 채택되기에 무리가 있으며 Low End 기기를 위해 센서 네트워크 기능이 탑재되어야 할 것으로 보인다.

이와 같은 유비쿼터스 센서 네트워크로 RFID 기술이 꾸준히 가능한 대안으로 소개되었지만, 중요한 상황이 발생한 경우 RFID Reader가 근처에 없더라도 발생한 상황을 전송하지 못하면 유비쿼터스 환경의 항시 접속성과 Context-Awareness 기능은 그 빛을 바랄 수 있는 것이다.

RFID의 이러한 단점을 극복하며 Event-Driven 환경에도 적용 가능한 유비쿼터스 환경 지원을 위한 가장 유력한 무선 네트워킹 기술로 기대되는 IEEE 802.15.4 기술은 20 Kbps, 40 Kbps, 250Kbps의 낮은 전송 속도와 매우 저렴한 가격, 매우 긴 배터리 수명, 간단한 구조 및 연결성을 제공하여 10m 이내의 작은 범위 내에서의 무선 연결을 요구하는 분야에 적합한 표준으로 개발되고 있다. 주요 적용 분야는 무선 센서를 응용하는

홈 오토메이션이나 응급 상황 감지 시스템, 자동차 타이어 상태 감지 시스템, 헬스케어 센서 및 모니터링, 대화형 장난감, 보안, 창문 개폐, 냉난방 제어 등이다. 특히 저전력의 IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC 계층 위에 가벼운 ZigBee Protocol Stack을 올려 전력 소모 측면에서 효율성이 있고, 배터리가 수 개월에서 수년 동안 지속될 수 있는 장점을 가지고 있어서 개인 무선 통신 환경 하의 저속 무선 데이터 통신을 위한 경제적인 솔루션이라 할 수 있다. 또한, 시스템에 ZigBee를 구현하는 비용이 매우 저렴하기 때문에 네트워크에 더 많은 노드들을 저렴하게 설치할 수 있으며, 구현 측면에서 ZigBee 프로토콜은 Bluetooth나 IEEE 802.15.3 HR(High Rate)-WPAN, 또는 802.11x 무선 LAN 프로토콜보다 훨씬 간단하게 구성할 수 있다. 현재 IEEE 802.15.4 PHY와 MAC의 사양은 표준화로 제정된 상태이며 그 위 계층인 Network 계층과 Application Support 부 계층(APS) 및 Application Framework 부 계층과 ZigBee Device Object(ZDO) 부 계층으로 구성된 APL(Application Layer), 그리고 Security Suites 등에 대한 표준은 ZigBee Alliance에서 정의되고 있으며 2005년 3월 현재 Version 1.0이 제정된 상태이다. ZigBee를 기반으로 하는 센서 네트워크는 성형 또는 점 대 점 동작을 지원하고, 16비트 또는 64비트 주소를 할당할 수 있으며, GTS (Guaranteed Time Slots)의 할당을 통해 QoS를 지원할 수 있다. 또한 CSMA-CA(Carrier sense multiple access with collision avoidance)를 이용한 채널 접속을 지원하고 전송 신뢰성 보장을 위한 ACK 프로토콜을 지원함은 물론, 저전

력 소모 특성과 수신된 패킷의 특성을 나타내기 위한 LQI(Link quality indication)를 사용하며, 2450 MHz 대역에서 16개 채널, 915MHz 대역에서 10개 채널, 그리고 868MHz 대역에서 1개의 채널을 사용하는 특징을 가지고 있다.

본 고의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 IEEE 802.15.4 PHY 계층과 MAC 계층에서의 동작에 대해 기술하였고, 제 III장에서는 ZigBee Alliance의 표준 현황과 Protocol Stack, ZDO, 그리고 APS(Application Support Sublayer)에 대해 기술하였으며, 제 IV장에서는 현재 IEEE 802.15.4 MAC의 문제점을 제시하고 문제 해결을 위한 방법을 제안하였다. 끝으로 제 V장에서 결론을 기술하였다.

## II. IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC 프로토콜 구조

현재 IEEE 802.15.4 사양은 시장에서 입지를 다투고 있는 여러 무선 네트워킹 표준들과 비교할 때 빠른 성장을 보이고 있다. PHY와 MAC 프로토콜의 표준을 다루는 IEEE 802.15.4 LR(Low Rate)-WPAN 표준화 작업은 2003년에 완료되었고, 현재 응용 서비스를 위한 시스템 개발에 필요한 MAC 상위 계층에 대한 표준화 작업이 ZigBee Alliance에서 진행 중이다.

ZigBee의 통신 모드는 마스터-슬레이브 방식을 기본으로 하고 있지만 'Mesh Mode'라 불리는 점 대 점 방식의 네트워킹이 가능하고 네트워크 안에서 하나의 기기를 코디네이터로 명하여 송수신의 활동이 필요한 경우에만 Sleep 모드에 있는 노드들을 활동 상

태로 변경하는 방식을 채택함으로써 전력 소모를 극소화하였다. 또한, 이러한 코디네이터 간의 통신이 가능하며, 특정 노드가 Mesh 모드의 네트워크 상의 다른 모든 노드들을 인식하지 못할 때 네트워크를 스스로 구성할 수 있다. 인접한 네트워크 및 시스템과의 간섭에 Robust한 기능을 수행할 수 있도록 2.4GHz와 5GHz의 무선 LAN에서 사용하는 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 방식을 제안하였고, 2.4GHz 대역에서 O-QPSK 변조 방식을 채택하였다.

ZigBee의 기본 프로토콜은 IEEE 802.15.4에서 정의된 표준에 따르며, 다른 IEEE 802.11 및 IEEE 802.15.3 기반 무선 네트워크에서와 마찬가지로 채널 할당에 CSMA/CA 방식을 채택하였고, 실시간 데이터 전송을 지원하기 위해서 선택적으로 GTS 할당 방식을 적용하고 있다. 또한, ZigBee 노드들은 코디네이터 혹은 디바이스(슬레이브 노드)로서 동작이 가능하며, 통신에 있어서 필요한 모든 부하를 코디네이터에 집중시킴으로써 상대적으로 슬레이브 노드의 기능적 요소가 적고, 구현에 필요한 비용이 저렴한 이점이 있다.

또한 ZigBee는 Channel Access 방식으로 Slotted CSMA-CA를 사용하는 Beacon-Enabled Network 방식과 Unslotted CSMA-CA를 사용하는 Non Beacon-Enabled Network의 두 가지 방식을 사용하며 Robustness를 지원하기 위한 CSMA/CA 메카니즘과 Frame Acknowledgement (선택 사양), 그리고 FCS (Frame Check Sequence)를 통한 Data Verification을 지원한다.

디바이스 타입으로는 FFD (Full Function Device)와 RFD (Reduced Function Device)

가 있는데 FFD의 경우는 FFD 또는 RFD 모두와 통신할 수 있고 PAN Coordinator, Coordinator, Device 세가지 타입이 될 수 있으나, RFD의 경우에는 FFD에 한하여 통신할 수 있고 Device 타입만이 될 수 있다. RFD는 최소의 리소스와 메모리 용량을 갖기 때문에 Light Switch나 Passive Infrared Sensor로 사용하기에 적합하다.

IEEE 802.15.4에서는 Channel Access 메카니즘으로 Unslotted CSMA-CA 방식과 Slotted CSMA-CA를 사용하는데 Unslotted CSMA-CA 방식은 Non Beacon-Enabled Network에 사용되며 Random Period 동안 기다리다가 Idle 상태일 때 Device는 자신의 데이터를 전송하고 채널이 Busy 상태인 것을 감지하면 Device는 데이터 전송을 위해 다른 Random Period까지 기다려야 한다.

Slotted CSMA-CA 방식은 비컨을 전송함과 동시에 Backoff Slot이 할당되는 방식으로 Beacon-Enabled 네트워크에 사용된다. 데이터를 전송하기 전에 Backoff Slot을 기반으로 하여 Random Number 동안 기다린다. 채널이 Busy 상태일 때, Device는 Backoff slot의 다른 Random Number 동안 기다려야 한다. 비컨과 ACK는 CSMA/CA를 사용하지 않고 보내게 된다. 한편 각 디바이스들은 메시지의 Pending 여부를 알기 위해 RF 채널을 주기적으로 들어야 하는데 이 간격을 통해 메시지의 지연 시간과 파워 소모 간의 균형이 결정된다.

IEEE 802.15.4에서 보안 서비스는 ACL (Access Control List), Data Encryption, Frame Integrity를 사용하여 지원하게 되는데, Security Mode로는 Unsecured Mode와

ACL Mode, 그리고 Secured Mode가 있다.

## 1. IEEE 802.15.4 PHY(Physical Layer) 계층

IEEE 802.15.4 PHY (Physical Layer) 계층은 PHY Data Service, PHY Management Service를 지원하며 868 ~ 868.6 MHz 대역에서 1개의 채널, 902 ~ 928 MHz 대역에서 10개의 채널, 2400 ~ 2483.5 MHz 대역에서 16개의 채널을 사용한다. 사용 대역에 따라 전송 속도가 다르며 2.4GHz대역에서는 O-QPSK 변조 방식에 의해 250Kbps의 전송 속도를 제공하고, 868/915MHz 대역은 BPSK 변조 방식에 의해 각각 20Kbps와 40Kbps 전송 속도를 제공한다. IEEE 802.15.4 WPAN의 PHY는 총 27개의 channel을 사용하며, 각각의 Center Frequency는 다음과 같다. (단, k는 channel 번호)

$$F_c = 868.3 \text{ MHz}, \quad \text{for } k = 0$$

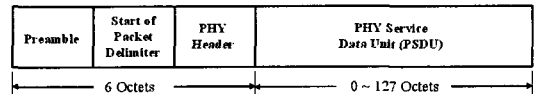
$$F_c = 906 + 2(k-1)\text{MHz}, \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, 10$$

$$F_c = 2405 + 5(k-11)\text{MHz}, \quad \text{for } k = 11, 12, \dots, 26$$

또한 IEEE 802.15.4 PHY에서는 무선 영역의 활성화(Active) 및 비활성화(Inactive)구간의 서비스와 현재 사용하는 채널에서 에너지 검출과 노드 사이의 전송 특성을 나타내기 위한 LQI (Link Quality Indication) 사용 및 CSMA/CA를 사용하기 위한 CCA (Channel Clear Assessment) 지원 및 채널 주파수 선택 기능을 지원하고 데이터 송신과 수신을 지원한다.

IEEE 802.15.4 PHY 계층의 패킷인 PPDU (Packet Protocol Data Unit)를 살펴보면, 먼

저 프리앰블 필드는 트랜시버에서 입력되는 메시지를 동기(Synchronization)하기 위해 사용되고, SoP(Start of Packet) Delimiter는 패킷 데이터의 시작을 나타낸다. PHY 헤더는 7비트의 프레임 길이와 미래의 사용을 위해 예약된 1비트로 구성되어 있고, 프레임 길이 필드는 PSDU (PHY Service Data Unit)에 포함된 전체 Octet 각각의 Number가 가지는 값을 정의한다. PSDU 필드는 가변 길이로서 PHY 패킷 데이터를 운반하며 IEEE 802.15.4 PHY 계층의 패킷의 구조는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> IEEE 802.15.4 PHY 계층 패킷 구조

## 2. IEEE 802.15.4 MAC(Medium Access Control)

IEEE 802.15.4 MAC은 연관(Association)및 탈퇴(Disassociation)를 지원하고 Ack 프레임을 사용하며 프레임 유효성 검사 및 GTS 사용을 지원하며 비컨 관리 등의 특징을 가지며 16비트 Short Address와 64비트 Extended Address를 사용한다. 채널 접속 메카니즘으로 Superframe이라는 단위로 시간을 분할하여 사용하는데 한 개의 Superframe은 Active한 구간과 Inactive한 구간으로 나뉘게 되며, 각 구간의 길이는 Beacon에 들어있는 SO (Superframe Order)와 BO (Beacon Order) 값을 이용해서 조정할 수 있다. Active한 구간은 CAP (Contention Access Period)과 CFP (Contention Free Period)로 나뉘게 되며, CFP는 또 여러 개의 GTS (Guaranteed

Time Slot)로 나뉘어, QoS (Quality of Service)가 보장되어야 하는 Data 전송을 위해서 사용된다. Active한 영역과 Inactive한 영역은 Network 내의 Node들의 전력 소모 최소화를 위한 중요한 요소가 된다.

CAP 동안의 data 송수신은 CSMA/CA Mechanism을 통해서 이루어진다. 전송을 하고자 하는 Node는 Random Delay를 거친 후, CCA (Clear Channel Assessment)를 수행하여 현재 Channel이 사용 가능한지를 확인한 뒤, 사용 가능하면 전송을 하는 방식으로 이루어진다. IEEE 802.15.4는 IEEE 802.11의 CSMA/CA와는 달리, 각 Node들이 전송하고자 하는 Data Packet이 크지 않기 때문에, RTS (Request To Send)/CTS(Clear To Send)와 같은 Mechanism이 존재하지 않는다. CFP 동안의 Data 송수신은 각 Node들이 CAP를 이용해서 PAN Coordinator에게 예약을 하는 방식으로 이루어진다.

각 Node들이 GTS Allocation Request Frame을 PAN Coordinator에게 전송하면, 차후에 전송되는 Beacon을 받아 봄으로써, 자신들에게 GTS가 할당되었는지를 알 수 있다. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜에서 사용되는 가장 핵심적인 내용은 CSMA/CA의 사용어들 수 있는데 이 내용은 II.2.1절에서 상세히 기술하였다.

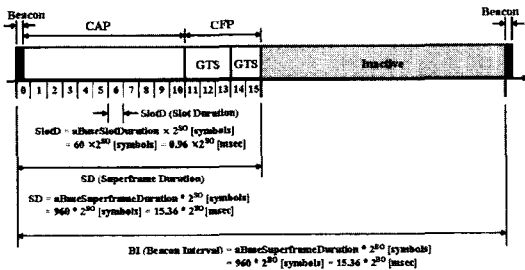
### 1) IEEE 802.15.4 Superframe 구조

IEEE 802.15.4에서는 CSMA와 TDMA의 두 가지 특성을 모두 가진 Superframe을 이용한다. 한 Superframe은 BO (Beacon Order) 값과 SO (Superframe Order) 값에 의해 각각 SD (Superframe Duration) 구간과 BI

(Beacon Interval) 구간으로 나뉘어진다. SD 구간, 즉 Active 구간은 BI의 크기와 상관없이 항상 16 개의 Slot으로 나뉘어지며, 이 구간은 다시 CAP (Contention Access Period)과 CFP (Contention Free Period) 구간으로 나뉘어진다. CAP 에서는 Slotted CSMA/CA 방식을 통해서 데이터를 직접 주고 받을 수 있지만 주기적인 데이터 전송이 필요한 경우에는 이 구간에서 GTS (Guaranteed Time Slot) 할당을 필요한 만큼 디바이스가 Coordinator에게 요청하거나 Coordinator가 디바이스에게 Beacon을 통해서 알리게 된다. CAP와 CFP의 경계와 CFP에서의 GTS 할당 정보는 각 Beacon 마다 Update 되어서 브로드캐스트 (Broadcast) 되며 CFP 구간은 최대 7개 Slot까지 허용된다. IEEE 802.15.4 표준은 범용적인 MAC 구조를 구현한 것이기 때문에 CFP 구간과 Inactive 구간을 Option 으로 정의하고 있다. 각 디바이스들은 매 Beacon 시간마다 전송할 데이터의 유무와 상관없이 항상 Active 상태로 유지하여서 동기를 맞춰야 하며, 다른 구간에서는 Option 이다.

슈퍼프레임에서는 PAN 코디네이터로 불리는 지정된 네트워크 코디네이터가 사전에 예정된 간격으로 슈퍼프레임 비컨을 송신한다. 이 간격은 최소 15 ms에서 최대 245 Sec가 될 수 있다. 두 개의 비컨 간의 시간은 슈퍼프레임의 주기와 무관하게 16개의 동일한 타임 슬롯으로 나뉘어진다. 디바이스는 타임 슬롯동안 언제라도 데이터를 보낼 수 있으나 다음 슈퍼프레임 비컨 전에 해당 데이터 송수신을 완료하여야 한다. 타임 슬롯의 채널 액세스는 상호 경쟁하게 되며 PAN 코디네이터는 지정된 대역폭이나 작은 처리 지연이

요구되는 단일 디바이스에 할당할 수 있다. 이와 같은 목적으로 할당된 타임 슬롯을 GTS (Guaranteed Time Slots)라 하며 <그림 2>와 같이 다음 비컨 바로 앞에 위치하여 경쟁없이 할당된다. GTS는 실시간 응용이나 특정한 대역폭을 요구하는 응용 서비스를 위해서 코디네이터가 제공할 수 있는데 이것들은 CFP에 올 수 있다.



<그림 2> IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조

IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임 구조를 파악하기 위해 <그림 2>에서 SlotD (Slot Duration)과 Superframe Duration을 계산하면 SlotD는

$$\begin{aligned} \text{SlotD} &= aBaseSlotDuration \times 2^{SO} \text{ [symbols]} \\ &= 0.96 \times 2 \text{ [msec]} \end{aligned}$$

이 되고 Superframe Duration은

Superframe Duration =  $aBaseSuperframeDuration \times 2$  [symbols] =  $15.36 \times 2$  [msec]가 된다. 그리고 BI(Beacon Interval)는

$$\begin{aligned} BI &= aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} \\ \text{[symbols]} &= 960 \times 2^{BO} \text{ [symbols]} \end{aligned}$$

가 되는데, BO (Beacon Order)는 MAC PIB에 저장된 macBeaconOrder로서 0에서 14사이의 값을 갖는다. SO와 BO가 15의 값을 갖게 되면 Non Beacon-Enabled PAN으로 동작하여 슈퍼프레임 구조를 갖지 않게 된다.

### III. ZigBee 프로토콜

ZigBee 프로토콜은 IEEE 802.15.4 WPAN을 위한 Network Layer와 Application Layer에 대한 표준으로서, 2005년 3월 현재 Draft Version 1.0이 확정된 상태이며, Network Layer (NWK) 계층에서 Routing 방식과 클러스터 트리 네트워크에서 논리적 주소 할당에 관한 내용을 포함하고 있다.

ZigBee Alliance는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 그 상위 계층의 표준을 제정하기 위해 발생한 표준 활동 그룹으로서 수 개월에서 수년까지의 배터리 수명을 갖는 낮은 데이터 전송률의 솔루션 개발을 하고 있다. Bluetooth와 비교해볼 때 ZigBee는 보다 싼 가격과 낮은 데이터 전송률, 그리고 이를 활용한 저 전력 소모의 특징을 지니고 있으며, 성형은 물론 메쉬 등과 같은 다수의 토폴로지를 갖는 네트워크에도 적용이 가능하다.

ZigBee 표준을 정의하기 위하여 세계의 여러 업체가 멤버로서 참여하고 있으며, 몇 개의 업체들이 현재 ZigBee 표준에 부합한 시제품을 내놓고 있다. IEEE 802.15.4에서는 MAC과 PHY에 대한 표준화에 대한 역할을 담당하고 있고 현재 표준화가 완료된 상태이며, ZigBee Alliance의 경우 보안 (Security), 네트워크 계층, 응용 계층 (Application Sublayer), 마케팅, 그리고 세부 프로파일에 대한 표준화 작업이 진행되고 있다. 또한, 구체적인 상호연동 테스트를 위한 목적으로 체크 리스트 작업과 세부적인 어플리케이션 정의 작업을 진행 중이다.

ZigBee Alliance의 Marketing Working Group에서는 ZigBee 시스템이 활용될 응용

을 서비스하기 위한 전체 서비스 모델을 정립하고, 구체적인 응용 서비스 도출을 통한 공략 시장 범위 도출 및 OEM을 위한 세부 규칙을 정의하는 작업을 주목적으로 한다. 마케팅 Working Group에서 도출된 대표적 문서인 02123r5ZB-ZigBee Residential/Light Commercial MRD (Market Requirements Document)에서는 ZigBee 시스템이 핵심적으로 사용될 시장 범위 및 구체적인 응용 분야에 대해 정리하였다.

Architecture Framework Working Group에서는 ZigBee 시스템의 응용 계층에서 사용될 프로파일에 대한 세부 정의를 주 목적으로 진행되는 작업 그룹이다. 세부적인 프로파일의 기본 골격이 될 General Operational Framework 버전 1.0이 완료된 상태이고, 세부적인 프로파일로 현재 Home Control의 근간이 될 Light Sensor 및 Controller, Actuator에 관련된 Attribute 정의가 완료된 상태이다.

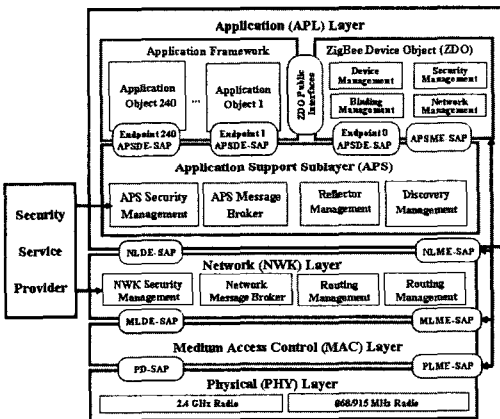
한편 네트워크 Working Group에서의 주목적은 네트워크 계층과 응용 계층 (Application Sublayer)에 대한 드래프트 작업이다. 본 목적에 부합해서 1.0 버전의 네트워크 및 응용 계층 드래프트가 완성되었다. 그리고 ZigBee Alliance의 Security Working Group은 ZigBee 시스템에서 네트워크 계층과 응용 계층에서의 보안/인증을 위한 보안 Toolbox 개발을 주 목적으로 하며 세부적으로는 키 설정 (Key Establish), 키 전송(Key Transport), 데이터 보호화 및 인증에 관련된 메카니즘 도출과 해당 메카니즘을 포함하는 Toolbox 버전 1.0이 완료되었다. 현재 상호 연동 테스트를 위한 Security 측면의 테스트 계획 작업이 진행 중이다.

## 1. ZigBee 프로토콜 스택

ZigBee 프로토콜 스택은 IEEE 802.15.4 PHY 계층과 MAC 계층 위에 ZigBee Alliance가 정의하는 네트워크 계층과 응용 지원 부 계층, 그리고 응용 프레임워크와 ZDO (ZigBee Device Object) 및 이들 사이의 인터페이스를 정의하는 응용 계층으로 구성된다. <그림 3>은 ZigBee의 프로토콜 스택 구조를 나타낸 것이다. PHY와 MAC 상위 계층인 네트워크 계층에서는 네트워크, 보안, 그리고 라우팅을 관리하며, 응용 지원 부 계층 (Application Support Sublayer)에서는 바인딩을 위한 테이블을 유지하는 기능을 갖는다. 여기서 바인딩은 ZigBee 코디네이터가 네트워크의 어떤 디바이스들이 서로 연결되어 있는지 인식함으로써 코디네이터의 모니터링과 제어 기능을 향상시키는 역할을 하는 것을 의미하며 바인딩 테이블은 바인딩 하는 Object나 Object Attributes의 근원지를 나타내는 Source Address, 소스의 Endpoint를 나타내는 Source Endpoint.Interface 그리고 Profile Object를 구성하는 ObjectAttributeID, 바인딩 하는 Object 또는 Object Attributes의 목적지를 나타내는 Destination Address, 목적지의 Endpoint를 나타내는 Destination Endpoint.Interface로 구성된다.

한편 ZDO는 응용 지원 부 계층(Application Support Sublayer)을 Initialize하는 기능과 디바이스와 서비스 디스커버리를 지원하는 기능을 갖는 디바이스 관리 기능, 보안 관리 기능, 바인딩 테이블을 위한 리소스 사이즈를 설정하는 기능을 갖는 바인딩 관리 기능, 그리고 네트워크 관리 기능을 지원한다.

ZigBee NWK는 Star, Tree, Mesh 형의 Topology를 지원한다. Star topology에서는 ZigBee Coordinator가 Network의 시작과 유지를 관장하며, 모든 Node들은 ZigBee Coordinator를 통해서 통신을 하게 된다. Mesh 및 Tree Topology에서 ZigBee Coordinator는 몇 개의 중요한 Network Parameter만을 결정할 뿐, ZigBee Router들에 의해서 Network이 확장될 수 있다. Tree Network에서는 Router가 계층적인 Routing 전략에 따라서, Data와 Control Message를 전송한다. Mesh Network에서는 모든 Node들이 Peer-to-Peer 방식의 통신을 할 수 있다.



〈그림 3〉 ZigBee 스택 구조

### 1) ZigBee 네트워크에서 논리적 주소 할당

다중 홉 기반의 메쉬 토폴로지의 지원에 따른 계층적 라우팅의 논리적 주소 할당은 〈그림 4〉와 같다. 그림 4)에서  $C_m$  (Maximum Number of Children)이란 코디네이터 또는 디바이스에 연결될 수 있는 최대 네트워크 수를 의미하며,  $L_m$  (Maximum Depth Level)이란 네트워크의 최대 깊이를 의미한다. 이상의 파라미터를 이용하면, 네트워크 레벨

각각에 계산된 어드레스 블록 사이즈인  $C_{skip}$ (Address Block Size for Each Children)과 하나의 네트워크 내에 모든 단말기를 수용하기 위한 전체 Address Space인  $B_{size}$  (Block Size)는 다음의 식으로 계산된다:

$$B_{size} = \frac{1 - C_m^{L_m+1}}{1 - C_m}$$

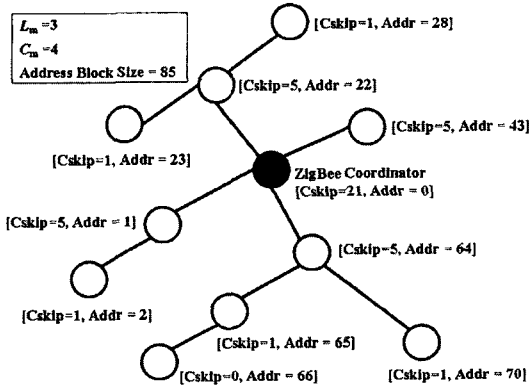
$$C_{skip} = \text{Floor} \left[ \frac{B_{size} - \sum_{k=0}^{L_i} C_m^k}{1 - C_m^{L_i+1}} \right]$$

〈그림 4〉의 상황을 위의 식에 대입하면  $B_{size} = (1 - 256)/(1 - 4) = 85$ 가 되고  $C_{skip}$  at level 0 =  $(85 - 1)/4 = 21$ ,  $C_{skip}$  at level 1 =  $(85 - 1 - 4)/(4 \times 4) = 5$ ,  $C_{skip}$  at level 2 =  $(85 - 1 - 4 - 16)/(4 \times 4 \times 4) = 1$ 임을 알 수 있다. Address는 처음 ZigBee 코디네이터와 통신하는  $C_{skip} = 5$ 인 노드는 1에서 21까지의 Address를 가지게 되고 그 다음 ZigBee 코디네이터에 붙는  $C_{skip} = 5$ 인 노드는 22에서 42까지의 Address를 가지게 된다. 이 후에 ZigBee 코디네이터에 붙는  $C_{skip} = 5$ 인 노드는 43부터 63, 그리고 64부터 85까지의 어드레스를 가질 수 있게 된다.  $C_{skip} = 1$ 인 경우에는 1에서 5, 23에서 27, 28에서 32, 65에서 69, 그리고 69에서 73까지의 어드레스를 가질 수 있게 된다.  $C_{skip} = 0$ 인 노드는  $C_{skip} = 1$ 인 노드의 주소에 1이 더해진 값의 어드레스를 갖는다.

### 2) ZigBee 기기의 동작 예제

ZigBee 네트워크 계층과 IEEE 802.15.4에서 정의한 프리미티브를 이용한 ZigBee 기기가 상호 연관되는 동작을 살펴보면 처음 하나





〈그림 4〉 다중 홉 기반의 메시 토폴로지 지원에 따르는 계층적 라우팅의 논리적 주소 할당

의 기기의 전원을 On 하면 APL 계층에서 NLME- RESET.request 값을 NWK 계층에 보내고 NWK 계층에서 이를 확인하고 MLME-RESET.request를 MAC에 보내서 MAC PIB를 Default 값으로 셋팅한다. APL계층은 자신이 Join하기 위한 PAN을 찾기 위해 NLME-DISCOVERY.request를 NWK계층으로 전달한다. NLME-DISCOVERY.request는 각각에 대해서 ScanDuration Parameter 값 동안 스캔을 수행하여 기기의 POS (Personal Operating Space)내에 존재하는 Network을 찾아내기 위한 Service를 제공한다. 그리고 NLME-DISCOVERY.request를 확인한 NWK 계층에서 ScanDuration과 ScanChannel, 그리고 ScanType을 설정하여 MLME-SCAN.request를 MAC계층으로 전달한다. MLME-SCAN.request를 확인한 MAC계층은 PHY 각각의 채널에서 ED(Energy Detection) Scan을 실시한다.

이후, Scan된 Beacon Payload 속의 네트워크에 관한 정보들은 Network List로 정리되어, 이 결과는 NLME- DISCOVERY.confirm을 통해서 NWK Layer로 올라온다. 그 후 비컨을 듣기 위

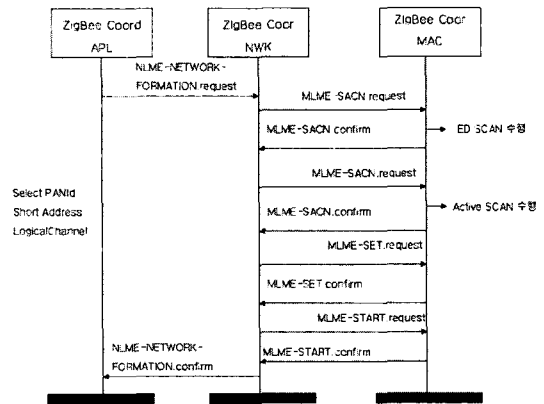
해 Active Scan을 실시하지만 POS 내에서 유일한 기기이기 때문에 어떠한 비컨도 받지 못하므로 자기 자신이 PNC가 되기 위한 처리과정을 수행한다. PNC로 동작하기 위해 APL 계층에서 NLME- NETWORK-FORMATION.request를 NWK계층으로 보내고 NLME-NETWORK-FORMATION.request를 확인한 NWK 계층에서 MAC 계층으로 MLME-SCAN.request을 전송한다. NETWORK-FORMATION.request는 기기가 PNC로서 새로운 Zigbee Network을 구성할 수 있는 Service를 제공한다. 그리고 나서 MLME-SCAN.request를 통해 Channel List를 Energy Detection을 이용하여 Scan한다. 앞에서 설명했듯이 POS 내에는 어떠한 PNC나 코디네이터도 없으므로 다시 한 번 Active Scan을 실시하고 채널을 선택한다. 이 과정을 통해 자신이 형성할 PAN의 채널이 결정되면 NWK계층에서 MLME-START.request를 MAC계층으로 전달하여 자신의 Short Address, PAN\_ID, Logical Channel, BO(Beacon Order), SO (Superframe Order)를 설정한다. 이때 만약 비컨을 사용하지 않는 None\_Beacon\_Enabled\_PAN을 형성할 경우에는 BO와 SO 값을 15로 설정하고 Beacon\_Enabled\_PAN을 형성할 때는 0에서 14 사이의 값을 설정하면 된다. 이후 기기는 PNC로서 동작을 시작하고 Cm과 Rm, 그리고 Lm을 결정하게 된다.

한편, 이미 전원이 On 상태에서 PNC로 동작하는 기기가 있는 상태에서 새로 전원을 키고 두 번째 이후의 기기의 경우에는 자신이 Join하기 위한 PAN을 찾기 위해 NLME-DISCOVERY.request를 NWK계층으로 전달하고 이를 확인한 NWK 계층에서 ScanDuration

과 ScanChannel, 그리고 ScanType을 설정하여 MLME-SCAN.request를 MAC 계층으로 전달하여 비컨을 수신하면 MLME-BEACON-NOTIFY.indication을 NWK 계층으로 전달하고 NWK 계층은 NLME-DISCOVERY.confirm을 APL 계층에게 전달하여 NLME-DISCOVERY.confirm을 수신한 후 APL 계층에서 연관을 위한 NLME-JOIN.request를 NWK 계층으로 전달한다. NLME-JOIN.request를 확인한 NWK 계층에서는 MAC 계층에게 MLME-ASSOCIATE.request를 전달한다. MLME-ASSOCIATE.request를 확인한 MAC 계층은 Association\_request command를 Association을 할 기기에게 전송하고 Association\_request Command를 수신한 기기가 Association을 허용할 수 있다면 3.1.1 절에서 설명한 논리적 주소 할당 알고리즘에 의해 Join하려는 기기의 Short address를 결정하여 MLME-ASSOCIATE.response를 통해 어드레스를 할당한 후 Association Response Command를 전송하게 된다.

MAC 계층은 Association Response Command를 수신한 후 MLME-ASSOCIATION.confirm을 NWK 계층으로 전달한다. NWK 계층은 NLME-JOIN.confirm을 통해 Join에 대한 결과를 APL 계층에 전달한다. 이 과정을 통해 Join이 되었다면 NLME-START-ROUTER.request를 NWK 계층으로 전달하게 된다. NWK 계층에서는 NLME-START-ROUTER.request를 통해 필요한 파라미터를 추가해서 MLME-START.request를 MAC 계층으로 전달한다. MAC 계층에서는 MLME-START.request를 확인하여 PAN에서 사용될 자신의 Short Address, PAN\_ID, Logical Channel, BO

(Beacon Order), SO (Superframe Order), PNC 여부, BatteryLifeExtension의 사용 여부와 Coordinator-Realigning, SecurityEnable에 대한 PIB (PAN Information Base) 값을 설정한 후 이에 맞춰 Beacon을 주기적으로 전송하고 다른 기기가 Association하는 것을 허용하며 새로운 코디네이터로 동작을 시작한다. 이 과정을 간략히 도식하면 <그림 5>와 같다.



<그림 5> APL에서 MAC 계층까지의 전체 Primitive들의 동작 흐름

### 3) ZigBee Application 계층

ZigBee Application 계층은 Application 부 계층인 APS (Application Support Sublayer)와 ZDO (ZigBee Device Object), 그리고 Application Objects로 구성된다. APS는 네트워크 계층과 응용 계층 사이에서 ZDO와 생산자 기반-어플리케이션 개체의 사용을 위한 인터페이스와 서비스를 제공한다. 이러한 서비스들은 데이터 서비스와 관리 서비스 엔티티를 통해 제공되는데, APS 데이터 엔티티 (APSDE)는 자신과 연관된 SAP을 통해 데이터 전송 서비스를 제공하고 APS 관리 엔티티 (APSME)는 자신과 연관된 SAP을 통해 관리

서비스를 제공하며 AIB (APS Information Base)를 통해 관리 개체의 데이터베이스를 유지하는 한편 코디네이터가 네트워크의 어떤 디바이스들이 서로 연결되어 있는지 인식함으로써 코디네이터의 모니터링과 제어 기능을 향상시키는 기능을 하는 바인딩을 위한 테이블을 유지하여 서로 바인딩된 디바이스 간에 메시지를 포워딩하는 역할을 한다. 바인딩 테이블은 PNC에서 구현되는데 그 이유는 메인 파워를 사용하고 있기 때문이며, 가장 강력한 기기 성능을 PNC가 가지고 있기 때문이다.

바인딩 링크를 연결하거나 또는 제거하기 위해서는 APS에서 제공하는 APSME-BIND.request 또는 APSME-UNBIND.request 프리미티브를 사용하며, 바인딩 테이블은 다음과 같은 매핑과정을 통해 구현된다.

$$(a_s, e_s, c_s) = \{(a_{d1}, e_{d1}), (a_{d2}, e_{d2}) \dots (a_{di}, e_{di})\}$$

여기서  $a_s$ 는 바인딩 링크의 소스 부분에 해당하는 디바이스 소스이며,  $e_s$ 는 바인딩 링크의 소스 부분에 해당하는 디바이스의 Endpoint이고,  $c_s$ 는 바인딩 링크에서 사용하는 Cluster Identifier이다. 여기서 Cluster Identifier란 특정한 프로파일 내에서 입력과 출력 부분의 동작과 관련한 구별자를 의미한다. 그리고  $a_{di}$ 는 바인딩 링크의 목적지 디바이스의  $i$ 번째 주소이고  $e_{di}$ 는 바인딩 링크의 목적지 디바이스의  $i$ 번째 Endpoint를 나타낸다. 이와 같이 디바이스 소스와 디바이스 Endpoint, 그리고 바인딩 링크에서 사용하는 Cluster Identifier의 구성요소로 바인딩 테이블을 구현할 수 있다.

한편, ZDO는 네트워크 내의 디바이스가 코디네이터로 동작할 것인지 또는 엔드 디바이스로 동작할 것인지를 결정하고 네트워크상의 디바이스를 탐색(Discover)하며, 어떠한 어플리케이션 서비스를 제공할지를 결정한다. 그리고 네트워크 디바이스들 간의 관계를 설정하고 바인딩 요청을 시작하거나 응답한다. ZDO는 크게 Network Manager, Binding Manager, Node Manager, Discovery Management, 그리고 Security Manager의 5가지 기능에 대한 관리 역할을 수행한다.

Network manager는 인스톨하는 중에 또는 프로그램된 어플리케이션을 통해 설정하는 환경 설정에 따라 논리적인 디바이스 타입을 PNC, 코디네이터 또는 엔드 디바이스로 구분하여 구현하는 내용과 만약 디바이스 타입이 코디네이터 또는 엔드 디바이스일 경우에는 기존에 존재하는 PAN을 찾아 선택하는 기능을 제공하고, 네트워크 통신이 끊겼을 경우에 동일한 PNC에 코디네이터 또는 엔드 디바이스가 재연관할 수 있게 하는 Orphaning 처리절차를 지원한다. 그리고 만약 디바이스가 PNC 또는 코디네이터일 경우에는 새로운 PAN의 생성을 위해 사용하지 않는 채널을 선택할 수 있는 기능을 제공할 수 있다.

Binding Manager는 바인딩 테이블에 대한 리소스 사이즈를 설정하며 이러한 리소스 사이즈는 인스톨 중에 정의되는 환경설정 파라미터를 통하거나 프로그램되는 어플리케이션을 통해 결정된다. 그리고 APS 바인딩 테이블로부터 엔트리들을 추가하거나 삭제하기 위한 바인딩에 관한 요청을 처리한다. PNC와 코디

네이터를 위한 Node Management 기능은 네트워크 탐색(Discovery)을 수행하기 위한 원격 관리 커맨드와 라우팅 테이블을 갱신할 수 있는 원격 관리 커맨드, 바인딩 테이블을 갱신하기 위한 원격 관리 커맨드 및 네트워크를 탈퇴하는 디바이스에 대한 원격 관리 커맨드를 제공한다. Discovery Manager는 디바이스와 서비스 탐색(Discovery)기능을 제공한다. Security Manager는 키 생성, 키 전송, 인증과 같은 보안 관련 기능을 지원한다.

ZDO의 기능과 함께 ZigBee Device는 서술자(Descriptor) 데이터 구조를 사용한다. 서술자(Descriptor)는 노드, 노드 파워, Simple, Complex, 그리고 User Descriptor의 5 종류이다. 이 중에서 노드와 노드 파워 Descriptor는 각 노드에서 반드시 지정해야 할 필수 사항이며 나머지는 선택 사항이다. 5 종류의 Descriptor 가운데 대표적인 노드 Descriptor를 자세히 살펴보면 <표 1>과 같은 필드를 갖는다.

<표 1> 노드 Descriptor의 필드

필드명칭	길이(비트)
Logical type	3
Reserved	5
APS flags	3
Frequency band	5
MAC capability flags	8
Manufacturer code	16
Maximum buffer size	8
Maximum transfer size	16

<표 1>에 보인 노드의 Logical Type은 3비트 길이를 가지며, ZigBee 노드의 디바이스 타입을 결정할 때, 000 비트는 PNC, 001은 코디네이터, 010은 엔드디바이스로 나타난다. APS Flags 필드는 현재 ZigBee Spec 1.0

에서 지원하지 않으므로 0으로 설정하도록 ZigBee Alliance에서 권고하고 있다. 주파수 대역 필드는 5비트 길이를 사용하고 0은 868 ~ 868.6 MHz대역을 2는 902 ~ 928 MHz 대역을 3은 2400 ~ 2483.5 MHz 대역임을 나타낸다. MAC Capability Flags는 IEEE802.15.4 MAC과 관련하여 PNC로 사용할지의 여부, 디바이스 타입을 FFD 또는 RFD로 사용할지의 여부와 메인 파워를 사용할지 또는 배터리를 사용할지의 여부, 그리고 Security와 관련한 부분을 규정할 수 있도록 하였다. Manufacturer Code 필드는 Zigbee Alliance에서 할당하는 Manufacturer Code를 Maximum Buffer Size는 데이터나 코맨드의 최대 사이즈를 나타내고 Maximum Transfer Size는 하나의 노드에서 전송할 수 있는 단일 메시지의 크기를 나타낸 것이다. 이와 같이 Descriptor는 개별적인 ZigBee Device와 관련하여 정의된 여러 가지 파라미터를 Description하는 것이다.

## IV. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 문제점 및 해결 방안

### 1. IEEE 802.15.4 MAC에서 발생하는 문제

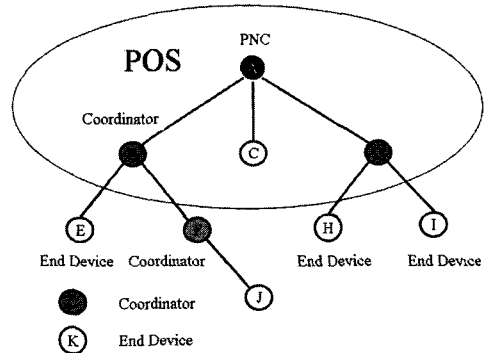
현재 IEEE 802.15.4 MAC에서 Beacon-Enabled PAN의 경우에, 모든 Coordinator는 비컨을 전송하고 이 비컨을 이용하여 슈퍼프레임의 동기화를 유지하게 되는데 트리 구조의 네트워크 토폴로지에서 PNC (PAN Coordinator)와 Coordinator가 전송하는 비컨이 서로 충돌하여 네트워크 상에서 비컨을 듣지 못하는 경우가 발생하여 전체적인 PAN

(Personal Area Network)의 성능을 저하시키는 문제가 발생할 수 있다. <그림 6>의 트리 네트워크 구조의 예를 살펴 보면, 같은 POS내의 PNC A와 Coordinator B, 그리고 Coordinator F가 같은 타임 슬롯에서 비컨을 전송하는 경우에 비컨 충돌이 발생하여 상호간에 비컨을 듣지 못하는 문제가 발생하는데 이러한 비컨 충돌은 Tree 토폴로지 구조의 멀티 홉(Multi-Hop) 통신을 지원하기 위해서 반드시 해결해야 하는 문제이기 때문에 ZigBee Alliance 및 IEEE802.15.4 MAC의 Enhancement를 진행하고 있는 IEEE802.15.4b 표준 위원회에서 중요한 사항으로 논의되고 있다. 이에 본 고에서는 비컨 충돌을 해결하기 위해 IEEE802.15.4 MAC 프로토콜의 슈퍼프레임의 CAP 구간에 Beacon Only Period라는 비컨 전송을 위한 구간을 새로 구성하였고 비컨 충돌을 해결하기 위한 새로운 프리미티브를 설계하여 비컨 충돌의 문제를 해결하는 방안을 4.2절을 통해 자세히 제시하였다.

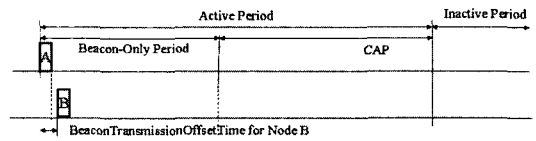
## 2. IEEE 802.15.4 MAC에서 Beacon scheduling 방법 제안

<그림 6>과 같은 Tree 구조에서 A가 PNC가 되고 난 후 PNC는 CSMA/CA 과정을 거치지 않은 채 계속해서 Beacon을 전송한다. B, C, D가 Scan을 한 후 B가 가장 먼저 Beacon을 듣고 Association Request를 하면 PNC는 Association Response Primitive를 전송하고 ACK를 받은 후 SIFS 시간 이 후 자신의 Beacon Scheduling Table에 의해 BeaconScheduling. Response Primitive를 전송하여 할당 가능한 BeaconTransmissionOffsetTime 정보를 실어서 보

낸다. PNC는 Beacon Scheduling Table에 Short Address, PANId, 그리고 할당된 BeaconTransmissionOffsetTime을 저장한다. 이상에서 설명한 내용을 그림으로 도식하면 <그림 7>와 같다.



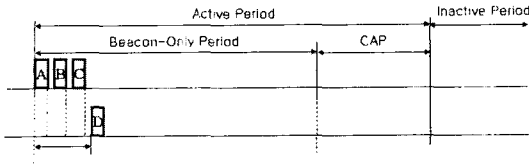
<그림 6> Tree 구조 예제 그림



<그림 7> 비컨 스케줄링을 이용한 노드 A와 B의 비컨 충돌 회피

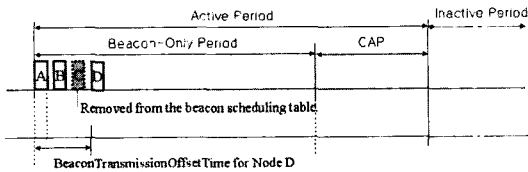
그 후 C가 Beacon을 듣고 Association Request를 하면 PNC가 Association Response Primitive를 전송하고 ACK를 받은 후 SIFS 시간 이 후 자신의 Beacon Scheduling Table에 의해 BeaconScheduling. Response Primitive를 전송하여 할당 가능한 BeaconTransmissionOffsetTime 정보를 실어서 보낸다. 같은 방법으로 D에게도 BeaconTransmissionOffsetTime 정보가 전송된다. 이 내용을 그림으로 도식하면 <그림 8>과 같다.

C는 자신이 RN 기기이므로 더 이상 Child 기기가 Association을 요청하지 않을 것이며 따라서 일정한 시간 (사용자 지정 시간) 동안



〈그림 8〉 노드 A, B, C 그리고 D의 비컨 충돌 회피

자신에게 AssociationRequest를 요청하는 기기가 없으면 할당받은 BeaconTransmission OffsetTime을 BeaconSchedulingRequest Primitive에 실어서 특정 비트를 0으로 Setting하여 A에게 보내어 PNC의 Beacon Scheduling Table에 들어 있는 자신이 할당 받은 BeaconTransmissionOffsetTime을 제거한다. Beacon Scheduling Table은 Short Address, PANId, 그리고 이 기기에 할당된 BeaconTransmissionOffsetTime이 Matching이 되어 저장되어 있다. 효율적인 비컨 스케줄링을 위해 사용하지 않는 End Device를 제거하는 경우를 그림으로 도식하면 〈그림 9〉와 같다.

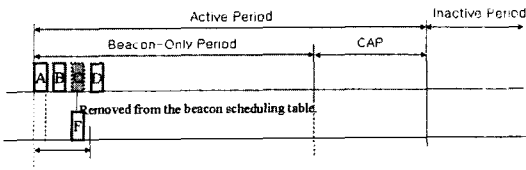


〈그림 9〉 사용하지 않는 End device를 제거하는 경우

Node B도 처음에는 자신이 RN 기기로 판단할 것이므로, 일정한 시간 (사용자 지정 시간) 동안 자신에게 Association Request를 요청하는 기기가 없으면 할당받은 BeaconTransmission OffsetTime을 BeaconSchedulingRequest Primitive에 실어서 특정 비트를 0으로 Setting하여 A에 보내어 PNC의 Beacon

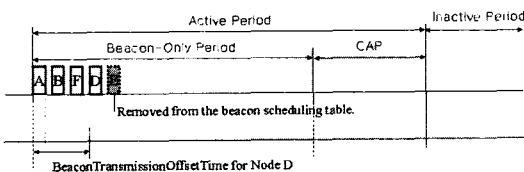
Scheduling Table에 들어 있는 자신이 할당 받은 BeaconTransmission OffsetTime을 제거한다. B는 Beacon을 전송할 수 있는 BeaconTxOffsetTime을 할당받지 않았으므로 F는 Passive Scan을 통해 B의 Beacon을 들을 수 없을 것이다. 그러나 F가 B에게 Active Scan을 요청하면 B는 F의 Radio Range 안에 있으므로 F의 Beacon Request를 듣게 될 것이며 이 Request를 듣는 순간 B는 자신의 BeaconTxOffsetTime이 없으므로 BeaconSchedulingRequest Primitive를 즉시 A에게 전송하여 자신의 BeaconTxOffsetTime을 할당받는다.

F가 B에게 Association을 요청하면 B는 F에게 Association Response를 전송하고 Ack를 받은 후 SIFS 시간이 지나자마자 F에게 BeaconTransmissionOffsetTime을 전송하여야 하나 B 자신은 Beacon Scheduling Table이 없으므로 자신의 Parent인 A에게 F의 Address가 들어 있는 BeaconSchedulingRequest Primitive를 전송하고 Ack를 받는다. 그러면 A는 SIFS 시간이 지나자마자 F에게 줄 BeaconTransmissionOffsetTime을 Beacon-Scheduling. Response Primitive에 실어서 B에게 전송하고 B로부터 Ack를 받는다. B는 전송받은 F의 BeaconScheduling. Response Primitive에서 F에게 줄 BeaconTransmission OffsetTime을 추출한 후 Beacon Scheduling. Response Primitive를 통해 이 정보를 F에게 전송한다. 비컨 스케줄링을 이용한 노드 A, B, D 그리고 F의 비컨 충돌 회피하는 경우를 그림으로 도식하면 〈그림 10〉과 같다.



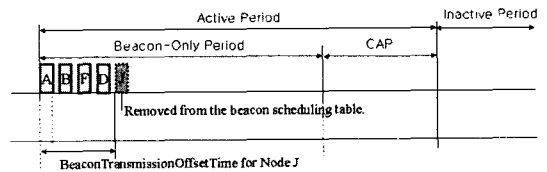
〈그림 10〉 노드 A, B, D 그리고 F의 비컨 충돌 회피

만약 E가 Association request를 전송하면 같은 방법으로 E에게 줄 BeaconTransmission OffsetTime을 추출한 후 BeaconScheduling Response Primitive를 통해 이 정보를 E에게 전송한다. 그런데 E 또한 자신이 RN 기기이므로 더 이상 Child 기기가 Association을 요청하지 않을 것이며 따라서 일정한 시간(예를 들어 약 1초) 동안 자신에게 AssociationRequest를 요청하는 기기가 없으면 할당받은 BeaconTransmissionOffsetTime을 BeaconSchedulingRequest Primitive에 실어서 특정 비트를 0으로 Setting하여 A에 보내어 PNC의 Beacon Scheduling Table에 들어 있는 자신이 할당받은 BeaconTransmissionOffsetTime을 제거한다. Beacon Scheduling Table은 Short Address, PANId, 그리고 이 기기에 할당된 BeaconTransmissionOffsetTime이 Matching이 되어 저장되어 있다. 비컨 스케줄링을 이용한 노드 A, B, F, D 그리고 E의 비컨 충돌 회피 그림으로 도식하면 〈그림 11〉과 같다.



〈그림 11〉 노드 A, B, F, D 그리고 E의 비컨 충돌 회피

이제 J가 F의 Beacon을 듣고 F에게 Association Request를 전송하면 F는 Association Response를 전송한 후 Ack를 받게 되고, 자신이 Beacon Scheduling Table이 없으므로 SIFS 시간이 지나자마자 J의 Short Address가 들어 있는 Beacon SchedulingRequest Primitive를 B에게 전송하고 Ack를 받는다. B는 자신이 Beacon Scheduling Table이 없으므로 SIFS 시간이 지나자마자 J의 Short Address가 들어 있는 BeaconScheduling Request Primitive를 A에게 전송하고 Ack를 받는다. A는 자신의 Beacon Scheduling Table을 조사하여 자신의 Beacon 시간과 가장 가까운 BeaconTransmissionOffset Time을 계산하여 이 값을 J의 Short Address와 함께 Beacon SchedulingResponse Primitive에 실어 전송한 후 Ack를 받는다. 비컨 스케줄링을 이용한 노드 A, B, F, D 그리고 J의 비컨 충돌 회피하는 경우를 그림으로 도식하면 〈그림 12〉와 같다.



〈그림 12〉 노드 A, B, F, D 그리고 J의 비컨 충돌 회피

마지막으로, 〈그림 12〉에서의 J는 자신이 End device이므로 더 이상 Child 기기가 Association을 요청하지 않을 것이며 자신의 BeaconTransmissionOffsetTime을 A에게 보내어 할당받은 시간을 제거할 것이다.

위에서 설명한 Beacon 스케줄링을 위해

기존의 IEEE 802.15.4 MAC Primitive에 MLME-BeaconScheduling.request, MLME-Beacon-Scheduling.indication, MLME-Beacon-Scheduling.response 그리고 MLME-Beacon-scheduling.confirm Primitive를 추가하였으며 기존의 IEEE 802.15.4 MAC Command Frame에 BeaconScheduling request Command Frame과 BeaconScheduling Response Command Frame를 추가하였으며 MLME-Beacon Scheduling.request Primitive는 다음과 같다.

MLME-Beacon-Scheduling.request (Coord AddrMode, CoordPANId, CoordAddress, BeaconUse, SecurityEnable)

각각의 파라미터는 64비트 Extended Address를 사용할지 또는 16비트 Short Address를 사용할지의 여부를 나타내는 CoordAddrMode와 CoordPANId, CoordAddress, 그리고 Primitive를 전송하는 기기 자신이 Beacon의 필요 여부를 나타내는 BeaconUse 파라미터(이 파라미터의 값으로 UseBeaconTxtime을 할당 또는 반납할 수 있다)로 구성되며 MLME-Beacon-Scheduling.indication은 다음과 같이 정의하였다.

MLME-Beacon-Scheduling.indication (DeviceAddress, BeaconUse, SecurityUse, ACLEntry)

여기서 파라미터 DeviceAddress는 MLME-Beacon-Scheduling.request를 요청한

Device의 주소를 나타내며 BeaconUse 파라미터는 Primitive를 전송하는 기기 자신이 Beacon의 필요 여부를 나타낸다. SecurityUse와 ACLEntry는 Security와 관련한 파라미터들이다. MLME-Beacon-Scheduling.response Primitive는 다음과 같은 파라미터로 구성하였다.

MLME-Beacon-Scheduling.response (DeviceAddress, BeaconOnlyPeriod, BaseBeaconDuration, UseBeaconTxtime Status, SecurityEnable)

여기서 BeaconOnlyPeriod는 몇 개의 Slot Duration을 BeaconOnlyPeriod로 사용하는지를 알려주는 파라미터이고 BaseBeaconDuration은 Beacon 길이와 Guard Time을 합한 길이를 나타내는 파라미터이며, UseBeaconTxTime은 Beacon을 몇 번째 BaseBeaconDuration에 전송할 것인지 결정하는 파라미터이다.

마지막으로 MLME-BeaconScheduling.confirm는 Primitive는 다음과 같은 파라미터로 구성하였다.

MLME-Beacon-scheduling.confirm (UseBeaconTimeSlot, Status)

UseBeaconTimeSlot는 몇 번째 BaseBeaconDuration에 전송할 것인지를 결정하는 파라미터이고 UseBeaconTxTime와 상태 값을 알려주는 Status 파라미터이다.

본 절에서 설명한 개선안을 사용하게 되



면, 다음과 같은 사항을 가지게 된다.

- (1) 현재 나와있는 ZigBee NWK에서 제안한 Beacon 스케줄링에서 나타난 문제점들의 해결이 가능하다.
- (2) Tree 구조에서 나타나는 Beacon 충돌의 문제에 대한 해결 방안이 된다.
- (3) 이미 IEEE 802.15.4 표준에 맞춰 기기를 만들었을 때 본 고에서 제시한 개선안으로 이루어진 기기와 Primitive의 차이로 인한 문제로 Superframe 구조의 차이 및 BOP 구간의 인식이 불가하므로 Backward Compatibility가 불가하게 생각되어질 수 있다. 그러나, 본 개선안은 Association을 요청하는 새로운 기기가 요청을 받은 기존 Coordinator로부터 Response를 받은 이후 SIFS 시간 후에 BeaconScheduling을 다시 요청하게 하였으므로, SIFS 시간 이 후 이 요청이 들어오지 않음을 감지하여 본 개선안을 구현하여 이식한 기기와 그렇지 않은 기기를 구별이 가능하게 되며 이로 인해 전체적인 네트워크 구성을 맞추게 되므로 Backward Compatibility가 가능하게 된다.

## V. 맺음말

근거리 저전력 무선 네트워크 (Low Rate Wireless Personal Access Network, LR-WPAN) 기술인 IEEE 802.15.4는 표준화가 완료된 상태이며 이 기술의 응용 기술인 ZigBee에 대한 표준화가 현재 Draft 1.0까지 진행되었다.

이 기술은 무선 홈 네트워킹, 사무실, 공장의 자동 제어, 보안을 위한 네트워킹 등에 관련하여 응용이 될 수 있다. 특히, 무선 센서 네트워크를 구성할 수 있는 기술로서, 향후 유비쿼터스 시대를 대비하는 핵심 기술로 관심을 모으고 있다.

기존의 모든 네트워크가 추구하던 고속 및 대용량 전송과 정반대의 개념으로 시작하여 오히려 고속화 시대에 사는 우리에게 있어서 역행하는 듯한 모습을 보였으나 이는 실생활에 있어 모든 이들이 자신이 필요한 정보만을 언제 어디서든 어떠한 제약도 받지 않고 얻을 수 있다는 개념으로서의 기술로 매우 강력한 기능을 할 수 있다. 어떤 무선기기든지 필요로 하는 배터리의 교체가 현재 나와 있는 무선 네트워크 기기들에 비해 월등하며, 배터리 기술의 발전이 온다면 영구히 기기를 사용할 수도 있게 되는 무한한 가능성을 내포하고 있는 기술이라고 할 수 있다. 또한, 앞서 설명한 바대로 자신이 필요로 하는 정보만을 얻을 수 있으면 되므로 많은 응용 프로그램이 아닌 단일 프로그램으로서의 작동을 목표로 하였기에 기술의 질이 높은 만큼 가격이 비쌌던 기존의 무선 네트워크 기기에 비해 현저하게 낮은 가격을 가질 수 있다는 것이 많은 네트워크 기기에 사용할 수 있는 또 다른 장점으로 부각되는 것이다.

본 고에서는 이러한 IEEE 802.15.4와 Zigbee에 관한 전반적인 기술과 표준화 동향을 살펴보고 현재 IEEE 802.15.4와 Zigbee 프로토콜이 가지고 있는 문제점, 그리고 이를 해결하기 위한 비컨 스케줄링 기법을 고찰해 보았다. 현재 IEEE 802.15.4와 Zigbee 프로토콜이 향후 유비쿼터스 시장에서 커다

란 축이 되기 위해서는 멀티 홉(Multi-Hop) 통신과 이동성(Mobility) 지원이 반드시 필요하기 때문에 이에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] IEEE Std 802.15.4TM-2003, IEEE Standard for Information technology - Telecommunication 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)
- [2] ZigBee Document 02130r10, Network Specification Revision 9, Draft Version 1.0
- [3] ZigBee Document 03244r9, APS Specification Revision 9, Draft Version 0.92
- [4] ZigBee Document 03265r10, ZDO(ZigBee Device Object) Specification Revision 9, Draft Version 0.92
- [5] ZigBee Document 03525r6Z, Application-Framework Specification Revision 9, Draft Version 0.92
- [6] ZigBee Alliance Web Site. <http://www.zigbee.org>
- [7] IEEE 802.15 Working Group for WPAN Web site, <http://grouper.ieee.org/groups/802.15/index.html>

### 저자소개



전 호 인

1981년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사),  
 1984년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학석사),  
 1986년 12월 University of Southern California  
 전자공학과 (공학석사),  
 1990년 12월 The University of Alabama in  
 Huntsville 전기공학 (공학박사),  
 1992년 3월 - 현재 경원대학교 전기정보전자공학부  
 부교수,  
 2001년 1월 - 현재 1394 Forum 의장,  
 2002년 1월 - 현재 대한전자공학회 회로 및 시스템  
 연구회 위원장,  
 2002년 4월 - 현재 ISO/IEC JTC1 SC25 전문위원  
 회 위원,  
 2002년 4월 - 현재 초고속 무선랜 포럼 표준규격분  
 과 위원회 위원장,  
 2002년 5월 - 현재 Home Station 포럼 의장,  
 2003년 8월 - 현재 홈 네트워크 포럼 기기분과위원  
 회 위원장,  
 2003년 9월 - 2003년 12월: 차세대 신성장 동력 지  
 능형 홈 네트워크 인력양성 분과 위원회 위원장,  
 2003년 11월 - 현재 Convener of ISO/IEC JTC1  
 SC6 WG1  
 2005년 3월 - 현재 U-Banking Forum 의장  
 2005년 4월 - 현재 U-City Forum 기술분과위원회  
 위원장  
 주관실 분야 홈 네트워크, 유비쿼터스 네트워크, IEEE  
 802.15.3, Zig-Bee over IEEE 802.15.4, IEEE  
 802.11, UWB, IEEE 1394, Wireless 1394, BcN,  
 USN, U-City