

IEEE 802.15 WPAN : 근거리 무선 통신 기술

최성수 · 김영선(한국전기연구원)

1. 서론

1935년에 모스(Morse)가 전신기를 발명 한 이래로 전기에너지를 전파하는 전기통신은 음성과 데이터정보를 주고받는 이동통신기술로 발전되어왔다. 근래에는 인터넷과 디지털 가전 기술의 발전으로 인한 랩탑(Laptop)의 대중화 및 성장으로 WLAN(Wireless Local Area Network) 액세스기술과 WPAN(Wireless Personal Area Network)기술이 유비쿼터스(Ubiquitous) 정보통신 인프라의 근간을 이루는 무선 통신 핵심기술들 중 하나로 주목을 받고 있다. 이에 세계 여러 나라의 다국적 기업들은 성공적인 초기 시장진입을 위하여 앞 다투어 근거리 무선통신기술 분야에 매진하고 있으며, 동시에 관련 핵심기술을 사실상(de-facto) 국제 표준화하여 상품화 하는데 노력하고 있다. 이는 최근에 등장한 기술 집약형 모바일 핸드폰, PDA, MP3, 정보통신 가전 등과 같이 인터넷 연결이 가능한 작고 값싼 장치들의 급속한 성장에 기인한 것이라 할 수 있다. 만약 이처럼 작고 값싼 장치간 혹은 다른 장치와 통신하는 것이

가능하다면, 이는 기존의 단순 통화만을 제공하는 통신의 기본 역할에서 벗어나 상당히 확대된 개념의 통신 시스템 기술로의 진화로 볼 수 있다. 그러나 이같이 좁은 범위 안에서 장치 간 연결 문제는 단순히 특정 목적의 전용케이블들을 사용하여 해결할 수 있는데, 대부분의 사용자들은 케이블이 장치 이동에 있어서 제한될 뿐만 아니라 자유로운 모바일환경 관점에서 볼 때 방해가 된다. 그러므로 케이블을 대신할 수 있는 새로운 무선케이블과 같은 장치가 필요하게 되었으며, 이 연결기술을 통상 무선 근거리무선통신 기술, WPAN이라 부른다. 앞으로의 통신 소비자 시장은 쉽게 네트워크에 연결될 수 있도록 수많은 WPAN 장치들이 사무실, 가정, 컨벤션 센터, 쇼핑몰, 공항 등과 같은 여러 장소에 골고루 퍼지게 된다. 또한 소비자들이 장치의 존재를 인지하지 못하도록 설치되는 동시에 각 개인에게 알맞은 서비스를 제공하여, 다양한 비즈니스 솔루션으로 주목받게 될 것이다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제 II 절에서는 근거리 무선통신기술인 WPAN기술의 특징을 WLAN기술과 비교하여 소개한다. 제 III 절에

서는 IEEE 802.15 WPAN 국제 표준화 그룹에서 진행해 온 주요 내용을 살펴보고, 마지막 절에서는 WPAN의 역할을 한층 강화시켜줄 UWB(Ultra-Widebands)기술에 대한 소개와 앞으로의 WPAN 기술 발전 방향을 전망함으로써 본고를 매듭짓는다.

II. WPAN 기술의 개요

WPAN기술의 이해를 돕기 위하여 먼저 WPAN과 WLAN의 유사점과 차이점에 대해 살펴본다. 둘 다 좁은 범위의 무선 데이터 통신 기술로 IEEE 802.15 WPAN은 국제표준화 IEEE 802.11 그룹에서 말하는 WLAN 기술과 같아 보일 수 있다. 그러나 우선적으로 WLAN은 노트북 컴퓨터와 같은 휴대용 컴퓨팅 클라이언트(client) 장치들을 위해 설계되어 최적화된 것이고, WPAN 장치들은 저전력에 이동성(mobile)이라는 기능까지 추가된 특징을 갖는다. 특히, 이 두 가지 기술은 전력 레벨과 적용범위, 매체의 제어, 네트워크의 수명 등의 세 가지 부분에서 다른 점이 있다. 전형적인 WLAN의 적용범위는 100mW의 송신전력으로 100m 정도이다. 게다가 무선장치에 의한 전력소모가 상당히 휴대용 장치들은 보통 고정된 장소에서 머무는 동안 사용되도록 설계되어 보통 콘센트로부터 전력을 공급받아 동작하지만, 모바일 장치들은 대개 배터리에 의해 운용된다. WLAN은 대체로 유선 LAN의 무선 확장이라 할 수 있지만 WLAN에 참여한 장치들은 주로 한 가지 타입(랩탑)이며, 반면에 WPAN에 참여한 장치들은 여러가지 타입을 가질 수 있다. 대개 WPAN 장치들은 1mW의 송신전력으로 약

10m의 도달범위를 커버한다. 물론 WPAN 기술은 장시간동안 배터리사용이 가능하도록 장치에 의한 낮은 전력소비를 보장하는 기술을 추가적으로 포함하고 있다. 한편, WLAN은 동기화되지 않은 많은 장치들로 상대적으로 넓은 영역을 채우기 때문에, 매체 접근을 위한 충돌회피 메커니즘은 반드시 다루어 져야만 하고, IEEE 802.11에서 사용되는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)는 WLAN에서 매우 효과적인 프로토콜로 알려져 있다. 반면에 WPAN은 장치들이 동기화되어질 수 있는 작은 영역을 커버하며, 충돌을 상당히 경감시키는 구조로 되어있어서, 결과적으로 WPAN의 매체 접근 프로토콜은 WLAN에서 사용되는 것과 다를 수 있다. WPAN과 WLAN 사이의 다른 점은 네트워크의 지속 시간, 즉 수명으로 볼 수 있는데 WLAN은 네트워크 구성 장치들과 관계없이 보다 큰 네트워크 인프라에서 운영 된다. 반면에 WPAN은 ad-hoc과 같이 임의의 형식으로 네트워크 생성 및 장치들 간 연결 확립 또한 매우 빠르게 일어나게 되어 장치 개개를 중심으로 하여 작은 범위를 커버하며 짧은 시간동안 존재하게 된다. 이처럼 WPAN에 참여하는 개인용 장치들은 그들 자체의 개별 요구 또는 기능에 의해 네트워크가 생성되어 특정 개인용 장치에 대해 연결 선후장치가 서로 다를 수 있다. 예를 들어, 노트북 컴퓨터는 때에 따라 PDA와 연결될 수도 있고, 디지털 카메라 또는 핸드폰과도 연결될 수도 있다. 즉, WPAN 장치는 다른 장치들과 하나 혹은 모두와 연결될 수 있어서 저렴하고, 소비전력이 적으며, 효과적으로 QoS(Quality of Service)를 만족시키는 네트워크를 구성할 수 있다.

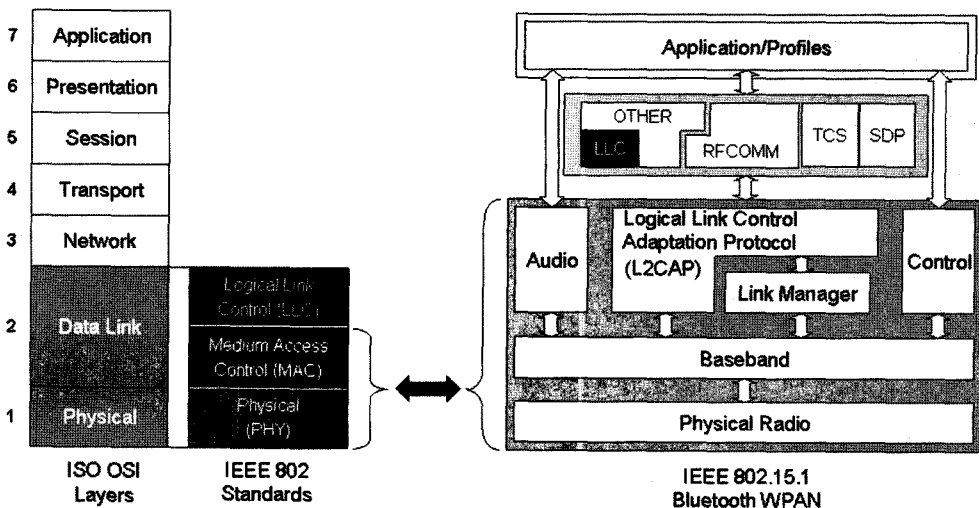
III. IEEE 802.15 WPAN 국제 표준화 현황

WPAN은 비가시선(Non-Line-Of-Sight) 옥내 또는 옥외 환경에서도 무리 없이 통신이 가능하며, 그 종류 또한 주어진 근거리 무선통신 응용 환경에 따라 사용되는 물리계층과 매체접속계층 또한 다양하다. IEEE 802.15 표준화 그룹에서는 가장먼저 블루투스(Bluetooth) 프로토콜이 IEEE Std 802.15.1-2002로 표준화되었는데, 이를 위해서 IEEE 802 워킹 그룹들은 특정 관심그룹으로 비독점 라이선스를 받고, 이를 기초로 IEEE 802.15.1을 개발하는 작업에서부터 IEEE 802.15.1 블루투스 표준화 규격에까지 상당한 기여를 했다. 또한 802.15 워킹그룹은 IEEE 802.11b 무선LAN과 블루투스의 공존을 위한 권고사항을 개발하기 위한 작업을 수행하였고, 이러한 노력의 결과로 IEEE Std 802.15.2TM-2003이 만들어지게 되었다. 또한 IEEE 802.15에서는 고속 WPAN(IEEE Std 802.15.3TM-

2003)과 저속 WPAN(IEEE Std 802.15.4TM-2003)의 두 가지 WPAN 기술표준이 완료되었으며, UWB(Ultra-Widebands)기술을 물리계층에 적용하여 이전에 보였던 어떤 기술보다도 뛰어난 성능을 보장하는 WPAN 기술로 발전시키는 작업을 진행해 왔다. 최근에는 이와 더불어 능동적이고도 자유로운 노드들 사이의 네트워크 연결성을 다루는 IEEE 802.15.5 메쉬(Mesh)와 인체를 중심으로 장치들을 연결하는 IEEE BAN(Body Area Network)에 대한 표준화 그룹이 새롭게 만들어져, 보다 다양한 방향에서 WPAN 기술 표준화가 확대 진행되고 있는 중이다.

1. IEEE 802.15.1

처음의 WPAN 표준은 블루투스 SIG (Bluetooth Special Interest Group) 산업 컨소시엄에 의해 개발된 블루투스이다. 초기에는 Ericsson, Nokia, IBM, Intel, Toshiba 등의 회사



〈그림 1〉 블루투스 프로토콜과 IEEE802 아키텍처 간 매핑도

에 의해 이끌어졌으며, 후에 3Com, Motorola, Lucent, Microsoft 등의 회사가 참여하는 등 블루투스 SIG는 약 2,000개의 회사들로 구성되었다. 본래 계획은 약 10m의 동작범위, 매우 낮은 소비전력, 낮은 가격으로 복잡한 유선케이블을 대체하려고 했다. 블루투스 WPAN은 PSTN 통화품질의 음성통신을 위한 동기식 통신 채널들과 데이터 통신을 위한 비동기식 통신 채널들을 지원한다. 무엇보다 IEEE 802와는 다르게 블루투스 표준은 OSI 모델에서 모든 계층을 포함하고 있지만, IEEE 802 스타일의 MAC과 PHY는 쓰이지 않는다.

그림 1은 블루투스 무선 기술의 OSI 7-계층 모델에서 프로토콜 스택과의 관계를 보여준다. 여기서 LLC(Logical Link Control)와 MAC 하부계층들은 OSI 모델의 DLL(Data Link Layer)에 의해 쓰이는 기능들을 함께 포함한다. 블루투스의 상용화 성공을 보장하고, 상호운용이 가능한 대화식 어플리케이션들의 생성을 가능하도록 하기 위해 새로운 통신 프로토콜 및 상호운용이 가능한 어플리케이션들을 포함하는 블루투스 규격을 내놓게 되었는데, 이러한 어플리케이션들은 규격에 나와 있는 다양한 응용 시나리오를 지원한다. IEEE 802.15.1은 블루투스 규격에서 LMP(Link Manager Protocol)와 L2CAP(Logical Link Control and Adaptation Protocol)과 같은 블루투스 규격 프로토콜들과 그림 1에 "Other" 박스에 그룹화 되어있는 비블루투스 규격 프로토콜을 포함한다. RFCOMM 계층은 블루투스 링크들을 통한 레거시 어플리케이션(Legacy Application)이 가능하도록 하기 위한 시리얼 포트 에뮬레이션(대리 실행) 계층이다. TCS는 상급(上級)의 전화통신 어플리케이션을 위한 전화통신 제어와 신호표시 계층이다. SDP는 그들이

서비스를 제공하기 위해 블루투스 장치들이 다른 장치들을 검색하는 것을 승인하는 서비스 검색 프로토콜 계층이다. 이들 계층들은 기존의 802.15의 부분이 아니고, 단지 블루투스 규격에만 기술되어있다. L2CAP 프로토콜은 고차원 프로토콜 다중화와 이러한 다중화 분할과 재조합을 위한 요구를 지원하는데 패킷의 크기가 작기 때문에, 큰 상위 계층 패킷은 공간을 통해 전송되기 전에 분할되어진다. 또한 블루투스 규격은 HCI(Host-Control Interface)와 같은 제어 프로토콜(그림 1에 가장오른쪽 블록)을 참조하게 되는데, 이는 두 가지 기능을 갖고 있다. 첫째로 그림에서 보이는 것과 같이 상위계층에 물리적인 인터페이스를 제공한다. 둘째로, 제어 프로토콜은 하드웨어 상태와 제어 레지스터들에 대한 접근권을 제공하는데, 이 기능은 기존 IEEE 802 표준에서 관리 하위계층에 의해 구현된다.

IEEE 802.15.1 물리계층의 경우, 블루투스 WPAN은 비허가 2.4GHz, ISM(Industrial, Scientific, Medical) 대역에서 동작하며, 미국, 유럽과 기타 대부분의 나라에서 이들 채널의 중심 주파수는 $k=0, \dots, 78$ 일때, $=2402 + k$ MHz이다. 프랑스는 2.4GHz 대역에서 다른 규정을 가지고 있으며, 중심 주파수는 k 가 0과 22사이의 값일때 $=2454 + k$ MHz이다. 송출 전력에 따라, 장비는 세 가지 전력 클래스로 나누어지며, 클래스 1 장비는 최대 송출전력 +20dBm(100mW)과 최소 송출전력 0dBm(1mW)을 갖는다. 이들 전력 레벨 조건은 장비의 안테나 커넥터에서 모든 무선 802 표준과 같다. 클래스 1 장치들의 송출전력은 최대와 최소 전력 레벨사이에서 2dB와 8dB사이의 범위단계에서 조정되어질 수 있다. 전력 제어는 전력 효율뿐만 아니라, 다른 무선 시스템에 대한 잠재적인 방해를 줄일 수 있는

데, 보통 전력제어는 수신기가 피드백을 제공할 때만 사용되어질 수 있다. 다시 말해, 수신기는 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 레벨과 같이 측정을 수행할 수 있으며 이는 송신기와 전력레벨에 관한 정보를 교환하기 위한 프로토콜로 생각될 수 있다. 이처럼 전력제어는 연결이 갖춰지기 전까지 사용될 수 없고, 연결 설정 시 장치들은 그들의 성능에 관한 정보를 교환하게 된다. 만약 수신기가 적당한 피드백을 제공할 능력이 없다면, 수신 장치는 반드시 클래스 1에서 클래스 2나 클래스 3으로 바뀌는 옵션기능을 갖는다. 클래스 2 장비는 최대 2.5mW(4dB)와 최소 0.25mW(-6dBm) 출력을 갖고, 클래스 3 장비는 최소 없이 최대 1mW(0dBm)의 출력을 갖는다. 빠른 주파수 도약(1,600 hops/s) 송신기는 이 대역에서 간섭과 페이딩을 제거하기 위해 사용된다. 채널 간격이 1 MHz인 슬롯화된 채널이 사용되며, 1/1600(625us)의 슬롯 일정주기를 갖는다. 각각의 패킷은 도약 시퀀스에 따라 다른 주파수로 송신된다. 특히, 높은 전력효율과 낮은 송신 비용을 위하여 블루투스는 GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)이라 불리는 일정한 전송파위를 보장하는 변조방식을 사용한다. 송신된 데이터는 1Msymbol/s의 심볼속도를 갖는다.

네트워크 구성의 경우, 하나의 블루투스 장치는 여러 피코넷들에서 슬레이브처럼 활동할 수 있지만, 하나의 피코넷에서는 하나의 마스터 역할을 할 뿐이다. 이는 동일한 마스터를 공유하는 두 피코넷이 동기화되어지고, 같은 도약 시퀀스를 사용하게 됨을 의미하며, 이에 따라 두 피코넷은 하나 즉, 동일한 피코넷이 된다. 이러한 스캐터넷 토폴로지는 효과적인 라우팅 문제에 대한 의문을 불러일으키는데, 이러한 문제점은 802.15.1 표준에서 다루어 지지 않았으며, 이를

해결하기 위한 프로토콜들 중 하나가 'cost metric' 정도로 라우팅 프로토콜은 마스터-슬레이브 스위치와 배터리 수명에 관한 최적화된 성능을 구현할 수 있도록 장치들에서 이용 가능한 배터리 전력을 사용하는 전력제어 기능을 활용하는 것이다.

IEEE 802.15.1이 IEEE 802.11보다 좀더 QoS를 지원하기 쉽다. 이유는 IEEE 802.15.1은 CSMA MAC을 사용하지 않고, 양방향 전송인 TDD(Time-Division Duplexing) 체계를 사용하는데 마스터와 슬레이브들이 번갈아 가며 전송하게 된다. 즉, 네트워크는 시간 다중화되며 마스터는 전송을 위해 IEEE 802.15.1 WPAN 슬레이브들의 집합을 폴링하여 자신이 원하는 어떠한 QoS 방식도 시행할 수 있게 된다. 또한 블루투스 장치들은 두 가지 큰 상태를 갖는데, 대기(Standby)와 연결(Connection)이 바로 그것이다. 기본적으로 모든 블루투스 유닛은 대기 상태의 저전력 모드에 있으나, 장치 페이징이나 조회(Inquiry)를 스캔하거나 스스로 페이징이나 조회를 수행할 때 대기 상태를 벗어나게 된다. 또한 블루투스에서 보안을 제공하는데 데이터추출은 어플리케이션 계층과 데이터링크 계층 두 곳에서 얻어지게 되어 있다. 공개 주소는 48 bit 블루투스 장치 주소로, 각각의 블루투스 유닛마다 유일하며, 두 개의 비밀키는 초기화되는 동안 얻어지며, 그 후에는 더 이상 노출되지 않는다. 하나는 인증(Authentication)을 위해 사용되어 인증키라고 불려지고, 다른 하나는 암호화(Encryption)를 위해 사용되어 암호키라고 불려진다.

2. IEEE 802.15.2

무선통신 장치의 최대 이점은 선을 필요로 하

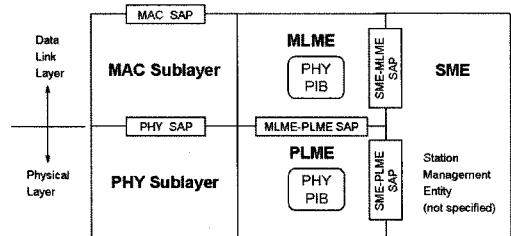
지 않는다는 것이다. 그러나 이로 인해 다른 무선장치들과 같은 주파수 대역에서 동작할 수 있다는 불이익을 감수해야한다. 다중접속 방식은 다중의 장치들이 같은 프로토콜을 따르는 스펙트럼을 어떻게 사용할 수 있는지 고려하는 것으로, 서로 다른 무선 시스템들이 동일한 주파수 대역에서 함께 공존할 수 있는지는 고려하지 않고 있다. 일반적으로 모든 무선 시스템은 그 스스로가 이용가능한 전체 스펙트럼을 갖고 있다고 가정하여 설계되는데, 만약 같은 주파수 대역에 둘 혹은 그 이상의 타 무선 시스템이 있고, 서로 근접하게 배치되었다면 어떤 일이 벌어질까? 상대적으로 높은 출력으로 전송하는 것과 방해(Interference)에 강한 프로토콜을 사용하는 장치는 그들의 전송데이터를 얻을 것이지만, 그렇지 못한 장치들은 데이터를 전혀 얻지 못하거나 적어도 전송율이 감소되게 될 것이다. 이러한 이슈는 수많은 무선 통신장치들이 향후 몇 년 동안 폭발적으로 증가할 것으로 예상되는 홈네트워크 어플리케이션에서 상당한 문제가 벌어지리라 예상된다. 그러므로 서로 다른 무선 시스템이 같은 주파수 대역을 사용하더라도 제 기능을 하도록 보장하기 위해서는 보다 적절한 통신정책이 필요하다. 실제로 안테나들 사이의 거리, 데이터 트래픽의 양, 출력 레벨, 변조방식 등과 같은 많은 파라미터들이 다른 방식의 타 무선 시스템 사이에서 간섭에 영향을 미친다. 이는 물리계층만의 문제가 아니며, MAC계층 또한 간섭 시나리오에서 중요한 역할을 수행할 수 있고, 전체 시스템 성능에 영향을 끼칠 수 있을 뿐 아니라, MAC 계층과 상위 계층의 성능에 상당한 충격을 줄 수 있다는 점이다. 이런 이유로 IEEE 802.15.2 작업그룹은 Bluetooth/IEEE 802.15.1과 IEEE 802.11 사이에서 공존을 위한 권고 사

항(Recommended Practice)을 개발하기위해 구성되었는데, 이는 당시 Bluetooth/IEEE 802.15.1 기반의 WPAN 장치와 IEEE 802.11b 기반의 WLAN 장치가 2.4GHz ISM 대역에서 동작하는 장치들 중 가장 큰 시장점유율을 갖게 될 것이라 예상했기 때문이다. 그 권고사항은 1, 2, 5.5, 11Mbps의 전송속도에서 IEEE 802.11b DS-SS(Direct-Sequence Spread Spectrum)를 고려하도록 하는 것이었다. 앞으로의 권고사항 개정은 IEEE 802.11과 IEEE 802.15 둘 다 추가적인 표준화를 진행하는 중이므로 좀 더 새로워진 WLAN과 WPAN 표준 사이에서 공존 문제를 고려할 것으로 예상된다.

3. IEEE 802.15.3 : 고속 WPAN

IEEE 802.15.1이 완성되기 전인 1999년 11월에 디지털 카메라나 A/V기기 사이의 무선통신 같은 미래의 휴대용 소비자 전자 장치들의 멀티미디어 트래픽 지원을 목표로 KodakTM, Motorola, Cisco, Aware 등을 포함한 몇몇 기업이 고속 WPAN 기술에 대한 연구를 시작하였고, 이것이 후에 IEEE 802.15.3이 되었다.

그림 2는 IEEE 802.15.3의 참조모델을 표현한 것으로 물리 계층과 매체 접근 제어계층에 더해, MAC 계층 관리 엔터티와 PHY 계층 관리엔



<그림 2> IEEE 802.15.3 참조 모델

터티를 갖는다. 이들 관리부들은 SME(Station Management Entity)와 상호작용한다. 그림에 보인 바와 같이 이들 다섯 가지의 Entity들은 SAP(Service Access Point)를 통해 상호작용을 하는데 정의된 원형(Primitive)들은 SAP를 통해 교환되며 원형들은 두 가지 기초적인 범주로 분류된다.

- 1) Peer-to-Peer 상호작용(Interaction)을 지원하는 원형
- 2) 국부 중요지(Local Significance)와 서브계층간(Sublayer-to-Sublayer) 상호작용을 지원하는 원형

IEEE 802.15.3 MAC은 아래의 기능들을 제공한다.

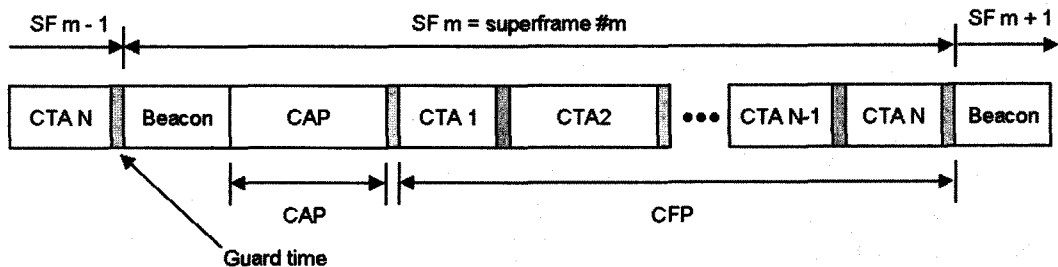
- 1) 스테이션들이 PAN을 구성하고 끝낼 수 있도록 허가한다.
- 2) 서로 스테이션들을 인증한다.
- 3) 다중 QoS 레벨과 보안옵션을 사용한 스테이션 사이의 데이터를 운송한다.
- 4) 조정자(Coordinator)를 포함한 스테이션들이 전력 요구사항을 최소화하고 네트워크를 유지하는 것을 허가한다.
- 5) WPAN에서 조정(Coordination)을 다른 스

테이션에게 전달하는 조정자를 위한 절차를 제공한다.

또한 QoS를 효율적으로 지원하는 동시에 성공적인 802-스타일 CSMA 프로토콜을 유지하기 위해서 IEEE 802.15.3은 CSMA와 TDMA의 조합으로 구성되는 매체 접근 메커니즘이 제안되었다. 이처럼 MAC은 효율적으로 동기(Synchronous)와 등시성(Isochronous)의 데이터를 전송할 수 있도록 MAC 슈퍼프레임 구조를 새 부분으로 구성한다.

그림 3에서는 네트워크 비콘 간격(interval), CAP(Contention Access Period), CFP(Contention-Free Period)로 구성되는 IEEE 802.15.3 슈퍼프레임을 보여준다. 최소의 슈퍼프레임 간격은 $512\mu\text{s}$ 이고 최대의 슈퍼프레임 간격은 $66,535\mu\text{s}$ 이다. 비콘은 슈퍼프레임의 간격, CAP의 간격, 비경쟁 주기(CFP)에 관한 정보를 포함한다. 비콘은 또한 장치가 참여할 수 있는 네트워크의 아이디(Identity)에 관한 정보를 가진다. 모든 데이터는 Peer-to-Peer 방식에서 교환하게 되며, 네트워크의 강인성을 위하여 송신기 출력제어, 동적 채널 선택, 네트워크 조정자 핸드오버 등을 제공한다.

IEEE 802.15.3 물리 계층의 경우, 2.4GHz 대



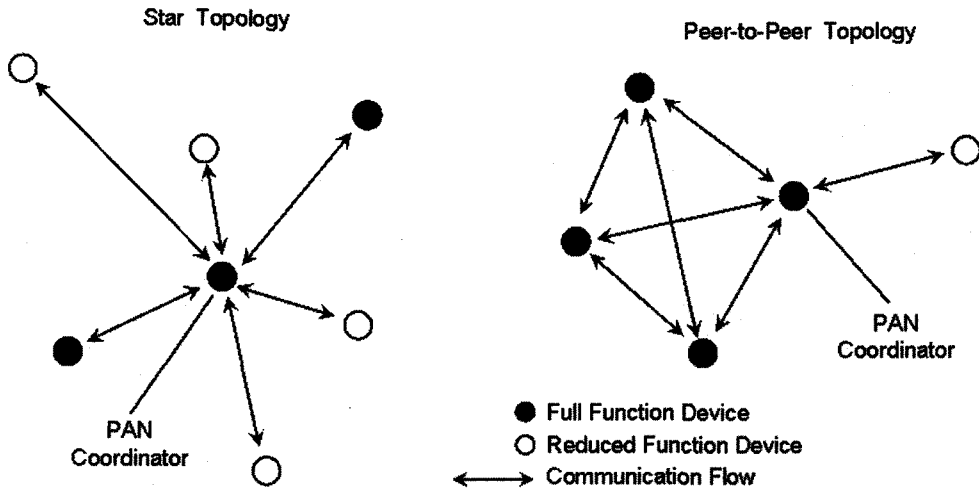
〈그림 3〉 IEEE 802.15.3 슈퍼프레임 구성도

역에서 최대 55Mbps의 전송속도, 심볼 전송속도는 11Msymbol/s를 지원한다. 이 심볼 전송속도로 DQPSK, QPSK, Trellis-coded QPSK, 16/32/64-QAM의 여섯 가지 개별적인 변조 방식이 사용된다. 또한 저 비용과 낮은 전력소비를 달성하기 위해 OFDM 변조방식은 쓰이지 않는 단일톤의 물리계층에 기반을 두고 있다. IEEE 802.15.3 신호는 15MHz의 대역을 점유한다. 채널의 총 개수는 5개이지만 두 가지 다른 방법이나 모드들로 사용될 수 있다. 그 첫 번째는 고밀도 모드로, 이는 중심이 2.412GHz, 2.428GHz, 2.445GHz, 그리고 2.461GHz인 네 개의 채널들을 할당한다. 두 번째는 IEEE802.11b 공존모드로, 중심이 2.412GHz, 2.437GHz, 그리고 2.461GHz인 세 개의 채널들을 할당한다. IEEE 802.15.3 물리 계층은 PHY 헤더를 MAC 헤더에 더하고 PHY와 MAC의 조합을 통한 HCS(Header Check Sequence)를 계산한다. PHY 헤더는 길이와 페이로드의 데이터 전송속도에 관한 정보를 갖는다. HCS는 MAC 헤더의 끝에 덧붙여진다. 최대 MAC 프레임이 2048 byte인 반면에 이것은 Frame body와 PHY preamble이 아닌 FCS(Frame-Check Sequence), PHY 헤더, 혹은 HCS 등을 포함한다. HCS(Header Check Sequence)는 PHY와 MAC 헤더의 조합을 위한 16bit CRC를 포함한다. 수신기의 감도는 dBm 단위로 8% 이하의 패킷 에러율을 보장하는 최소 수신 신호 레벨로 정의되며, 다른 변조 체계를 위해, 수신기 감도는 -68dBm부터 -82dBm까지의 영역을 수신한다. 또한 최대 송신 출력에 대해서 IEEE 802.15.3 장치들은 FCC 규정15.249을 만족한다.

4. IEEE 802.15.4 : 저속 WPAN

블루투스 이후, 이를 이용해 다양한 WPAN 목적에 맞는 시스템을 만드는 것은 쉽지 않다는 것이 명확해졌다. 즉, 센서, 검침, 스마트 태그/벡지, 그리고 홈 오토메이션 등의 많은 산업, 농업, 의학 그리고 운송 어플리케이션들은 블루투스와는 다른 짧은 범위의 무선 연결을 필요로 한다. 이를 위하여 초저전력 소모와 초저비용의 두 가지 파라미터가 더욱 중요한 기술적 영역이 되었고, 데이터 전송속도는 배터리 수명과 바꿀 만큼 그리 중요하지 않게 되어 블루투스와 같은 고속의 WPAN 기술은 이들 어플리케이션에 적합하지 않게 되었다. IEEE 802는 이를 해결하기 위하여 2003년에 PHY와 MAC 계층을 중심으로 IEEE802.15.4의 새로운 저속(Low-rate) WPAN 표준기술을 정의하였고, 응용과 관련된 상위계층에 대한 ZigBee 표준화작업은 ZigBee 연합에서 2004년 말에 완료되었다.

802.15.4 표준의 주요 목적은 간단하지만 유연하고 효율적인 프로토콜이다. IEEE802.15.4 네트워크는 두 가지 다른 장치 타입인 FFD(Full Function Device)와 RFD(Reduce Function Device)로 구성된다. FFD는 세 가지 모드로 동작한다. 네트워크를 제어하는 네트워크 조정자(Network Coordinator), 조정자(Coordinator), 네트워크 장치 등이 그것이며, 이 세 가지 동작 모드는 동적으로 바뀔 수 있다. RFD는 네트워크를 제어할 수 없으며 조명 스위치나 수동적 적외선 센서 같은 장치들에 적당할 만큼 매우 단순하다. RFD는 다른 RFD들과 통신할 수 없다. 그들은 오직 FFD들과 통신할 수 있다. 결과적으로 RFD들을 위한 프로토콜은 최소한의 자원과 메모리 용량을 사용하여 구현될 수 있다. 저속 WPAN 장치들은 250Kbps, 40Kbps, 20Kbps의



〈그림 4〉 저속 WPAN 토폴로지

데이터 전송속도를 제공하고, CSMA/CA 채널 접근을 사용하며, 전원 관리, 그리고 2.4GHz ISM 대역에서 16개의 채널을 사용한다.

저속 WPAN에 대한 두 가지 기본 네트워크 구조는 그림 4에 나타난 것과 같이 Star와 Peer-to-Peer로 구성된다. Star 토폴로지에서는 네트워크 노드들은 단순히 하나의 중앙 제어기 즉, 네트워크 조정자와 통신할 수 있다. 네트워크 장치는 몇몇 연합된 기능을 갖고, 네트워크 통신에 대한 시작점이나 종료점이 된다. 네트워크 조정자는 네트워크 주위에서 통신을 시작하거나 끝내거나, 라우팅하기 위해 사용되며, 굳이 호스트 PC가 될 필요는 없다. 다른 기술들과 비교되는 한 가지는 노드들이 일반적으로 양방향일 때, 단방향 노드들은 매우 제한된 네트워크 접근이 허용되는 것인데, 두 네트워크 장치들 사이의 메시지는 가상의 Peer-to-Peer 링크를 통해 교환될 수 있다. 이때 메시지 프레임은 네트워크 조정자를 통해 라우팅 된다. Star 토폴로지는 PC 주변기기

와 홈 오토메이션 제품들에 적합하다. 이들 두 가지의 기본적인 네트워크 타입 외에도, Cluster-tree 토폴로지와 같은 좀 더 복잡한 네트워크 구조가 가능하다. 지능형 농업, 산업 제어 및 감시, 무선 센서 네트워크, 자산 및 재고 추적, 보안 등과 같은 어플리케이션에 이 네트워크가 적합하다고 볼 수 있다. 배터리를 동력으로 하는 노드들은 전형적으로 전력소비를 줄이기 위한 듀티-사이클(duty-cycling) 기법을 사용하는데, 실제로 네트워크에 참여하지 않는 Sleep 상태에서도 대부분 이들 장치들이 최소의 전원으로 연결되도록 해준다.

IEEE 802.15.4 물리계층은 다음과 같이 PHY 데이터 서비스(Data service)와 PHY 관리 서비스(management service)를 지원한다.

- 무선영역의 활성화 및 비활성화
- 채널 주파수의 선택 (Channel frequency selection)
- 현재 사용하는 채널의 에너지 검출(Energy

Detection)

- 노드간의 전송특성을 나타내기 위한 LQI(Link Quality Indication)사용
- CSMA-CA를 사용하기 위한 CCA(Clear Channel Assessment)지원
- 데이터의 송 수신(Data transmission and reception)

전송 속도는 각 주파수 대역별로 다르며 2.4GHz 대역에서는 O-QPSK 변조 방식을 이용하여 최대 250Kbps의 속도로 전송한다. BPSK 변조 방식을 사용하는 868MHz 대역과 915MHz대역은 각각 20kbps 및 40kbps로 데이터를 전송한다. 이들 세 가지 채널의 중심 주파수는 아래와 같다.

- 유럽에서 이용가능한 866~868.6MHz 대역에서 $f_c = 868.3\text{MHz}$
- 900MHz ISM 대역에서 $f_c = 906 + 2(k-1)\text{MHz}$, $k = 1, \dots, 10$
- 2400MHz 대역에서 $f_c = 2405 + 5(k-1)\text{MHz}$, $k = 11, \dots, 26$

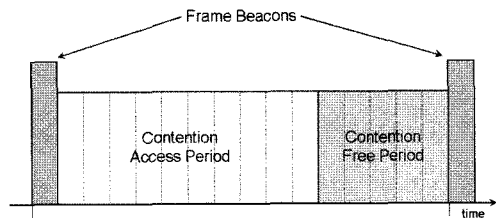
IEEE 802.15.4 MAC의 경우, 두 개의 SPA를 통해 접속될 수 있는 두 가지 서비스를 제공한다. MAC 데이터서비스는 MCPS-SAP(MAC Common Part Sublayer)를 통해 접속되며, MAC 관리서비스는 MLME-SAP (MAC Layer Management Entity)를 통해 접속된다. 이들 서비스는 SSCS나 다른 LLC와 물리계층과의 인터페이스를 제공한다. MAC계층에서 관리하는 것은 다음과 같다.

- 연합(Association) 및 탈퇴(Disassociation)
- ACK프레임 사용
- 채널 접근 방법

- 프레임의 유효성검사
- GTS사용
- 비컨관리

PAN을 시작하기 원하는 장치는 먼저 능동적 혹은 수동적 채널 스캔을 수행해야만 한다. 능동적 채널 스캔은 모든 채널에 비컨 요청 명령을 전송하는 것으로 구성된다. 만약 활성화된 네트워크 조정자들이 있다면, 그들은 비컨 요청명령에 대한 응답으로 비콘을 전송하기 시작한다. 수동적 채널 스캔은 단순히 장치가 모든 채널에서 비콘에 귀기울일 때를 말한다. 스캔이 완전히 끝난후 만약 자신이 동작하고자 하는 채널에 조정자가 없다면, 장치는 적당한 PAN 식별자(identifier)를 선택해야하고, 자기자신을 네트워크 조정자라고 생각하여 PAN을 시작한다. 그후 FFD에 의하여 PAN이 존재함을 알리는 비컨 프레임을 다른 장치들에게 전송하여 기기발견 과정이 시작된다. 이 비컨 프레임을 수신한 장치들은 연합(Association)과정에 의해 그 PAN에 참여하게 된다.

저속 WPAN 표준은 슈퍼프레임 구조의 선택적 사용을 허가하는데, 슈퍼프레임 형식은 네트워크 조정자(PAN 코디네이터)에 의해 정의되며 미리 정한 예정된 시간간격으로 슈퍼프레임 비



<그림 5> 옵션 CFP를 포함하는 슈퍼프레임 구조

컨을 송신한다. 이 간격은 최소 15ms에서 최대 245sec가 될 수 있다. 슈퍼프레임은 그림 5에 보여지는 것 같이 비콘, CAP, CFP를 포함하는 활성화 구간과 비활성화 구간 등으로 구성된다. 이것은 802.15.3에서 사용되는 슈퍼프레임과 유사하지만, 비경쟁 주기(CFP)는 선택사항이다. 두 개의 비콘 간의 시간은 슈퍼프레임의 주기와 무관하게 16개의 동일한 타임 슬롯으로 나누어진다. 디바이스는 타임 슬롯동안 언제라도 데이터를 보낼 수 있으나 다음 슈퍼프레임 비콘 전에 해당 데이터의 송.수신을 완료하여야 한다. 타임 슬롯의 채널 액세스는 상호 경쟁을 한다. PAN 코디네이터인 조정자는 타임슬롯을 지정된 대역폭이나 짧은 지연이 요구되는 단일 디바이스에 할당할 수 있다. 이와 같은 목적으로 할당된 타임 슬롯을 GTS(Guaranteed Time Slots)라 하는데 비콘번호 바로 이전 위치에 할당한다. GTS는 실시간 응용이나 특정한 대역폭을 요구하는 응용 서비스를 위해서 조정자가 제공할 수 있는데 이는 CFP(Contention Free Periods)에 올 수 있다. MAC에서는 보안 서비스가 제공되며, unsecured 모드, ACL 모드, secured 모드의 세 가지 보안 모드로 구성된다. 또한 IEEE 802.11 처럼, IEEE 802.15.4는 네 가지 모든 보안 서비스를 제공하는 CTR + CBC-MAC(CCM)라 불리는 조합된 대칭적 암호화 및 인증 알고리즘을 사용한다.

IV. WPAN 기술의 발전 및 전망

오늘날 시장에 고성능 휴대폰은 블루투스 기능을 가지고 있으며, 수년 내에 거의 모든 휴대폰들이 블루투스 기능을 갖게 되어 자연스럽게

블루투스의 비용을 흡수할 것이다. 또한 블루투스의 본래 목적인 케이블 대체 가능성도 현재까지 합당해 보인다.

최근 고속 WPAN 기술은 데이터 전송속도가 100Mb/s를 넘어 최대 480Mb/s에 이르는 등 획기적으로 그 성능이 발전하고 있다. 이를 가능케 해주는 새로운 물리 계층이 IEEE802.15.3a에서 정의하고 있는 UWB 기술에 기반을 둔 것이고, 진정한 유선케이블 대체를 시도한 것이라 할 수 있다. IEEE802.15.3a의 표준화 작업은 Intel, Texas Instruments, Motorola 등과 같은 거대 반도체 회사들에 의해 주도되었으며, UWB 기술에 초점을 맞추고 창업한 Time Domain[®], XtreamSpectrum[®], Staccato Communications, Inc[®] 등의 회사들 역시 참여했다. UWB의 개념은 약 100년 전에 마르코니에 의해 고안되었는데, 현재 임펄스 방식의 UWB 기술은 1980년대와 1990년대에 개발된 것이 주류이다. 본래 군사 통신용 시스템으로 비밀통신 및 레이더기술로 개발되었으며, 군사용 외에 상업적용도로 UWB가 허가 되어 있지 않았다. 전통적으로 UWB기술은 임펄스와 같은 매우 짧은 펄스가 사용되는 PPM(Pulse-Position Modulation)으로 실현되어왔다. 안테나는 기저 대역 주파수에서 신호를 방출할 수 없기 때문에, 이 펄스들은 반드시 0을 평균으로 갖는다. 만약 펄스폭이 지연확장과 비교해 짧으면, 다중 채널환경에서 좋은 성능을 낼 수 있다. 즉, UWB에서 코히어런스 대역은 신호 대역보다 작고 코히어런스 시간은 심볼 Duration 보다 큰 특징을 갖는다. 2002년 2월에 미국 FCC는 Part 15 규정에서 -41.3dBm/MHz의 평균 방사 제한을 정하고, 비허가 기저대역 상에서는 7500MHz(3100~10600MHz)의 초광대역을 통해 동작하는 것을

허가하도록 개정했다. 이 때 Peak 방사제한은 평균을 넘는 60dB이다. UWB는 20%보다 큰 단편적인 대역(Fractional Bandwidth)을 갖거나 500MHz 혹은 그 이상의 대역을 점유하는 특정 신호로 FCC에 의해 정의된다. 단편적인 대역은 기저대역 대 RF 캐리어 주파수의 비율로 이 대역은 가장 높이 전파되는 방사세기보다 10dB 아래 지점에 의해 제한된다. 향후 4세대 통신의 대역과 혼선을 갖게 될 UWB주파수대역에 대한 전파규제 문제를 놓고 유럽 및 우리나라를 포함한 아시아 국가별로 그 입장차가 다소 다르나, UWB기술의 발전 추이를 볼 때 UWB 저주파수 대역인 3~5 GHz에서 DAA (Detection and Avoidance) 기술이나 듀티사이클(Duty cycling)기술을 적용하는 조건으로 부분적으로 허가하는 방향으로 기술개발이 이루어지고 있다.

사실 IEEE 802에서는 2002년 3월 PAR (Project Authorization Request)가 제출된 이후 다양한 회사들로부터 802.15.3a에 31개의 프로토콜이 제안되었으나, 그 프로토콜의 수는 표준화 그룹내 변별과정을 거쳐 두 개의 주요한 기술로 빠르게 압축되었다. 첫 번째 주요 제안은 임펄스기반의 UWB 기술로, 높은 확산대역 처리이득을 이끌어내는 24 chips/symbol의 DS-SS를 이용한 BPSK와 QPSK 변조를 사용한다. 이 때 5GHz 지역의 UNII 주파수를 제외한 FCC에 의해 허가된 전체 대역을 사용하며, FCC 규정을 만족시키기 위한 제한에 따른 기저대역 신호는 1.368GHz 혹은 2.736GHz이 될 수 있다. 두 번째 주요 제안은 기 제안된 몇몇 제안들을 합한 다중 반송파 전송기술을 기반으로 한 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)의 UWB기술이다. 이 제안에 따르면

신호의 대역은 528MHz이고, 전체 7.5GHz의 넓은 대역을 다중 접근이 용이하도록 만든 작은 대역들 사이에 주파수 도약으로 네 개의 작은 대역으로 나뉘지게 하는 방식으로 부반송파인 캐리어들로 하여금 128-point FFT가 뒤따르는 QPSK 변조로 UWB신호를 생성한다. 첫 번째 제안처럼 이 제안 또한 5GHz UNII 대역을 이용하는 것을 피하도록 하고 있다. IEEE802.15.3a 작업그룹에서는 수년간 이들 두 가지 기술에 대한 성능 우위비교를 통하여 단일 표준화 안을 만들려고 했다. 그러나 인텔 중심의 멀티밴드 OFDM 방식의 MBOA 진영과 Motorola 중심의 임펄스 DS-UWB 기술이 팽팽하게 대립되었다가 2006년 1월 하와이 회의에서 최종적으로 이 표준화 그룹이 해체되면서 IEEE SA 산하에서의 고속 UWB 표준화는 실패한 셈이 되었다. 현재는 UWB 포럼에서 임펄스 방식의 DS-UWB 기술이 단체 표준으로 제정 중이며, MBOA의 Multi-Band OFDM 기술은 ECMA(European Computer Manufactures Association)에서 표준화를 완성하여 현재 ISO/IEC JTC1 SC6에 Fast Track으로 그들의 표준을 국제 표준으로 추진 중이다.

IEEE 802.15.4는 새롭고 빠르게 성장하는 무선 센서 시장에서 강력한 경쟁자로서 다양한 시나리오에 따른 많은 어플리케이션들을 내놓고 있다. 802.15.4 제품은 두 개의 AA 배터리를 장착하고 1년 동안 동작하는데 무리가 없도록 구현될 수 있으며, 이는 저속 WPAN에 내장된 장치형태로 사용된다. 즉, PIR 센서, Cordless 스위치, 지능형 원격 제어와 보안, 조명과 난방, 환기, 그리고 에어컨디션 제어기등이 있다. 또한 이들과 유사한 센서들은 그들의 세심한 움직임 감시하기 위해 빌딩 및 다리 그리고 여타

다른 구조물상에서 인프라 감시용으로 사용될 수 있다. 조만간 이러한 무선 센서들은 산업 제어와 감시, 지능형 농업, 공급망 관리와 자산 추적, 건강 모니터링, 보안 및 군사용 감지 등에서 찾을 수 있을 것이다. 이 때문에 몇몇 회사는 저속 어플리케이션들이 실제로 고속 WPAN보다 더 큰 시장기회를 나타낼 것이라 믿고 있고, Motorola와 Staccato Communications of San Diego, CA, S5, Inc., of Draper, UT 등의 몇몇 창업된 회사들에 의해 확립해왔다. 또한 이 기술을 부흥시키고 다른 업체들의 제품들 간의 상호운용성(Interoperability)을 보장하기 위해서 ZigBee Alliance™라 불리는 업계 컨소시엄을 구성하고 제품에 대한 규격을 완성해 가고 있다. 한편, 올해 3월에 새로운 표준, IEEE 802.15.4a가 발표될 예정에 있는데, 이는 기존 저속 WPAN 장치의 성능을 월등히 뛰어넘을 것으로 예상된다. IEEE 802.15.4a는 임펄스 방식의 UWB기술을 기반으로 최대 2Mbps의 전송속도를 지원하는 물리계층의 변조방식과 주파수대역을 규정하고 있으며, IEEE 802.15.4의 MAC을 수용하도록 정의되어 있다. 특이할 만한 것은 수십 센티미터에서 최대 1m 거리인식을 통한 무선측위기능을 제공하기 때문에 일부 MAC이 수정되었고, 네트워크를 구성하는 장치의 복잡도 유연성을 주기위하여 UWB 신호를 Ternary 부호화하였으며 이는 수신부가 시스템 요구 성능에 따라 coherent 혹은 non-coherent 구조를 선택할 수 있도록 한 것이다. 그리고 2.4GHz ISM 대역의 Chirp SS의 상이한 물리계층을 별도로 규정하고 있다.

가까운 미래에 소비자는 TV 셋, DVD 플레이어, MP3 플레이어, 음악관련 기기, 게임기 등과 같은 소비자 전자 장치들과 사회 인프라를

구성하는 중요 시설물들은 물론 주방용품을 포함한 소비자 주변의 주변잡화에까지도 무선통신기능이 내장된 제품들을 경험하게 될 것이며, 이러한 무선통신기능의 중심에는 언제나 근거리 무선통신기술, WPAN의 역할이 있으리라 보인다.

참고문헌

- [1] 유형준(전자신문), March, 2005.
- [2] Bluetooth Special Interest Group, "Core Specification Version 1.1," Specification of the Bluetooth System, February 22, 2001.
- [3] IEEE Std 802.15.4 IEEE Standard for 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-WPAN), October 1, 2003.
- [4] IEEE P802.15.4a/D4, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), August, 2006.
- [5] Toodor Cooklev, "Wireless Communication Standards," Standards Information Network IEEE Press, 2004.

저자소개



최 성 수

1996년 경원대학교 전자공학과 학사
 1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2002년 Univ. of Minnesota, Twin Cities, Pre-Doctoral Assistant
 2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
 2003년 - 현재 한국전기연구원 융합기술연구단 선임연구원
 2004년 - 현재 과학기술연합대학원대학교 전력정보통신공학과 조교수
 2004년 Univ. of Minnesota, VLSI DSP Lab., 초빙연구원
 2006년 - 현재 ISO/IEC JTC1 SC25 전문위원
 주관심분야 : LR-UWB, WPAN, BPLC, 통신 신호처리 아키텍처, SoC 설계 등



김 영 선

1997년 한양대학교 전자통신공학과 학사
 1999년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2004년 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
 2003년 - 2005년 LG전자 SIC 선임연구원
 2005년 - 현재 한국전기연구원 선임연구원
 주관심분야 : WPAN, 전력선통신, 채널추정, ASIC 설계

용 어 해 설

OFDM

고속의 데이터를 각 반송파가 직교 관계에 있는 다수의 부반송파에 나누어 실어 다중 전송하는 디지털 변조 방식. 보통의 주파수 분할 다중(FDM)에 비해 훨씬 더 많은 반송파의 다중이 가능하므로 주파수 이용 효율이 높고, 멀티패스(multipath)에 의한 심벌 간 간섭(ISI)에 강한 특성이 있어 고속 데이터 전송에 적합하다. OFDM은 802.11 Wireless LAN, DMB(Digital Multimedia Broadcasting), PLC(Power Line Communication), xDSL, 4G 이동통신, 와이브로 등 많은 분야의 핵심 기술로 사용되고 있다.

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, 고속 하향 패킷 접속)

비동기식 3세대 이동 통신의 하향 링크에서 10Mbps 수준의 고속 패킷 데이터 서비스를 제공하는 전송규격. 인터넷 통신은 주로 다운로드가 많아 하향 링크의 고속화가 서비스의 필수 요소이며, 고속 데이터는 주로 정지 상태에서 사용되므로 이러한 조건을 최대한 수용하도록 하향 링크의 전송규격을 개선한 것으로 WCDMA R5에 적용되었다. 기본 개념은 각종 물리 링크나 MAC 링크 기능을 기지국에서 수행토록 하며, 단말기가 기지국에 가깝거나 정지 상태에서는 오버헤드를 줄여 처리 속도를 높인 것으로, 적응형 변복조 및 부호화 방식(AMC: Adaptive Modulation and Coding), 하이브리드 ARQ, 송수신 다중다이버시티(multiple input multiple output), 고속 패킷 스케줄링 등의 기술이 적용되었다.