

## 근거리 무선통신기술 표준화 동향 및 u-City 서비스 적용 시 고려 사항

전호인 (경원대학교)

### I. 서론

최근 다양한 첨단 건설 기술 및 정보통신 기술을 적용하여 새로운 개념의 도시를 건설함으로써 입주자로 하여금 안전하고 편리하며 윤택하고 건강한 삶을 제공하는 u-City 건설이 디지털 컨버전스의 핵심으로, 그리고 한국의 차세대 먹거리 산업으로 각광을 받고 있다. 그러나 u-City를 추진하고 있는 지자체의 담당 책임자들이 고려하고 있는 서비스는 아직 u-City 통합 운영 센터를 기반으로 하는 u-공공 서비스에 머물고 있으며, 이 서비스를 제공해 줄 수 있는 기술로 정보통신 인프라 기술의 구축에 머물고 있는 실정이다.

u-City 건설의 핵심 이슈는 어떤 사람이 다른 u-City에 방문하더라도 같은 유비쿼터스 통합 단말기를 휴대하면 마치 자신이 거주하는 u-City의 서비스를 그대로 향유할 수 있도록 부가 서비스가 개발되어야 한다. 이를 u-City 간 상호운용성 (Interoperability between u-Cities)이라 부른다. 서비스 간 상호운용성은 각 지자체의 u-City 담당자의 의지에 의해 구현 가능하지만 u-City 간 상호운용성은 정부가 관여하여 여러 다른 지

자체에게 표준화된 방안을 제시해 주지 않고서는 보장되지 않는다. 이러한 상호운용성을 지원해줄 수 있는 최선의 방법은 u-City 서비스 구현 기술의 표준화이다.

u-City 기술의 표준화를 위해서는 우선 거주자가 만족할 것으로 기대되는 u-City 핵심 서비스들을 발굴하고 이들을 구현할 수 있는 공통적인 구현 기술 부분을 먼저 찾아내어 무엇을 표준화하여야 서비스 간 상호운용성은 물론 u-City 간 상호운용성을 지원할 수 있는 방안이 지원되는지를 파악해야 한다.

이러한 u-City 사용자 서비스는 USN망, 즉 근거리 무선 통신 기술을 통해서 가능할 것이며, 다양한 상황과 데이터를 사용자에게 편리하게 전달하기 위한 USN망을 이용한 응용 서비스의 정리는 유비쿼터스 환경을 만들기 위한 큰 그림으로서의 역할을 할 것이다.

본 고에서는 이와 같이 u-City에 적용할 수 있는 근거리 무선 통신 기술을 파악하기 위해 IEEE 802.15에서 표준화하고 있는 기술에 대해 설명하였다. 먼저 IEEE 802.15.1 Bluetooth 기술, IEEE 802.15.2 기술, 오디오/비디오를 위한 IEEE 802.15.3 High Rate WPAN, IEEE 802.15.3a

High Rate UWB 기술에 대해 소개하였으며 IEEE 802.15 MAC의 상위 계층에서 동작하는 ZigBee 기술과 IP-USN 기술에 대해 소개한다. 그리고 ISO/IEC JTC1에서 표준화가 진행되고 있는 ISO/IEC 29145 WiBEEEM 기술, ISO/IEC 25771 KOINONIA 기술, 그리고 ISO/IEC 29157 기술에 대해 소개하며 각 기술이 가지고 있는 특성에 대해서도 알아보도록 하겠다.

## II. IEEE 802.15 WPAN 기술

IEEE 802.15 WPAN(Wireless Personal Area Network) Working Group은 1998년 1월에 그 발족을 위한 초안 작업을 시작하여 1999년 PAR(Project Authorization Request)와 5C(Five Criteria)가 승인됨으로써 활동을 시작한 근거리 무선 통신 기술의 표준화 작업반이다. 설립 당시에 제시되었던 응용 분야를 살펴 보면, 협업을 통한 유지 보수 기능, 보행자, 의료 센싱, 그리고 데이터의 동기화 등이 논의되었고, 무선통신기술로 연결될 기기의 예로는 컴퓨터, PDA 혹은 HPC(Handheld PC), 프린터, 마이크, 스피커, 바코드 리더, 센서, 디스플레이, 호출기, 그리고 이동통신 단말기 등을 제시하였다. 그리고 이와 같은 네트워킹 기능은 위의 기기의 가격에 비해 매우 작은 비용으로 구현이 가능하게 하는 것이 목적이었다.

그리고 IEEE 802.11 WLAN 규격과 같이 단 하나만의 MAC(Medium Access Control)을 허용하면서 이 MAC은 아키텍처와 관리, 그리고 인터워킹에 대한 IEEE 802 요구사항과 상호호환성을 제공하여야 하며 2.4 GHz에서 동작하는 WPAN은 IEEE 802.11과 공존할 수 있는 시스템을 제공

할 수 있어야 하는 것을 5C의 가장 중요한 부분으로 하여 출범하였다. 그러나 Bluetooth를 IEEE 802.15.1 규격으로 정하면서 2.4 GHz대에서의 IEEE 802.11 기기와의 공존은 처음부터 불가능한 것이 되었으며 IEEE 802.15.3 MAC은 Bluetooth와는 전혀 다른 구조를 표준화하였고 그 이후에 표준화한 IEEE 802.15.4 MAC은 앞의 두 개의 프로토콜과도 전혀 다른 WPAN 표준을 제정하였다. 심지어 QoS 제공을 위한 IEEE 802.15.4e Low Rate WPAN 기술은 이와는 또 다른 MAC을 표준화한 것으로 1999년에 발족 당시의 5C 및 이와 관련된 근본적인 동작 철학은 유지되지 못하게 되었으며 이로 인한 상호운용성 및 WPAN 기기 간의 간섭 문제 등은 향후 심각한 동작상의 오류를 야기할 수 있는 소지가 있는 것으로 분석된다.

본 고에서는 IEEE 802.15 Working Group에서 표준화가 완료되었거나 진행 중인 기술과 응용 분야에 대해 소개하고 각각의 기술의 장단점 및 각 표준의 한계점 등을 설명한다.

### 1. IEEE 802.15.1 (Bluetooth 기술)

IEEE 802.15.1 기술은 Bluetooth SIG (Special Interest Group)에서 표준화한 Bluetooth 기술을 그대로 IEEE 802.15 Working Group에서 수용한 근거리 무선 통신 기술이다.

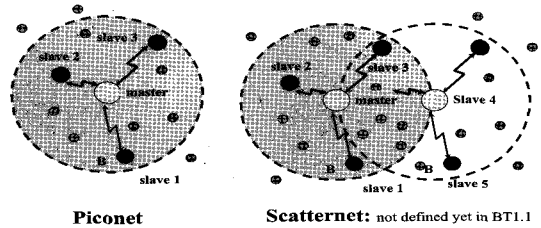
블루투스스는 10세기경 덴마크와 노르웨이를 통일한 덴마크 왕의 이름에서 유래한 것으로, 2.4 GHz의 비인가 ISM (Unlicensed Industrial Science Medical) 주파수 대역을 사용해서, 10m 이내의 개인 거리 내에서 다양한 기기 간에 통신을 할 수 있도록 하는 저전력(RF 전력 : 1mW 100mW), 저가(\$5 정도)의 무선 통신 시스템이

다. 원래는 복잡한 유선 케이블을 무선으로 대체할 목적으로 시작되었지만, 늘어나는 개인 휴대용 디지털 기기들, 개인 이동 통신 기기들, 컴퓨터들, 가전 기기들 간의 멀티미디어 데이터 송수신을 무선으로 할 수 있도록 하는 기술로 진화 중이다.

초기에는 Ericsson, Nokia, IBM, Intel, Toshiba 등의 5개사가 Promoter사로 주축이 되어 Bluetooth SIG(Special Interest Group)를 결성하였으며, 이 후, 마이크로소프트, 3Com, Lucent Technologies, 모토로라의 4개사가 프로모터사로 추가되었으며, 블루투스 사양의 제정, 보완 및 상호 접속성 인증을 주도하였다.

1999년 6월에는 처음으로 Bluetooth Specification version 1.0을 발표하였으며, 1999년 12월에는 업그레이드된 Bluetooth Specification version 1.0B를 발표하였다. 2000년 11월에는 Bluetooth Specification version 1.1을 발표하였으며, 2004년 11월에는 version 2.0+EDR(Enhanced Data Rate)규격 발표, 데이터 전송 속도가 최대 3Mbps까지 가능한 표준을 발표하였다.

Bluetooth 기술은 2.4 GHz의 주파수 대역에서 1MHz 대역폭의 채널 79개를 1초에 1600번 빠르게 바꾸어가며 송수신하는 주파수 도약(Frequency Hopping) 방법을 사용한다. 디지털 데이터를 송신하기 위해서는 아날로그로 변조해 주어야 하는데, 이를 위한 신호 변조 방법으로는 GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)를 사용하며, 슬롯화된 TDD(Time Division Duplex) 방식으로 데이터를 송/수신한다. 한 슬롯을 점유하는 시간은  $625\mu\text{sec}$ 이며, Bluetooth의 Clock Rate은 약 1 Mbps이지만 최대 유효 데이터 전송률은 ACL(Asynchronous Connectionless) 모드일 경우 723.2 Kbps까지



〈그림 1〉 Piconet과 Scatternet의 개념적인 의미 및 이들 사이의 관계

전송할 수 있다.

<그림 1>에 보인 바와 같이 Master기기와 Slave기기로 구성되는 작은 네트워크인 Piconet에서 하나의 Piconet은 Active Member Address로 3 bit를 사용하기 때문에 1개의 Master와 7개까지의 활성(Active) Slave 기기를 지원하며, 전력 절약 모드인 Park 모드를 이용하면 255개까지의 Slave 기기를 제어할 수 있다. Master와 Slave 기기 간의 간단한 1:1 통신은 물론 Master와 여러 개의 Slave 기기 간의 1:N 통신도 지원한다. 여러 개의 Piconet이 있을 경우 Piconet간의 데이터 송수신을 위해서 Scatternet을 구성할 수 있지만 Bluetooth 규격 1.1까지는 단일의 Piconet 규격만 정의되어 있고 규격 1.2에는 Scatternet 규격이 정의되어 있지만 아직 구현되어 상용화되고 있지는 않다.

최근에 나온 블루투스 규격 v2.0+EDR(Enhanced Data Rate)은 블루투스 규격 v1.2에 RF 규격을 추가하여 데이터 전송속도를 2~3Mbps까지 향상시키고 Duty Cycle을 감소시켜 전력소모를 줄이고 배터리 사용 시간을 증가시켰다. 블루투스 SIG는 블루투스와 UWB 기술의 장점을 결합시킴으로써 UWB의 고속 데이터 전송의 장점을 얻고 UWB는 블루투스의 기술적 완성도, 가치 있는 브랜드, 인증 프로그램 등을 이용하는 것으로 2008년에 시연을 보안 바가 있다.

최근 블루투스 제품에 실장되는 프로파일의 동향은 블루투스 지원 휴대폰이 중심이 되고 있다. 현재 GSM 방식의 휴대폰에는 거의 모든 기종에 블루투스 기능이 실장되어 있으며, 휴대폰에 카메라와 MP3P 기능이 추가되면서 휴대폰에 저장된 사진을 BPP를 이용하여 프린트하고 A/V 관련 프로파일을 이용하여 스테레오 헤드셋으로 전송할 수 있는 서비스가 가능해 지는 것이다. 앞으로 추가로 실장 될 프로파일은 PBAP(Phone Book Access Profile), SAP(SIM Access Profile) 등이 있다.

## 2. IEEE 802.15.2 (Bluetooth와 WLAN 기기와의 공존 기술)

IEEE 802.15.2 Task Group은 2.4 GHz 대에서 802.11b WLAN 기기와 802.15.1 Bluetooth 기기를 동시에 사용, 공존, 상호 간섭 해소 등을 위해 만들어진 그룹이다. 사용을 권고하는 기술은 AFH (Adaptive Frequency Hopping) 방식으로 Bluetooth 기기도 주변의 기기 존재 여부를 파악하여 주변의 기기가 사용하는 주파수 대역을 피해 남은 주파수 대역에서 Frequency Hopping을 권고하는 방식이다. Collaborative 방식과 Non-Collaborative 방식이 있는데 Collaborative 방식을 이용하려면 Bluetooth 기기가 AFH 기능을 갖추려면 추가의 Transceiver를 가져야만 가능하므로 결국 칩의 단가를 높이는 결과를 초래한다.

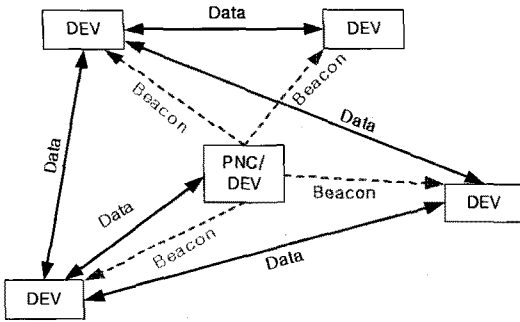
이 표준은 단순한 권고 사항이므로 구속력이 없는 것이 문제이며 현재 IEEE 802.15.2- 2003이 현재 표준화 되어 있다.

## 3. IEEE 802.15.3 (High Rate WPAN 기술)

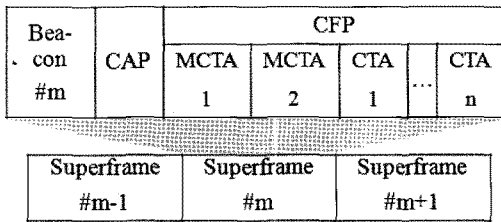
블루투스 기술은 최대 723.2 Kbps의 통신 속도 상의 한계와 최대 8개만이 통신에 참여할 수 있는 한계점으로 인하여 가정에서 오디오 및 비디오 기기의 고속 동영상 데이터 전송에 대한 요구를 만족시켜주지는 못하는 기술이다. 비디오 데이터 전송을 위한 WPAN 기술에 대한 요구를 충족시켜주기 위해 발족된 IEEE 802.15.3 표준은 낮은 전력을 소모하는 저가의 칩으로 Security와 QoS는 물론 최대 55 Mbps의 데이터 전송 속도를 지원함으로써 이동용 무선 영상 시스템과 멀티미디어 시스템에의 적용을 고려한 기술이다.

WLAN에서 사용하는 AP(Access Point) 기반의 인프라스트럭처 모드와는 달리 WPAN에서 DEV(Device)들의 연결은 저가이면서 전력 낭비가 심하지 않은 소형 디바이스를 구현할 수 있는 방법을 제안하였다. IEEE 802.15.3의 피코넷은 다수의 독립적인 DEV들이 서로 간에 무선으로 통신 가능한 Peer-to-Peer의 Ad hoc 무선 데이터 통신 시스템을 가능하게 한다. 피코넷에서의 통신은 고정되었거나 아니면, 이동 가능한 기기로 반경이 일반적으로 10m 정도인 좁은 영역 내에서 통신을 한다.

<그림 2>에 보이는 바과 같이, IEEE 802.15.3 피코넷은 DEV와 피코넷을 구성하기 위해 PNC(Piconet Coordinator) 역할을 하는 DEV가 반드시 있어야 한다. PNC는 비컨을 사용하여 그 피코넷의 타이밍 동기 및 피코넷의 동작에 필요한 여러 정보 요소들을 제공한다. 또한 PNC는 피코넷을 구성하는 DEV들의 채널 타임 관리, 채널 접근 제어, 전력 관리 등을 담당한다.



〈그림 2〉 IEEE 802.15.3 피코넷 아키텍처



〈그림 3〉 IEEE 802.15.3의 Superframe 구조

802.15.3 피코넷은 Ad Hoc 네트워크에서처럼, 어떤 DEV가 통신을 하려고 할 때, 기존에 있던 피코넷에 가입하거나 피코넷이 없는 경우 자신이 PNC가 되어서 피코넷을 구성하고, 피코넷의 DEV들이 더 이상 통신하지 않는 경우 피코넷을 제거한다.

IEEE 802.15.3 표준에서는 DEV의 요구에 따라 종속적인 피코넷을 구성하여 Mesh Network 기능을 수행할 수도 있다. 종속적인 피코넷을 만든 원래의 피코넷을 부모(Parent) 피코넷이라고 한다. 부모 피코넷에 있는 PNC와의 연관(Association)된 방식에 따라 종속적인 피코넷을 자식(Child) 또는 이웃(Neighbor) 피코넷이라고 한다. 부모 PNC의 채널 타임 할당 방식에 따라 종속적인 피코넷의 동작을 결정할 수 있으며, 독립적인 피코넷은 어떠한 종속적인 피코넷들도

가지지 않는다.

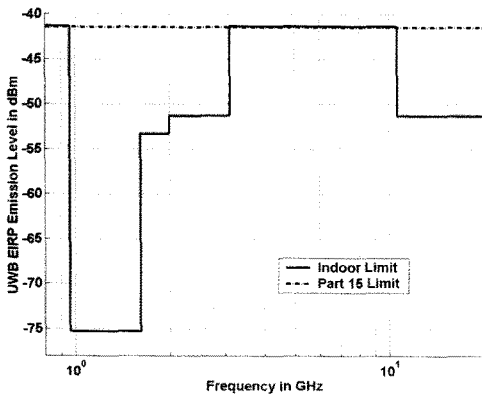
IEEE 802.15.3 기술은 QoS를 지원할 뿐만 아니라 WPAN 솔루션 이면서도 최대 70m의 전송을 지원한다.

IEEE 802.15.3 기술은 <그림 3>에 보인 바와 같이 CAP(Contention Access Period) 구간 다음에 CFP(Contention Free Period) 구간을 두고 이 구간을 이용하여 실시간 데이터를 전송하려는 기기는 반드시 Coordinator로부터 사전에 자원 사용에 대한 예약을 요청하고 이 결과를 승인 받음으로써 QoS가 지원되는 방식을 채택하였다. 따라서 QoS 데이터를 전송하려는 모든 기기는 Coordinator의 RF 영역 안에 반드시 존재하여야 하며 따라서 Mesh Network 구조를 갖는 Multi-Hop 통신을 필요로 하는 경우 Hop 수가 많아지면 통신이 불가능해지는 단점이 있다.

#### 4. IEEE 802.15.3a (High Rate UWB 기술)

IEEE 802.15.3a High Rate UWB 기술은 IEEE 802.15.3 규격에서 정의한 MAC 기술을 그대로 사용하면서 3.1 GHz부터 10.6 GHz까지의 광대역 중에서 WLAN이 사용하는 5 GHz대역(5.150 - 5.825 GHz)을 제외한 나머지 대역을 사용하여 최대 400 Mbps의 데이터 통신을 가능하게 하는 시스템에 대한 규격이다. 2 nsec보다 짧은 펄스폭을 이용하여 통신하므로 오디오와 비디오 기기의 QoS를 요구하는 실시간 데이터 전송을 위해 최적의 솔루션이며 짧은 펄스를 이용하므로 Target 기기의 Ranging 및 Positioning에도 적용 가능한 기술이다.

UWB 기술이 사용하는 주파수 대역은 기존의 방송 중계기와 위성 통신 등 기존의 역무에서 사



〈그림 4〉 UWB 대역에서의 Spectrum Mask

용하는 주파수와 중복이 되기 때문에 이 기기와 의 간섭을 방지하기 위해 전자파 송출 시 <그림 4>에 보인 바와 같이 -41.5 dbm/MHz로 아주 낮은 Spectrum Mask 규정을 준수하여야 한다. 이러한 이유로 UWB 기기의 최대 전송 거리는 LOS(Line of Sight)의 경우 10m를 넘어가지 못하며 중간에 나무 혹은 시멘트와 같은 장애물이 있으면 통신이 되지 않는다.

IEEE 802.15.3a High Rate UWB 표준은 DS-CDMA 기술을 기반으로 UWB 기술을 구현하는 하는 Motorola 사 솔루션과 OFDM 기술을 기반으로 UWB를 구현하는 Intel, Sony, Philips 등을 중심으로 하는 OMBA 진영이 어느 누구도 IEEE-SA 규정인 75%의 찬성표를 획득하지 못하고 팽팽하게 맞서다가 3년이 지난 2007년 1월 하와이 회의에서 최종적으로 Disband되었다. DS-CDMA 기술을 기반으로 하는 Motorola 진영은 UWB Forum을 만들어 개별적인 표준을 진행하였고 OFDM 기술을 기반으로 하는 Intel 진영은 WiMedia Alliance를 만들어 사실상 표준을 준비하고 있다. 특히 WiMedia Alliance에서 최종적으로 표준화한 OFDM 기반의 UWB 기술은

ISO/IEC JTC1 SC6에서 ISO 표준 Stamp를 획득 하였지만 WiMedia Alliance도 최근에 이 표준은 포기한 것으로 알려지고 있다.

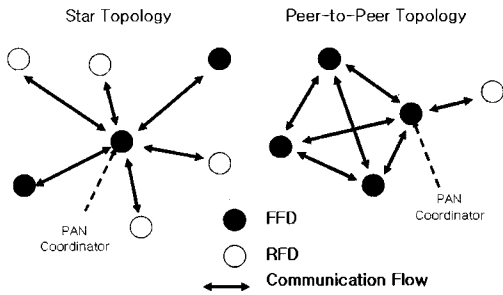
## 5. IEEE 802.15.3b (IEEE 802.15.3 High Rate WPAN MAC의 보완 규격)

IEEE 802.15.3b 기술은 IEEE 802.15.3 High Rate WPAN의 MAC 규격을 보완 및 유지하는 규격으로 2004년 발족되어 2007년에 활동이 완료된 규격이다. 기술적으로 특별히 달라진 부분은 거의 없으며 주로 구현 시 발생하는 문제를 최소화하였으며 기기 간 상호 운용성을 지원할 수 있는 방안으로 기존의 규격을 향상시켰다.

## 6. IEEE 802.15.4 (Low Rate WPAN 기술)

IEEE 802.15.4 기술은 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)의 구현에 가장 많은 관심을 모으고 있는 무선 네트워크 프로토콜로서 PHY와 MAC을 정의하고 있다. PHY 계층과 MAC 계층의 표준을 다루는 IEEE 802.15.4 표준화 작업은 2004년 완료되었고, 현재 응용 서비스를 위한 시스템 개발에 필요한 상위 계층에 대한 표준화 작업이 ZigBee Alliance에서 진행 중이다.

IEEE 802.15.4의 통신 모드는 마스터-슬레이브 방식을 기본으로 하고 있다. Peer-to-Peer 통신 네트워킹이 가능하고, 네트워크 안에서 하나의 기기를 코디네이터로 명하여 송·수신의 기능이 필요한 경우에만 Sleep 모드에 있는 노드들을 활동 상태로 변경하는 방식을 채택함으로써 전력 소모를 극소화하였다. 또한, 특정 노드가 Mesh 모드의 네트워크 상의 다른 모든 노드들을 인식하지 못할 때 네트워크를 스스로 구성할 수 있도록



<그림 5> 네트워크 토폴로지

요구할 수 있다. 인접한 네트워크 및 시스템과의 간섭에 Robust한 기능을 수행할 수 있도록 2.4GHz 대역에서 O-QPSK 변조 방식을 채택하였으며, 기본 프로토콜은 IEEE 802.15.4에서 정의된 표준에 따른다. 다른 IEEE 802.11 및 IEEE 802.15.3 기반 무선 네트워크에서와 마찬가지로 채널 할당에 CSMA/CA 방식을 사용하고, 실시간 데이터 전송을 지원하기 위해서 선택적으로 GTS 할당 방식을 적용할 수 있다.

<그림 5>는 IEEE 802.15.4 기술이 만들어 낼 수 있는 기본적인 네트워크 플로지의 모습을 보이고 있다. 디바이스 타입으로는 FFD (Full Function Device)와 RFD(Reduced Function Device)가 있는데, FFD는 FFD 또는 RFD 모두와 통신할 수 있으며 PAN Coordinator, Coordinator, Device 세 가지 타입이 가능한 반면, RFD의 경우에는 FFD에 한하여 통신할 수 있고 End Device 타입만이 될 수 있다. RFD는 최소의 리소스와 메모리 용량을 갖기 때문에 Light Switch나 Passive Infrared Sensor로 사용하기에 적합하다.

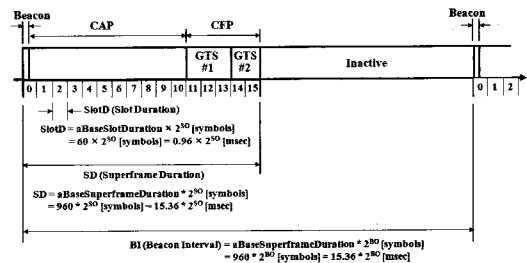
<그림 6>에 보인 바와 IEEE 802.15.4의 Superframe 구조와 같이 Channel Access 방식으로 Unslotted CSMA/CA 방식과 Slotted

CSMA/CA을 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 사용되며 데이터를 전송하기 전에 Backoff Slot을 기반으로 하여 Random Number동안 기다리며, 채널이 Busy 상태일 때, Device는 Backoff Slot의 다른 Random Number동안 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.

보안 서비스는 ACL(Access Control List), Data Encryption, Frame Integrity를 사용하여 지원하며 Security Mode로는 Unsecured Mode와 ACL Mode, 그리고 Secured Mode를 지원한다.

IEEE 802.15.4 기술은 250 Kbps, 40 Kbps, 그리고 20 Kbps의 전송 속도 지원(Over-the-Air



<그림 6> IEEE 802.15.4의 Superframe 구조

Data Rates), 성형 또는 점 대 점 동작 지원(Star or Peer-to-Peer Operation), 16비트 또는 64비트 주소 할당, GTS(Guaranteed Time Slots)의 할당, CSMA/CA를 이용한 채널 접속, 전송 신뢰성 보장을 위한 ACK 프로토콜 지원, 저 전력 소모(Low Power Consumption), 에너지 검출(Energy detection) 기능, 수신된 패킷의 특성을 나타내기 위한 LQI (Link Quality Indication) 사용, 2450 MHz 대역에서 16개 채널, 915MHz 대역에서 10개 채널, 그리고 868MHz 대역에서 1개의 채널 사용 가능하다는 특징을 가지고 있다.

### 7. IEEE 802.15.4a (Low Rate UWB 기술)

미국의 FCC(연방통신협회)는 UWB를 중심주파수의 20% 이상 점유대역폭을 가지거나 500MHz 이상의 점유대역폭을 차지하는 무선전송기술로 정의한 바 있다. 따라서 대역폭만 500MHz 이상 확보한 기존 캐리어 변조 기술도 UWB 기술로 구분이 가능해진다. 일반적으로는 3.1~10.6GHz 대역에서 100Mbps 이상속도로, 기존의 스펙트럼에 비해 매우 넓은 대역에 걸쳐 낮은 전력으로 초고속통신을 실현하는 근거리 무선통신기술로 규정된다. UWB의 가장 큰 특징은 초광대역을 활용하면서 동시에 출력이 상대적으로 낮다는 점이다.

<그림 4>에 보인 바와 같이 다른 시스템과 함께 비교해보면, UWB 시스템의 경우, 기존 협대역 시스템이나 광대역 CDMA 시스템에 비해 매우 넓은 주파수대역에 걸쳐 상대적으로 낮은 스펙트럼 전력밀도를 바탕으로 구성됨을 확인할 수 있다. 다른 통신시스템에 간섭을 방지하기 위해 신호에너지를 여러 GHz 대역폭에 걸쳐 스펙트럼으로 분산, 송신함으로써 다른 협대역 신호

에 간섭을 주지 않고 주파수에 크게 구애받지 않으며 통신을 할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 속성은 주파수를 공유 사용할 수 있으면서 동시에 매우 적은 전력만을 필요로 한다.

## III. IEEE 802.15 표준 위의 상위 계층을 규격화한 근거리 무선통신 기술

IEEE 802 Working Group은 1 계층인 PHY 기술과 2 계층 중 하위 부 계층인 MAC 계층에 대한 규격만을 표준화한다. 2 계층 이상의 계층에 대한 표준은 IETF(Internet Engineering Task Force)나 ZigBee Alliance에서 표준화를 추진한다. IEEE 802.15.4 기술 위에 Network Management, Message Broker, Routing Management 등을 정의하는 NWK 계층 및 APP 계층과 Security를 정의한 표준이 ZigBee 기술이며, IETF의 6LoWPAN Working Group에서 제정한 기술로 IPv6 Packet Data를 압축하여 IEEE 802.15.4 MAC으로 전송하며 어드레싱과 라우팅을 정의한 규격이 IP-USN 기술이다. 한편 IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Task Group은 IEEE 802.15.4 MAC 위에 자체의 Addressing과 Routing을 정의한 Recommended Practice이다.

본 장에서는 이와 같이 IEEE 802.15 규격을 기반으로 동작하는 근거리 무선통신기술들에 대해 소개하였다.

### 1. ZigBee 기술

ZigBee Protocol은 IEEE 802.15.4 WPAN의 MAC 위에 올라가는 네트워크 계층과 응용 계층(Application Sublayer), 그리고 정보 보호 기술



에 대한 표준이다. ZigBee 프로토콜을 제정하는 ZigBee Alliance는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 그 상위 계층의 표준을 제정하기 위해 발생한 사실상 표준화 그룹으로서 수개월로부터 수년까지의 배터리 수명을 갖는 낮은 데이터 전송률의 솔루션 개발을 하고 있다. Bluetooth와 비교해 볼 때 ZigBee는 보다 싼 가격과 낮은 데이터 전송률, 그리고 이를 활용한 저 전력 소모의 특징을 지니고 있으며, 성형은 물론 Mesh 등과 같은 다수의 토폴로지를 갖는 네트워크에도 적용이 가능하다.

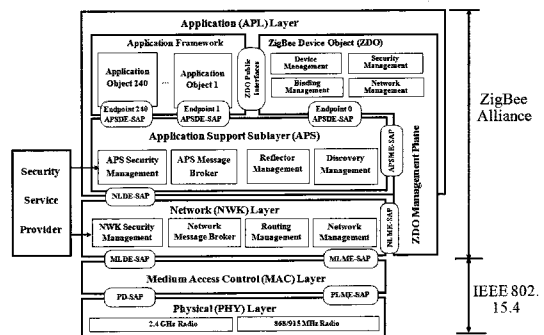
ZigBee의 표준을 정의하기 위하여 세계의 여러 업체가 멤버로서 참여하고 있으며, 몇 개의 업체들이 현재 ZigBee 표준에 부합한 시제품을 내놓고 있다. IEEE 802.15.4에서는 MAC과 PHY에 대한 표준화에 대한 역할을 담당하고 있고 현재 표준화가 완료된 상태이며, ZigBee Alliance의 경우 보안(Security), 네트워크 계층, 응용 계층(Application Sublayer), 마케팅 그리고 세부 프로파일에 대한 표준화 작업이 진행되고 있다. 또한, 구체적인 상호 연동 테스트를 위한 목적으로 체크 리스트 작업과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

ZigBee Alliance의 Architecture Framework Working Group에서는 ZigBee 시스템의 응용 계층에서 사용될 프로파일에 대한 세부 정의를 주목적으로 진행되는 작업 그룹이다. 프로파일의 기본 골격이 될 General Operational Framework 작업을 하였고, 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 작업을 하였다. 한편 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 표준을 진행하였다.

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 7>은 ZigBee의 프로토콜 스택 구조를 나타낸 것이다.

IEEE 802.15.4 PHY와 MAC 상위 계층 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 바



<그림 7> ZigBee 프로토콜 스택의 구조

인딩하는 Object나 Object Attributes의 근원지를 나타내는 Source Address, 소스의 Endpoint를 나타내는 Source Endpoint.Interface 그리고 Profile Object를 구성하는 ObjectAttributeID, 바인딩하는 Object 또는 Object Attributes의 목적지를 나타내는 Destination Address, 목적지의 Endpoint를 나타내는 Destination Endpoint.Interface로 구성된다.

한편 ZDO는 응용 지원 부 계층(Application Support Sublayer)으로 기기를 초기화하는 기능과 디바이스와 서비스 디스커버리를 지원하는 기능을 갖는 디바이스 관리 기능과 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 Topology에서는 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.

ZigBee 프로토콜의 주소 할당 방법은 HBA(Hierarchical Block Addressing)방식을 사용하였다. HBA 방식은 최대 차일드의 수인  $C_m$ 과 이메쉬 네트워크가 가질 수 있는 최대 깊이, 그리고 PNC나 코디네이터가 Association을 허용하는 최대 코디네이터의 수인  $R_m$  파라미터를 이용한

다.  $C_m$ ,  $L_m$ ,  $R_m$ 을 결정하므로 PNC가 형성한 WPAN의 확장을 제한할 수 있는 것이다. 이 값들은 NWK계층의 MIB에 설정되는 값으로 동일한 WPAN의 PNC와 코디네이터는 같은 값으로 설정되어야 한다.

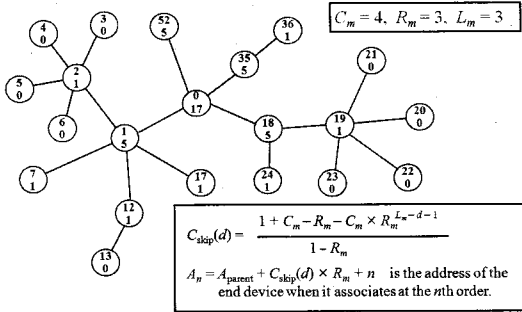
코디네이터로부터 Address Block을 할당하는 방법은 Network 상의 Parent로부터 얻은  $C_m$ ,  $L_m$ ,  $R_m$ , 그리고 Network상의 Depth인  $d$ 값을 사용해 자신의 부모로부터 받은 자신의 어드레스 Block 중에서 자신의 Child 코디네이터에게 나눠줄 수 있는 어드레스 Sub-block의 크기를 나타내는  $C_{skip}(d)$ 의 값을 다음의 공식을 적용해서 얻을 수 있다.

$$C_{skip}(d) = \frac{1 + C_m - R_m - C_m \times R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m} \quad (1)$$

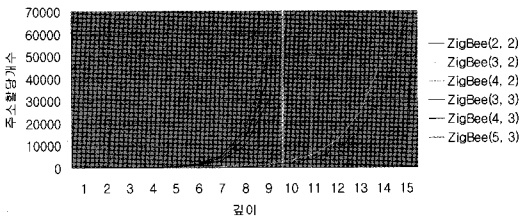
만약 자신의  $C_{skip}(d)$ 의 값이 0 이라면 코디네이터로 Association을 했지만 자신이 할당할 어드레스 Block이 0이므로 자신의 Child에게 Short Address를 할당 할 수 없게 따라서 PNC의 의도에 의한 것처럼 더 이상 WPAN의 확장은 불가능해지는 것이다. 또한 자신의 End Device에게도 Short Address를 할당해야 하는데 End Device의 경우 어드레스 Block이 아닌 자신이 사용할 한 개의 어드레스만을 할당받게 된다. 다음의 공식에 의해  $n$ 번째로 Association되는 End Device에게 할당할 Short Address를 구할 수 있다.

$$A_n = A_{parent} + C_{skip}(d) \cdot R_m + n \quad (2)$$

여기서  $A_n$ 은 End device 중  $n$ 번째로 Association하는 기기의 어드레스이고  $A_{parent}$ 는 Association을 하려는 기기의 Parent의 어드



〈그림 8〉 HBA 방식에 의한 ZigBee 기기의 주소 할당의 한 예



〈그림 9〉 HBA 기반의 ZigBee 주소 할당 방식의 주소 낭비 상황

래스이며  $C_{\text{skip}}(d)$  값은 Association을 하려는 기기의 Parent의  $C_{\text{skip}}(d)$  값이다. 이 방법을 이용하여 PNC의 정책에 의해 형성된 WPAN의 모든 디바이스에게 어드레스를 할당할 수 있다. <그림 8>은 HBA 방식에 의한 ZigBee 기기의 주소 할당의 한 예를 보여주는 것이다.

이와 같은 HBA 방식의 주소 할당 방식은 ZigBee 프로토콜에게 몇 가지 한계점을 갖게 한다. 즉 16 bit의 주소 공간을 매우 빨리 소모해 버린다는 것이다. <그림 9>에 보인 바와 같이 가장 단순한 Binary Tree 구조를 갖는 Mesh Network의 경우 최대 Hop 수는 15를 넘어가지 못한다. 한 Hop의 길이가 20m라고 가정하면 300m 이상의 거리에 있는 센서 정보를 수집하는 것은 불가능하다는 것이다. 최대 차일드의 수가 5가 되면 최

대 Hop의 수는 9로 작아지는 것을 알 수 있다.

HBA 기반 ZigBee Addressing의 또 다른 문제는 네트워크의 확장성은 물론 기기의 이동성에도 영향을 받는다는 것이다. 이는 Tree Routing을 위해 전체 Network의 깊이를 제한하였다는 사실 이외에도 최대 차일드 기기의 수를 제한하였으므로 5번 기기가 자리를 이동하여 4번 기기 근처로 이동하면 4번 기기는 더 이상 주소를 할당할 수 있는 주소가 남아 있지 않기 때문에 네트워크에서 고립되며 따라서 기기의 이동성이 지원되지 않는다.

이와 같은 주소의 낭비 문제를 해결하기 위해 2007년에 공표한 ZigBee-Pro 기술에서는 Stochastic Addressing 방식을 채택하기로 결정하였다. 즉 새로 네트워크에 참여하는 기기는 16 bit 주소 체계 중에서 난수를 발생시켜 이 주소를 자신의 주소로 할당한 후 ZC로부터 Grant를 받는 방식이다. 이 주소 할당 방식의 또 다른 문제는 새로운 주소를 할당받는 시간이 많이 걸려 고속의 이동성을 요구하는 경우 적용이 어렵다는 것이다. 또 다른 문제는 작은 네트워크일 경우 난수의 발생으로 따는 주소 충돌의 문제가 적겠지만 노드의 수가 많아지면 충돌이 확률이 점점 커지게 되며 따라서 주소 할당 시간도 더 커지게 되는 문제를 안고 있다.

이러한 문제들로 인하여 ZigBee 프로토콜은 대형의 센서 네트워크를 중심으로 이동하는 사용자가 많은 경우 적용에 한계가 있는 기술이다.

## 2. IP-USN 기술

IP-USN 기술은 각 센서노드에 IP 주소를 부여함으로써 독립적이고 폐쇄적이던 센서 네트워크 망을 기존의 BcN, 3G, 4G, PLC 등과 같은 다양

한 미디어와 통합시키는 기술이다. IP-USN 기술은 기존 IP 인프라를 기반으로 센서 네트워크에 광범위한 확장성을 제공함으로써 다양한 서비스 제공을 가능하게 해준다.

IP-USN을 지원하기 위해 표준화단체인 IETF의 6LoWPAN WG이 지난 2005년부터 관련 표준화를 추진하고 있으며 최근에는 ZigBee Alliance에서도 센서노드에 IP를 적용하는 기술을 추진 중에 있다. IETF에 올라가는 기술기고문 11개 중 7개가 대한민국에서 만든 것이며 특허를 가진 전 세계 40여 개 업체 중 27개가 우리나라 기업일 정도로 비교적 우위에 있다고 할 수 있다. 6LoWPAN 같은 IP 기반의 망을 지원하기 위한 프로토콜을 적용하기 앞서 대규모 상황에서의 안정성 테스트 등이 선행되어야 한다.

IP-USN 기술의 핵심은 6LoWPAN WG에서 제안한 6LoWPAN 기술이다. 6LoWPAN WG은 2005년에 신설되었다. 이 그룹은 국제 표준화 기구 중 대표적으로 IP 기반의 센서 네트워크에 대한 표준 기술을 다루고 있는 그룹이다. 이 그룹은 3 계층에 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 센서 네트워크에 IPv6를 지원하기 위한 이슈를 다루는 그룹으로서 저 전력, 저속의 데이터 전송률, 900~2400MHz의 주파수 대역에서 최소형 메모리와 최소형 프로세서만을 장착한 센서 응용을 대상으로 하고 있다.

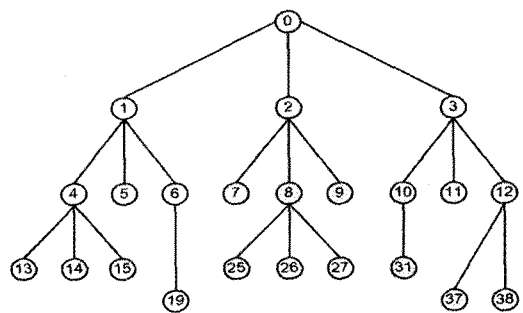
6LoWPAN 워킹그룹은 LoWPAN 상에서 IPv6 패킷 전송 방안을 정의하는 것을 목표로 하고 있다. 좀 더 구체적으로는, 어떻게 하면 데이터 전송속도가 느린 IEEE 802.15.4 기술을 통해 헤더 사이즈가 큰 IPv6 패킷을 효율적이고 안전하게 전달하고, 또 전달하고자 하는 장치들을 어떻게 검색할 것인지에 대한 내용을 연구하는 것이다. 또한 IEEE 802.15.4 기술이 사용하는 MAC 주소

(16비트 또는 64비트 확장형 주소)를 이용하여 IPv6 자동 주소설정 기능을 어떻게 수행할 것인가에 대한 내용도 포함된다. RFC 4919 “IPv6 over Low- Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problems Statement, and Goals” 및 RFC 4944 “Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks” 문서를 참고하기 바란다.

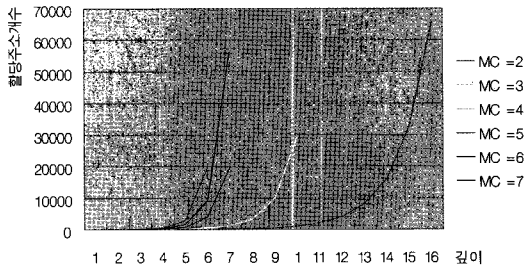
IP-USN 기술의 주소 할당 방식은 <그림 10>에 보인 바와 같이 ZigBee와 유사하게 Tree Routing을 지원하기 위해 깊이에 따라 계층적으로 주소를 할당하는 방식이다. 이를 위해서는 반드시 하나의 Router가 가질 수 있는 최대 Child 노드의 수를 결정해야 한다. <그림 10>에서는 MC를 3으로 결정하고 주소를 할당한 그림이다. 주소의 할당은 다음의 식에 따라 결정한다.

$$C = MC \times AP + N + 1 \quad (3)$$

여기서 C는 새로운 노드가 가질 주소이며 MC는 Maximum Number of Children이고 AP는 부모 노드의 주소이며 N은 현재의 부모 노드가 가지는 자식 노드의 수이다.



<그림 10> MC=3인 경우의 IP-USN의 주소 할당 방식



〈그림 11〉 IP-USN의 Binary Tree 구조에서의 주소 사용 상황

이와 같은 주소 체계를 사용하는 IP-USN 기술은 ZigBee와 마찬가지로 주소 공간의 낭비가 심하다. <그림 11>에 보인 바와 같이 가장 단순한 Binary Tree 구조의 경우 최대 Depth는 15를 넘지 못하며 MC 값이 7이 되면 최대 Hop 수는 6이 되므로 광대역의 센서 네트워크를 필요로 하는 응용에의 사용에는 정용 상의 어려움이 있다. 또한 하나의 노드마다 자식 노드의 수를 제한하였으므로 기기의 이동성을 지원할 수 없다. 즉 13번 노드가 1번 노드로 이동하면 1번 노드는 이미 최대의 자식을 가지고 있으므로 이동한 13번 노드에게 새로운 주소를 할당할 수 없게 되며 따라서 13번 노드가 이동성하면 네트워크 안에서 통신은 불가능해진다.

#### IV. ISO/IEC JTC1에서 표준화되고 있는 근거리 무선통신 기술

ISO/IEC JTC1에서 표준화가 이루어지고 있는 근거리 무선통신 기술로는 SC25에서 추진 중인 ISO/IEC 29145 WiBEEM 기술과 SC6에서 추진 중인 ISO/IEC 24771 “MAC/PHY standard for ad hoc wireless network to support QoS in

an industrial work environment” 기술, 그리고 ISO/IEC 29157 “PHY/MAC specifications for short-range wireless low-rate applications in ISM band” 기술이 있다.

본 장에서는 ISO/IEC JTC1에서 표준화가 이루어지고 있는 근거리 무선통신 기술에 대해 소개하였다.

##### 1. ISO/IEC 29145 WiBEEM 기술

u-City 서비스 구현을 위해 USN 기술로 채택 가능한 근거리 무선 통신 기술로는 Bluetooth 기술과 IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC 기술을 활용하는 ZigBee 기술, 그리고 IP-USN 기술과 IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network 기술이 있다. 이 기술들은 나름대로의 응용 분야를 위해 탄생된 기술들이며 <표 1>에 보인 모든 u-City 서비스가 필요로 하는 모든 요구 조건을 만족시키지는 못하지만 나름대로 장점들을 가지고 있는 프로토콜이다. 그러나 WiBEEM 기술은 이러한 u-City 서비스를 제공할 수 있는 기술로 개발되어 표준화된 기술이다. 본 절에서는 USN 기술 적용에 많은 장점을 가지고 있는 WiBEEM 기술에 대해 정리하였다.

WiBEEM 이란 Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh network를 일컫는 말로 비컨 기반으로 동작하므로 절전형 메쉬 네트워크 기능을 지원하며 NAA 주소 방식으로 기기의 이동성은 물론 QoS를 지원하므로 유비쿼터스 환경에 적합한 절전형 무선 메쉬 센서 네트워크 (USN: Ubiquitous Sensor Network) 기술을 의미한다. WiBEEM 프로토콜의 가장 큰 특징은 비컨 모드에서도 비컨의 충돌 없이 Mesh Network가 안정적으로 동작한다는 것이다. 무선 Mesh

Network가 비컨 모드로 동작한다는 것은 Non-beacon Mode로 통신을 하는 ZigBee나 Motes, 그리고 IP-USN과 같은 기존의 무선 통신 기술이 하는 것에 비해 한 단계 향상된 기술로, 통신 범위 내에 있는 모든 센서 네트워크 기기는 물론 전파 음영 지역에 있는 기기 간에도 Multi-Hop 통신을 이용하여 안정적으로 저전력의 데이터 전송이 가능함을 의미한다. WiBEEM 프로토콜은 USN 응용을 위해 효율적인 통신 방법을 제공하고 유비쿼터스 환경에 알맞도록 이동성을 고려한 무선 프로토콜이다.

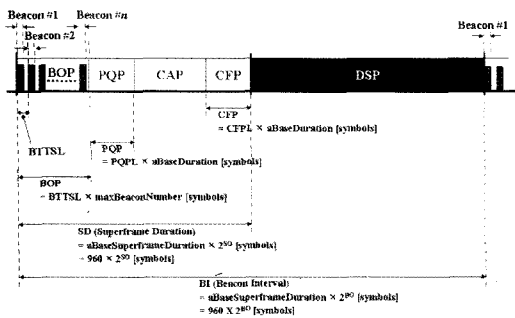
WiBEEM 프로토콜과 같이 비컨 모드로 Mesh Network 동작이 가능하게 되었을 때의 장점으로서는 다음과 같은 것을 들 수 있다. 첫째로, WMC (WiBEEM Master Coordinator)와 WRC (WiBEEM Routable Coordinator) 기기가 <그림 12>에 보인 WiBEEM MAC의 Superframe 구조와 같이 DSP (Deep Sleep Period) 구간으로 들어갈 수 있는 시기를 정할 수 있고, 이 정보가 모든 기기에게 하나의 Superframe 안에 전달되어 모든 기기들이 완벽하게 동기화되어 있으므로 전력 효율성을 향상시킬 수 있다는 것이다. 즉 디바이스 타입을 포함한 모든 기기에 비활동

(Inactive) 구간을 동기화하여 사용하므로 USN 기기들의 전력 효율 향상을 가져올 수 있다는 것이다.

WiBEEM 기술의 두 번째 장점은 이동성을 지원한다는 것이다. 기기의 이동성이 지원되면 그 기기가 Mesh 네트워크 내의 어디에 있는 상관없이 자유로운 통신이 가능하게 되며 따라서 통신 구역의 자율성을 가져오게 된다. WiBEEM 프로토콜은 기존의 점 대 점, 점 대 다점의 무선 센서 통신 방식과 달리, 무선망에서도 유선망의 Mesh 네트워크 구조를 가진다. 그러므로 WiBEEM 프로토콜은 망의 신뢰도 및 낮은 출력을 사용하는 무선망의 확장 등을 가능하게 하고 저 전력 소모, 신뢰성 있는 데이터 전송, 멀티 홉 통신을 이용한 원거리 기기 간의 데이터 전송 등을 지원하는 강한 무선 센서 네트워크 프로토콜이다.

BOP는 MIB에 저장된 값으로 1에서 256까지의 값을 가진다. SO(Superframe Order), BO(Beacon Order)도 MIB에 저장된 macSuperframeOrder, macBeaconOrder로서 0에서 14 사이의 값을 갖는다. SO와 BO가 15의 값을 갖게 되면 Non Beacon-Enabled PAN으로 동작하여 슈퍼프레임 구조를 갖지 않게 된다. 또한, SO의 값은 BO의 값과 같을 수는 있으나 큰 값을 가질 수는 없다. SO의 값과 BO의 값이 같을 때는 DSP 구간이 없게 된다.

WiBEEM 프로토콜에서는 QoS를 사용하기 위해 WiBEEM의 슈퍼프레임 구조에 PQP 구간을 두고 있다. QoS 데이터를 송/수신 하는 PQP (Prioritized QoS Period)는 기본적인 QoS 정보가 담긴 비컨을 송/수신 할 수 있는 BOP 이후에 PQP를 두어 QoS데이터와 일반 데이터를 구분 하도록 하였다. PQP의 크기는 Beacon Payload 정보에 있는 PQPL의 값에 aBaseDuration을 곱



<그림 12> WiBEEM 프로토콜의 슈퍼프레임 구조

하여 QoS 데이터를 안정적으로 송/수신하기 위한 QoS 전용 구간의 크기를 계산할 수 있다.

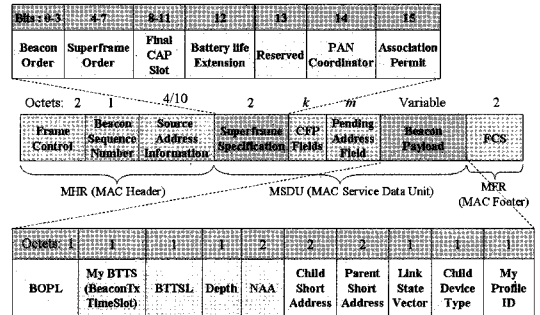
WiBEEM 프로토콜에서는 BOP에 다룰 수 있는 비컨의 수를 정해야 한다. 이를 비컨 슬롯이라 하며 최대 비컨 슬롯 개수는 BTSSL과 BN (BeaconNumber) 값에 의해 결정이 된다. BN 값은 WMC가 네트워크를 형성하면서 결정하는 값이며, MIB의 MAC\_MAX\_BEACON\_NUMBER에 저장되어 사용된다. BOP의 크기는 WMC가 네트워크를 생성 시 BTSSL, BN, BO, SO 값을 설정하여 이 후에 연결되는 기기는 이를 이용하여 전체 슈퍼프레임 크기를 동기화하여 사용을 하며, BTSSL의 크기 등의 변화로 인해 BOP가 변하게 되면 WMC는 이를 하위 기기에 비컨을 통해 전달하여 동기화한다. 반대로 하위 기기에서 BTSSL의 변화가 발생해 BOP의 크기를 바꿔야 하는 상황이 발생하면, 하위 기기는 WMC에게 BTSSL의 변경을 요청하고 이를 WMC가 허용하게 되면 다시 WMC로부터 바뀐 정보를 네트워크 내의 모든 기기들이 수신하여 동기화 한다.

WiBEEM 프로토콜에서의 BOP는 슈퍼프레임 구간의 50%를 넘어설 수 없으며 WiBEEM 프로토콜은 최대 32개의 비컨을 다룰 수 있는 BOP 슬롯을 가져야 한다. 단 BOP가 전체 Active 구간에 50%이상을 차지하게 되면 비컨의 수를 줄여야 한다. 최대 32개의 비컨을 할당하기 위해서는 SO, BO 값은 최소 4 이상의 값을 가져야 한다.

WiBEEM 프로토콜의 비컨 충돌 회피를 위한 비컨 스케줄링 방법은 다음과 같은 절차를 따른다. 어떤 기기가 자신의 비컨을 전송하는 타이밍을 하나의 파라미터로 보았을 때 노드 자신이 날리는 비컨 타이밍에 자신의 이웃하는 노드의 비컨 전송 타이밍과 이웃의 이웃하는 노드의 비컨

<표 1> 비컨 스케줄링을 위한 정보

Name	Value
My Depth	Integer
My BTSS (BeaconTxTimeSlot)	Integer
Neighbor's BTSS	Integer



<그림 13> WiBEEM 프로토콜의 비컨 페이로드

전송 타이밍을 알 수 있다면 비컨 충돌이 일어나지 않음을 이용하면 가능하다. <표 1>에 나온 값들은 <그림 13>에 나타난 비컨 페이로드에 실려 이와 같은 비컨 스케줄링에 필요한 정보들이다.

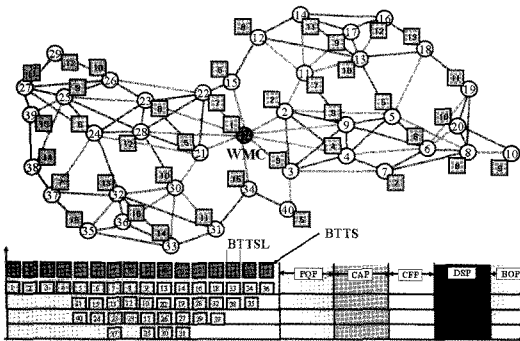
My Depth 는 자신의 깊이 정보를 나타내며 My BTSS는 자신의 비컨 전송 타이밍을 나타낸다. 그리고, Neighbor's BTSS는 자신에게 이웃하는 노드의 비컨 전송 타이밍을 나타낸다. 비컨 스케줄링을 하고자 하는 기기는 주변의 기기에 게서 주변 기기의 My Depth와 My BTSS 정보가 실린 비컨 페이로드 정보를 보면 알 수 있다. 그리고 이웃 노드들의 비컨 전송타이밍은 NWK Command Frame의 하나인 Neighbor's BTSS Request 를 주변 노드들에게 전송하고 이를 수신한 주변 노드들은 Neighbor's BTSS Response Frame을 보내게 된다. 이 프레임을 들은 기기는 주변 기기가 보낸 비컨 스케줄링을 위한 정보를

모두 취합하여 사용하고 있지 않는 비컨 전송 시간에 자신의 비컨을 전송하여 비컨 충돌을 회피하는 것이다.

또한, 비컨 스케줄링에 있어 자식 기기는 부모 기기의 비컨 전송 시간보다 뒤에 와야 한다. 이는 메쉬 네트워크와는 별개로 네트워크 구성에 대한 정보는 Association 관계인 부모에게 정보를 들어 필요한 데이터를 업데이트해야 하는데 부모보다 자식의 비컨 전송 시간이 앞서 있게 되면 부모기기가 보내는 새로운 정보에 대한 업데이트를 하고 자식의 자식 기기에게 새로운 정보를 비컨에 넣어 전송하고자 할 때 이미 자신의 비컨 전송 시간이 지나 다음 슈퍼프레임까지 기다렸다가 새로운 정보에 대한 비컨을 보내야 하는 정보 업데이트의 시간 지연이 발생하기 때문이다.

<그림 14>는 이러한 방법을 이용하여 노드를 40개까지 생성하였을 때 비컨 스케줄링을 한 결과이다. BOP 구간 내에 같은 비컨 전송타이밍 시기를 사용하여도 비컨 충돌이 일어나지 않음을 알 수 있다.

메쉬 네트워크의 모든 노드들이 동기화를 유지하기 위해 Beacon Payload를 이용하여 하나의 BOP 안에 모든 노드들이 동기화됨으로 인한



<그림 14> WiBEEM Router 40개에 대한 비컨 스케줄링의 예

여 주소 체계의 낭비가 없는 새로운 주소 할당 방식이 가능하다. NAA(Next Address Available) 기반 주소 할당 방식이라고 부르는 이 알고리즘은 다음에 조인하는 기기가 가질 수 있는 다음 주소를 비컨 페이로드에 실어 전체 메쉬 네트워크에 알려 주는 것이다. <그림 13>의 비컨 페이로드 중에서 다섯 번째 필드에 NAA 정보를 보낸다. <그림 14>은 이와 같은 NAA 기반 주소 할당 방식을 나타낸 것이다. WiBEEM 프로토콜은 NAA 방식을 이용하므로 16-bit 주소 체계를 낭비없이 사용할 수 있으므로 인하여 새로운 Parent-Child Relationship Change Command의 도입으로 고속의 이동성을 지원하지만 주소 체계가 구조적이지 않으므로 Tree Routing은 지원하지 않는 단점이 있다.

## 2. ISO/IEC 24771 KOINONIA 기술

ISO/IEC 24771 KOINONIA 기술은 Binary CDMA 개념을 도입한 PHY 기술을 이용하여 20m 내외의 근거리에서 있는 오디오 비디오 기기 사이에 QoS를 지원하는 통신을 제공하는 기술이다. 2005년에 처음 ISO/IEC JTC1 SC6에 표준안을 제안한 이 표준 기술은 “MAC/ PHY standard for ad hoc wireless network to support QoS in an industrial work environment” 이었으며 QoS 제공을 위해 IEEE 802.15.3 MAC과 유사한 MAC을 사용하였다.

현재 적용되고 있는 응용 분야로는 자동차의 후면에 카메라를 장착하고 이 영상 정보를 실시간으로 대쉬 보드에 있는 LCD Display로 보여 주어 사고를 사전에 방지하는 시스템에 적용되고 있으며 보다 다양한 응용 분야를 모색하고 있다. 처음에는 산업 환경에서의 적용을 주 목적으



로 시작하였지만 무선 홈 네트워크에의 적용도 가능한 프로토콜이지만 QoS를 지원하며 무선 메시 네트워크 구성이 가능한 프로토콜의 개발이 선행되어야 닥 내의 전파 음영 지역 문제도 해소할 수 있을 것이므로 이에 대한 구체적인 연구가 필요한 상황이다. 보다 자세한 내용은 본 고의 지면의 한계로 인하여 다음 기회에 소개하겠다.

### 3. ISO/IEC 29157 Retaw 기술

ISO/IEC 29157 표준은 2008년 ISO/IEC JTC1 SC6에서 NP를 통과한 근거리 무선 통신 기술로 “PHY/MAC specifications for short-range wireless low-rate applications in ISM band”라는 이름으로 표준화가 진행 중이다. 전체 프로토콜은 Bluetooth 프로토콜과 유사하지만 2.4 GHz 대역에서 Full Band Hopping을 하는 Bluetooth와는 달리 3개의 대역으로 나누어 Partial Band Hopping을 하는 프로토콜로 Bluetooth의 단점을 해결한 기술이다.

Retaw 기술의 응용 분야는 현재 버스를 타고 있는 단체 관광객들에게 마이크로 안내 방송을 하거나 컨퍼런스 시 동시 통역 용으로도 사용이 가능하며 노래방의 마이크가 Retaw 기술을 채택한 예도 있다.

Retaw 기술은 그러나 Bluetooth와 마찬가지로 Multi-hop 통신을 지원하는 Mesh Network 구조는 제공하지 않는다. 따라서 이 기술을 이용한 대 규모 센서 네트워크에 적용하기에는 프로토콜의 개선이 필요한 상황이다. 이 기술 또한 본 고의 지면 관계 상 다음 기회에 자세히 다루기로 하겠다.

## V. 결론

본 고에서는 IEEE 802.15에서 표준화하고 있는 기술에 대해 설명하였다. 먼저 IEEE 802.15.1 Bluetooth 기술에 대해 설명하였으며 Bluetooth 기술과 IEEE 802.11b WLAN 기술의 공존을 다루는 IEEE 802.15.2 기술에 대해서도 설명하였다. 그리고 IEEE 802.15.3 High Rate WPAN 기술과 IEEE 802.15.3a High Rate UWB 기술에 대해 소개하여 어떻게 근거리 무선 통신 기술이 오디오/비디오 신호를 QoS를 지원하며 전송한 지에 대한 방안에 대해 설명하였다.

절전형으로 동작하여 센서 네트워크에 사용되는 IEEE 802.15 기술로는 가장 많이 각광받고 있는 IEEE 802.15.4에 대해 설명하였으며 저속 UWB 기술인 IEEE 802.15.4a 기술에 대해서도 설명하였다. 아쉬운 것은 IEEE 802.15.3c Task Group에서 표준화하고 있는 60 GHz Millimeter Wave에서의 High Rate WPAN 기술과 2006년에 표준화가 완료된 IEEE 802.15.4b Enhancement of IEEE 802.15.4 Low Rate WPAN 기술, 그리고 IEEE 802.15.4c Task Group에서 표준화를 진행 중인 WPAN Alternative for China 기술과 IEEE 802.15.4d Task Group에서 표준화를 진행 중인 WPAN Alternative for Japan 기술에 대해 소개하지 못한 것은 본 고의 지면의 한계로 이해해 주었으면 한다. 최근에 발족된 IEEE 802.15.4e Task Group에서 표준화를 진행 중인 WPAN Enhancement with QoS 기술은 아직 표준 기술에 대한 결정이 이루어지지 않아 소개하기에 어려움이 있으며 IEEE 802.15.4f Task Group에서 표준화를 진행 중인 RFID 기술은 ISO/IEC JTC1 SC31에서 표준화를 진행 중인 표준과의 관계 면에서 아직 논란이 되고 있는 상황이므로 소개

하지 못하였다. 한편 IEEE 802.15.4g Task Group에서 표준화를 진행 중인 Smart Utility Neighborhood) 기술도 같은 맥락으로 이해 바란다.

IEEE 802.15.5 Task Group에서 표준화를 진행 중인 WPAN Mesh Networking 기술은 거의 표준화가 완료된 상태이며 IEEE 802.15.6 Task Group에서 표준화를 진행 중인 Body Area Network 기술은 현재 인체의 Channel Model 결과가 동의를 얻어가고 있는 상황이며 이 결과에 따라 구체적인 기술은 추 후 Ballot에 의해 결정될 것으로 보인다. IEEE 802.15.7 Task Group에서 표준화를 진행 중인 (Visible Light Communications 기술과 IEEE 802.15 IGthz Interest Group에서 표준화를 진행 중인 Tera-Hertz Communications 기술은 이제 막 새로운 Task Group을 준비 중이다. 끝으로 IEEE 802.15 WNG에서 표준화를 진행 중인 WPAN Next Generation은 새로운 기술과 Topic에 대한 Incubation을 담당하는 Task Group으로 그 동안 많은 새로운 방향을 제시하여 왔다. 본 고에서 이에 대한 자세한 설명을 하지 못한 것은 아쉬움으로 남지만 다음 지면에서 소개하도록 하겠다.

IEEE 802.15.4 표준의 상위 계층에서 동작하는 근거리 무선 통신 기술로는 ZigBee 기술과 IP-USN 기술이 있고 IEEE 802.15.5 Recommended Practice 기술이 있으며 이에 대한 기술을 소개하였지만 IEEE 802.15.5 기술을 소개하지 못한 것은 아쉬움이 있다.

끝으로 ISO/IEC JTC1에서 표준화가 진행되고 있는 ISO/IEC 29145 WiBEEM 기술, ISO/IEC 25771 KOINONIA 기술, 그리고 ISO/IEC 29157 기술에 대해 소개하며 각 기술이 가지고 있는 특성에 대해서도 설명하였다.

근거리 무선통신 기술은 조만간 u-City 서비스를 구현하는 핵심 기술로 사용될 전망이므로 이 기술의 개발 및 개선은 매우 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 특히 한국에서 개발한 절전형 메쉬 네트워크 기술을 ISO 국제 표준 기술로 제정하고 이 기술을 센서 네트워크에 적용함은 물론, 이 센서와 기기 간 협업을 통해 진정한 유비쿼터스 세상을 구현하는 기술을 개발하여 한국의 u-City 간 상호 운용성을 제공함은 물론 uCIC(u-City International Council: u-City 세계 협의회) 활동을 통해 u-City 서비스의 세계화를 주도함으로써 전 세계의 u-City 시장을 우리의 시장으로 확보할 수 있는 활용구로 사용할 수 있다는 점에서 국가적인 차원으로 지원해야 할 분야로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] IEEE Std 802.15.4-2003, 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 Alliance Web site  
<http://www.zigbee.org/members/>
- [3] ZigBee Draft Version 1.0
- [4] u-City 통합 운영 센터 (uMC) 플랫폼 Standard, u-City Forum 기술 분과 위원회
- [5] WiBEEM (Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh network) Standard, u-City Forum 기술 분과 위원회
- [6] Ho-In Jeon, "An Analysis of 802.15.4-Based

Mesh Network Architecture,” 15-06-0266- 00-0005-analysis-802-15-4-based- mesh-network-architecture, IEEE 802. 15.5 Wireless PAN Mesh Network Task Group meeting, April 18, 2006.

[7] Ho-In Jeon, “Efficient Address Assignment for Mesh Nodes in Real-Time,” 15-06-0437-01- 0005-efficient-real-time-network-address-allocation-mechanisms-based-naa-concept-in-mesh-network, IEEE 802.15.5 Wireless PAN Mesh Network Task Group Face-to-Face meeting, November 14, 2006.

[8] WiBEEM International Standard, ISO/IEC 29145-1, ISO/IEC 29145-2, ISO/IEC 29145-3.

## 저자소개



전 호 인

1977년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업  
 1981년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업  
 1990년 10월 미국 앨라배마주립대학  
 전기 및 컴퓨터 공학과 박사학위 취득  
 1992년 3월 ~ 현재 경원대학교 전자공학과 교수  
 2002년 5월 ~ 현재 ISO/IEC JTC1 SC25 한국  
 전문위원회 위원장/한국대표단  
 단장  
 2004년 11월 ~ 현재 ISO/IEC JTC1 SC6 WG1  
 국제 의장  
 2005년 1월 ~ 현재 IEEE 802.15.5 WPAN  
 Mesh Network Task  
 Group 국제 부의장  
 2005년 3월 ~ 현재 u-Banking Forum 의장  
 2005년 5월 ~ 현재 u-City 포럼 기술분과위원회  
 위원장  
 주관심분야 : u-City, USN, Low Power Mesh  
 for Green IT