

主題

IEEE 802.15.4 and ZigBee Protocol : 유비쿼터스 센서 네트워킹을 위한 Active RFID 기술

건국대학교 전기공학과 정 성 훈, 경원대학교 전기정보전자공학부 전 호 인

차 례

제 1 장 서 론

제 2 장 IEEE 802.15.4 LR-WPAN 기술의 PHY 및 MAC 구조

제 3 장 ZigBee 프로토콜

제 4 장 ZigBee 네트워크 계층이 사용하는 AODV 알고리즘

제 5 장 IEEE 802.15.4 MAC과 ZigBee Protocol의 구현

제 6 장 결 론

제 1 장 서 론

유비쿼터스 네트워킹 환경은 사람 주변의 모든 기기가 하나의 네트워크로 연결되어 끊임없이 정보를 주고 받으며 통신을 가능하게 해 주는 전자공간과 실제 공간의 융합이다[1, 2, 3, 4]. 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 “Always Connected”와 “Broadband” 그리고 “Every Device in One Network”의 세 가지의 키워드가 필수적인 요소[2]이다. 이 세 가지의 요소가 충족되려면 많은 기술들이 필요하게 된다.

1984년에 시작된 일본의 TRON 프로젝트는 근본적으로 “모든 물건에 컴퓨터를” 이식하여 사

물과 사람의 위치와 공간 정보, 그리고 속성 정보를 파악하게 함으로써 인간의 생활에 협조적인 기능을 제공하는 Sensor Network이 그 시발점이라는 관점이 차이가 있다는 것이다. 사카무라 겐교수의 접근 방식[5, 6, 7]이 Bottom-Up 방식을 지향한 반면 마크 와이저의 유비쿼터스 네트워킹[8]은 Top-Down 방식에 해당한다고 할 수 있다.

두 사람의 접근에 어떠한 차이점이 존재하든 지금의 유비쿼터스 네트워킹은 이러한 기능 모두를 수용하여 대규모 협조 분산 시스템에 의해 세상의 모든 기기를 하나의 네트워크로 연결함으로써, 언제, 어디서나, 그리고 누구든, 이동 중에도 끊임없이 네트워크에 연결되어 대용량의 통신망을 사용할 수 있고 낮은 요금으로 통신할 수 있는 세상을 제공할 수 있어야 한다.

<그림 1>은 이와 같은 유비쿼터스 네트워킹이 구현된 세 가지의 공간을 다른 관점에서 도식

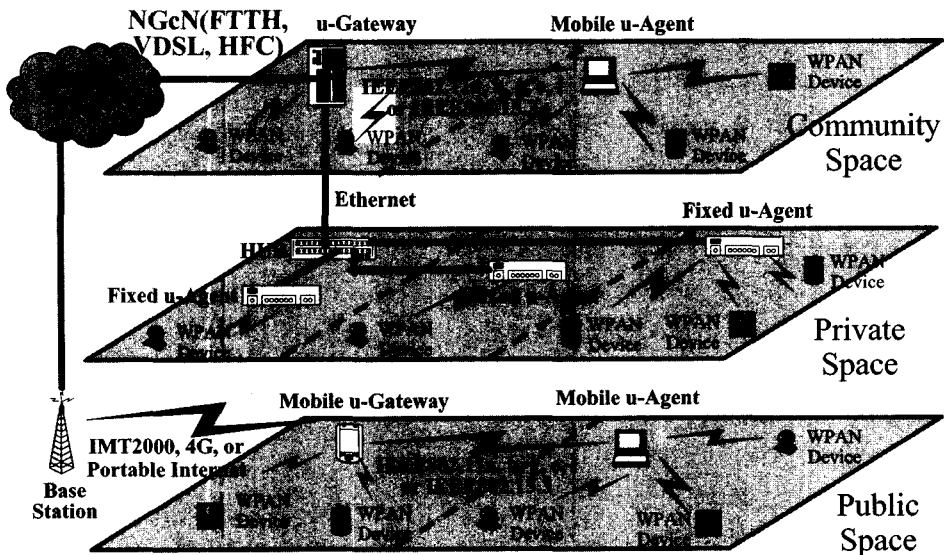
한 것으로, 개념상 개인적인 공간(Private Space), 지역 공간 (Community Space), 그리고 공중 공간 (Public Space)으로 나누었다. 이 세 개의 공간은 개념적인 의미의 부연이지만 각각의 공간은 병원의 경우 세 개의 층을 의미할 수도 있고 고층 아파트의 경우 3개 층의 서로 다른 주택일 수도 있으며 제일 아래에 보이는 Public Space는 일반적으로 사람들이 걸어 다니는 길거리로 간주하여도 무방하다. 그 이유는 IMT-2000이나 휴대 인터넷 기술을 이용하여 항상 네트워크에 연결되어 있기 때문이다.

이와 같은 유비쿼터스 네트워킹 환경 지원에 핵심적인 역할을 담당할 것으로 기대되는 Auto-ID라는 용어는 사물을 인식하는 기술을 대표하여 세계가 공용으로 사용하고 있으며 바코드와 RFID[9, 10]가 이에 속한다. 광학 시스템을 이용하는 바코드는 현재 가장 많이 사용되고 있지만, 바코드와 달리 LOS(Line of Sight)에 물체가 존재하지 않더라도 인식이 가능하며 바코드보다 많은 정보를 기록할 수 있다는 장점과 계속되

는 RFID의 가격 하락(5센트 이내)으로 인하여 RFID의 사용은 획기적으로 증가하고 바코드의 사용은 점차 축소될 것으로 예측된다.

RFID는 매우 다양한 응용 분야를 가지고 있으며[11, 12, 13] 미국의 경우 국방부 조달 적용 사례와 컨테이너 보안 시스템에 적용한 예 외에도 놀이 공원에 적용한 사례가 있다. 또한 Smart Dust 프로젝트는 RFID 기술을 극대화하는 응용 분야를 가지고 있는 것으로 평가된다. 유럽의 경우 메트로의 팔레트와 상품 케이스에 RFID를 부착하여 공급망의 투명성과 효율성을 증가시켰다. 일본은 제조, 유통, 물류, 동물 관리, 항공, 상품 관리, 의료, 운송, 오락 등에 적용하고 있으며 Hitachi의 Meu-CHip은 가장 안정적으로 동작하는 RFID를 이미 상품화하였다.

한국의 경우 이와 같은 유비쿼터스 환경을 지원하는 RFID 기술의 중요성을 인식하고 USN (Ubiquitous Sensor Network)을 포함하여 BcN과 IPv6를 지능 기반 사회인 U-Korea 구현을 위한 첨단 IT 인프라로 규정하고 2004년부터 총



〈그림 1〉 유비쿼터스 환경을 제공하는 세 가지의 공간 및 소요 기술들

67조원을 투입하여 시범망 구축 및 응용 서비스 개발에 주력하고 있다. 이와 같은 인프라는 차세대 신 성장 동력 산업으로서 가장 커다란 각광을 받고 있는 홈 네트워크 시스템[14, 15]에 핵심적으로 중요한 서비스를 제공해 줄 것으로 보인다.

그러나 한국은 물론 대부분의 국가에서 시도하고 있는 RFID 기술은 Passive 시스템이므로 RFID Tag를 부착하고 있는 상품이 RFID Reader기에 가까이 다가와 리더기의 전자파로부터 에너지를 유기할 때까지 동작을 하지 않는 단점이 있다. 이와 같이 Passive RFID Tag는 재고 관리와 물류, 그리고 동물 관리에는 적용하기에 많은 장점이 있으나 사람의 건강을 확인하고 무의식의 상태에서도 센서 데이터를 전송할 수 있는 Active RFID 기술은 매우 중요한 응용 영역을 차지하게 될 것이다. 이와 같은 능동적인 일을 담당할 수 있는 가장 좋은 솔루션이 IEEE 802.15.4 LR WPAN(Low Rate Wireless Personal Area Network) 기술이다[16, 17, 18, 19, 20].

IEEE 802.15.4 LR WPAN 기술은 20, 40, 250 Kbps의 낮은 전송 속도와 매우 저렴한 가격, 그리고 매우 긴 배터리 수명과 간단한 구조 및 연결성을 제공하여, 10m 이내의 작은 범위 내에서 무선 연결을 요구하는 분야에 적합한 표준으로 개발되었다. 주요 적용 분야는 무선 센서를 응용하는 홈 오토메이션이나 용급 상황 감지 시스템, 자동차 타이어 상태 감지 시스템, 헬스케어 시스템을 위한 센서 및 모니터링, 대화형 장난감, 보안 시스템, 창문 개폐 시스템, 냉·난방 제어 등이다.

특히 낮은 전력을 소모하는 IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC 계층 위에 가벼운 ZigBee Protocol Stack을 올려 전력 소모 측면에서 효율성이 있어서 배터리가 수 개월에서 수 년동안 지속될 수 있는 장점을 가지고 있으므로 개인 무선

통신 환경 하의 저속 무선 데이터 통신을 위한 가장 경제적인 솔루션이라고 할 수 있다. 또한, 시스템에 ZigBee를 구현하는 비용이 매우 저렴하기 때문에 네트워크에 더 많은 노드들을 저렴하게 설치할 수 있으며, 구현 측면에서 ZigBee 프로토콜은 IEEE 802.15.1에서 표준화한 Bluetooth[21]나 IEEE 802.15.3 HR(High Rate)-WPAN, 또는 IEEE 802.11x[22] 표준에서 제정된 무선 LAN 프로토콜보다 훨씬 간단하게 구성할 수 있다.

현재 IEEE 802.15.4 PHY 계층과 MAC 계층의 사양은 표준으로 제정된 상태이며, 그 위 계층인 Network 계층과 Application Support 부 계층(APS), 그리고 Application Framework 부 계층과 ZigBee Device Object(ZDO) 부 계층으로 구성된 APL(Application Layer), 그리고 Security Suites 등에 대한 표준은 ZigBee Alliance에서 정의되고 있다. 2004년 6월 현재 각 계층에 대한 표준안의 Version 0.8이 제정된 상태이며 2004년 11월을 목표로 Version 1.0을 준비하고 있다.

본 본문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크로서 가장 많은 관심을 얻고 있는 IEEE 802.15.4 기술과 그 위의 상위 계층에서 구현되는 ZigBee Protocol에 대해 소개하였다. 제 2장에서는 IEEE 802.15.4 PHY 계층과 MAC 계층에서의 동작에 대해 소개하였으며, 제 3장에서는 ZigBee Alliance의 활동과 Protocol Stack에 대해 소개하였다. 특히 유비쿼터스 센서 네트워크에 사용되기 위해 필요한 메쉬 네트워크의 라우팅 방식은 매우 중요한 역할을 차지하게 될 것이므로 제 4장에서는 ZigBee 네트워크 계층이 사용하는 AODV 알고리즘에 대해 소개하였다. 이와 같은 개념을 확인하기 위해 MAC 알고리즘을 AVR 환경에서 구현하였으며 수행된 실험 결과를 제 5장에서 다루었으며 제 6장에서 결론을 맺었다.

제 2 장 IEEE 802.15.4 LR-WPAN 기술의 PHY 및 MAC 구조

제 2-1 절 개요

현재 IEEE 802.15.4 사양은 시장에서 입지를 다두고 있는 여러 무선 네트워킹 표준들과 비교할 때 기술 개발과 시장 형성 과정에서 빠른 성장을 보이고 있다. PHY 계층과 MAC 계층의 표준을 다루는 IEEE 802.15.4 표준화 작업은 완료되었고, 현재 응용 서비스를 위한 시스템 개발에 필요한 상위 계층에 대한 표준화 작업이 ZigBee Alliance에서 진행 중이다. ZigBee의 통신 모드는 마스터-슬레이브 방식을 기본으로 하고 있지만 'Mesh Mode'로 부르는 점 대 점 방식의 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, 이러한 코디네이터 간의 통신이 가능하며 특정 노드가 메쉬 모드의 네트워크 상의 다른 모든 노드들을 인식하지 못할 때 네트워크를 스스로 구성할 수 있다. 인접한 네트워크 및 시스템과의 간섭에 Robust한 기능을 수행할 수 있도록 2.4GHz 대역에서 O-QPSK 변조 방식을 채택하였다.

LR WPAN의 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 있

어서 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, FFD는 FFD 또는 RFD 모두와 통신할 수 있으며 PAN Coordinator, Coordinator, Device 세 가지 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 사용되며 데이터를 전송하기 전에 Backoff Slot을 기반으로 하여 Random Number 동안 기다리며, 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. IEEE 802.15.4 LR WPAN 기술과 ZigBee를 기반으로 하는 센서 네트워크는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

1. 250 Kbps, 40 Kbps, 그리고 20 Kbps의 전송 속도 지원(Over-the-Air Data Rates)
2. 성형 또는 점 대 점 동작 지원(Star or Peer-to-Peer Operation)
3. 16비트 또는 64비트 주소 할당
4. GTS(Guaranteed Time Slots)의 할당
5. CSMA-CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 이용한 채널 접속
6. 전송 신뢰성 보장을 위한 ACK 프로토콜 지원
7. 저 전력 소모(Low Power Consumption)
8. 에너지 검출(Energy detection) 기능
9. 수신된 패킷의 특성을 나타내기 위한 LQI(Link Quality Indication) 사용
10. 2450 MHz 대역에서 16개 채널, 915MHz 대역에서 10개 채널, 그리고 868MHz 대역에서 1개의 채널 사용 가능.

제 2-2 절 IEEE 802.15.4 PHY

IEEE 802.15.4 PHY는 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. 그리고 사용 대역에 따라 전송 속도가 다르며 2.4GHz대역에서는 O-QPSK 변조 방식을 이용하여 250Kbps의 전송 속도를 제공하고, 868/915MHz 대역은 BPSK 변조 방식을 이용하여 각각 20Kbps와 40Kbps 전송 속도를 제공한다. 또한 IEEE 802.15.4 PHY에서는 다음과 같은 서비스를 지원한다.

1. 무선 영역의 활성화 및 비 활성화
2. 현재 사용하는 채널에서 에너지 검출
3. 노드 사이의 전송 특성을 나타내기 위한 LQI(Link Quality Indication) 사용
4. CSMA-CA를 사용하기 위한 CCA 지원
5. 채널 주파수 선택(Channel Frequency Selection)
6. 데이터 송신과 수신(Data Transmission and Reception)

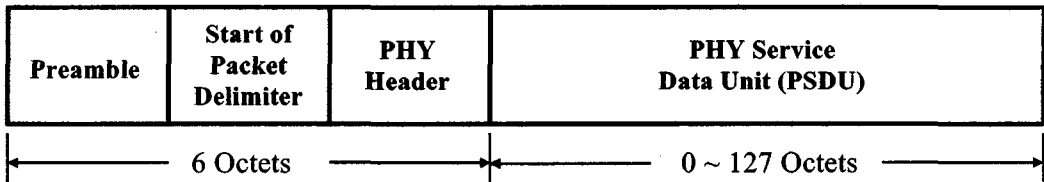
IEEE 802.15.4 PHY 계층의 패킷인 PPDU(Packet Protocol Data Unit)를 살펴보면 먼저 프리엠블 필드는 트랜시버에서 입력되는 메시지를 동기화(Synchronization)하기 위해 사용되고, SoP(Start of Packet) Delimiter는 패킷 데이터의 시작을 나타낸다. PHY 헤더는 7비트의 프레임 길이 필드와 미래의 사용을 위해 예약된 1비트로 구성되어 있으며, 프레임 길이 필드는 PSDU에 포함된 전체 Octet 각각의 number가 가지는 값을 정의한다. PSDU(PHY Service Data Unit) 필드는 가변 길이로서 PHY 패킷 데이터를 운반하며 IEEE 802.15.4 PHY 계층의 패킷의 구조는 <그림 2>와 같다.

제 2-3 절 IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC 프리미티브

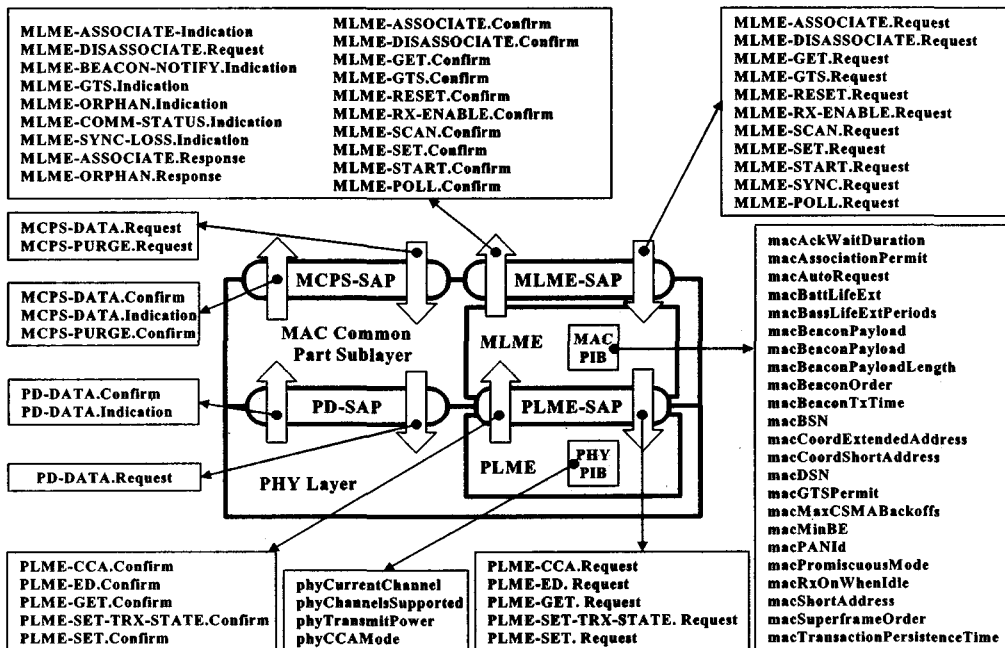
IEEE 802.15.4 표준은 무선 PAN 시스템을 두 개의 부분으로 나누어 기술하고 있다. 그 중의 하나가 Data Link 층의 낮은 부 계층인 MAC(Medium Access Control) 부분이고, 나머지 하나는 물리 계층인 PHY이다. 이 두 계층은 OSI(Open System Interconnection) 7 계층의 참조 모델 중에서 가장 낮은 두 개의 층에 해당한다. 이 두 개의 계층 사이를 통해 전송되는 데이터 및 관리용 데이터 프리미티브들을 IEEE

802.15.4 LR-WPAN 참조 모델을 기반으로 하여 <그림 3>에 나타내었다.

<그림 3>에 보인 바와 같이 각각의 프로토콜 계층 사이를 거쳐 데이터가 전달될 때에는 SAP(Service Access Point)을 거치게 된다. 이 SAP들은 그를 중심으로 양 쪽의 층으로부터 PIB(PAN Information Base)에 정의된 서비스의 Primitive에 대한 구조를 파악하여 그에 해당하는 데이터를 전달하게 된다. 제 2-4절에서는 <그림 3>에서 정의된 각각의 Primitive들에 대해 구체적으로 설명하겠다.



<그림 2> IEEE 802.15.4 PHY 계층 패킷 구조



<그림 3> IEEE 802.15.4 LR-WPAN 참조 모델 및 프리미티브들

제 2-4 절 IEEE 802.15.4 MAC Primitives

IEEE 802.15.4 MAC은 연관(Association) 및 탈퇴(Disassociation), Ack 프레임 사용, 채널 액세스 메카니즘, 프레임 유효성 검사, GTS 사용, 비컨 등을 관리한다. MAC은 상위 계층으로 2개의 SAP를 통해 접속될 수 있는 2종의 서비스를 제공한다. MAC 데이터 서비스는 MCPS-SAP(MAC Common Part Sublayer)를 통해 접속되며, MAC 관리 서비스는 MLME(MAC Layer Management Entity)-SAP를 통해 접속된다. 이들 서비스는 SSSC나 다른 LLC와 물리계층과의 인터페이스를 제공한다. MAC 프리미티브를 살펴보면 다음과 같다.

MAC 데이터 서비스인 MCPS-DATA 프리미티브는 MAC 계층과 PHY 계층 간에 데이터 패킷을 교환하게 해 주는 서비스이다. MCPS-PURGE 프리미티브는 전송 열에 대기 중인 MSDU(MAC Service Data Unit)를 버퍼에서 지우는 서비스이다.

MAC 관리 서비스인 MLME-ASSOCIATE/DISASSOCIATE 프리미티브는 네트워크 연관 및 탈퇴 서비스를, MLME-SYNC/SYNC-LOSS 프리미티브는 단말기 사이의 동기화를 제공해주는 서비스이다. MLME-SCAN 프리미티브는 RF(Radio Frequency) 채널을 찾는 서비스이며 MLME-COMM-STATUS 프리미티브는 통신 상태를 알리는 서비스이다. MLME-GET/SET 프리미티브는 MAC PIB 파라미터를 설정하고 수정하는 서비스이며 MLME-START/BEACON-NOTIFY 프리미티브는 비컨 관리 서비스이다.

MLME-POLL 프리미티브는 비컨없이 동기화시키는 서비스이고 MLME-GTS 프리미티브는 GTS 관리 서비스이다. MLME-RESET 프리미티브는 PAN을 시작하기 전에 리셋하도록 요청

하는 서비스이고 MLME-ORPHAN 프리미티브는 통신이 두절된 단말기 관리 서비스이다.

한편 PHY 계층의 프리미티브를 살펴보면 다음과 같다. PHY 데이터 서비스인 PD-SAP 프리미티브는 MAC 계층과 PHY 계층간에 데이터 패킷을 교환하는 서비스이고, PHY 관리 서비스인 PLME(PHY Layer Management Entity)-CCA(Clear Channel Assessment) 프리미티브는 PHY 계층에서 CCA를 지원하는 서비스이다. PLME-ED는 에너지 검출 서비스이고 PLME-GET/SET은 PHY PIB 파라미터를 설정하고 수정하는 서비스이다. PLME-SET-TRX-STATE는 트랜시버를 Enable하거나 Disable하는 서비스이다.

제 2-5 절 IEEE 802.15.4 MAC 데이터 포맷

<그림 4>는 MAC Layer에서 IEEE 802.15.4 표준이 사용하는 Frame Format의 전형적인 형태를 나타낸 것이다. <그림 4>에 보인 바와 같이 IEEE 802.15.4 표준의 MAC 프레임은 "Frame Control" 필드와 "Sequence Number" 필드, 그리고 4개의 "Addressing" 필드, "Frame Payload" 필드와 에러 검출을 위한 "FCS(Frame Check Sequence)" 필드로 구성되어 있다.

먼저 "Frame Control Field"에 대해 살펴보면 "Frame Type" 필드가 "000"일 때는 비컨 타입, "001"일 때는 데이터 타입, "010"일 때는 Acknowledgement 타입, 그리고 "011"일 때는 MAC Command 타입을 의미한다. "Security Enabled"는 MAC PIB(PAN Information Base)에 저장된 Key를 사용하여 프레임을 보호하는 암호화 동작을 사용하는 경우 "1"로 설정하고 그렇지 않을 경우는 "0"으로 설정한다. "Frame Pending"은 현재 데이터를 전송한 후에 추가적인 데이터가 있을 때 "1"로 설정하고 더 이상 데이터가 없을 때는 "0"으로 설정한다. 1 비트가 할당된

"Ack Request"는 데이터 또는 MAC Command Frame을 수신하는 수신 단말기가 "1"로 설정되었을 때 Ack 프레임을 보내야 한다. "Intra PAN"은 1 비트가 할당되어 있으며 "동일한 PAN 내에서 MAC 프레임을 전송하거나" 또는 "다른 PAN에서 MAC 프레임을 전송하는지에 따라서 결정된다". 2 비트인 "Destination Addressing Mode"와 "Source Address Mode"는 "00"은 PAN ID와 어드레스 필드가 존재하지 않음을 의미하며, "01"은 사용하지 않는다. 그리고 "10"은 16비트 Short Address 필드를 나타내고 "11"은 64비트 Extended Address 필드를 나타낸다. 8비트 길이를 갖는 "Sequence Number" 필드는 전송되는 프레임에 대한 고유의 시퀀스 ID를 나타낸다.

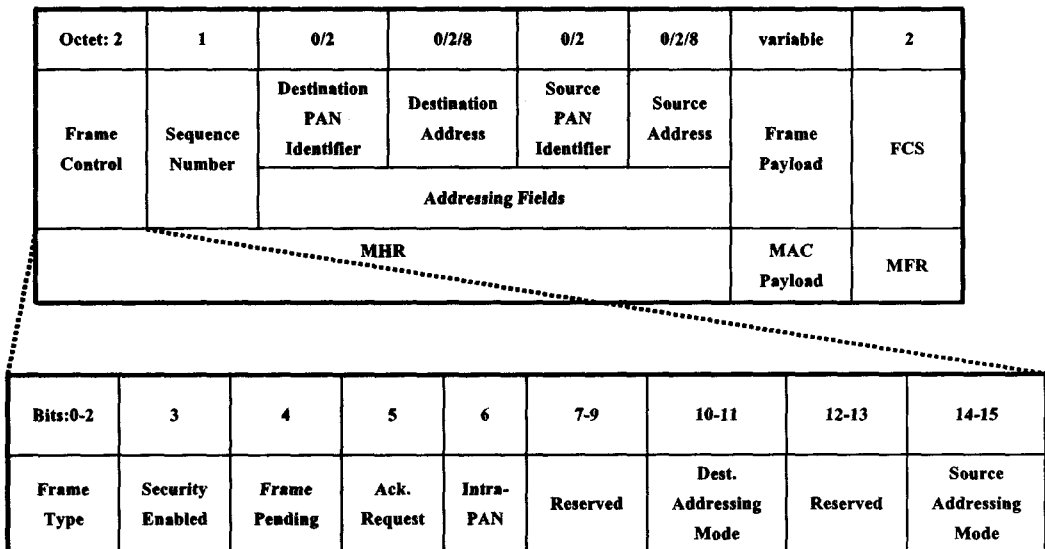
"Destination PAN Identifier" 필드는 16비트 또는 64 비트 길이를 갖고 프레임을 수신하는 고유의 PANID를 나타낸다. "Destination Address" 필드는 16비트 또는 64 비트 길이를 갖고 프레임을 수신하는 기기의 어드레스를 나타낸다. 16비트 길이를 갖는 "Source PAN Identifier"는 프레

임을 전송하는 유일한 PANID를 나타낸다. 16비트 또는 64비트 길이를 갖는 "Source Address"는 프레임을 전송하는 기기의 주소를 나타내는 필드이다. "Frame Payload" 필드는 가변 길이를 갖고 최대 114 바이트, 최소 102 바이트로서 페이로드에 실리는 데이터는 개별적인 프레임 타입을 나타내는 정보를 포함하며 "Security Enabled" 필드가 1로 설정되면 Payload는 Security Suite에 의해 보호받게 된다. 끝으로 "FCS" 필드는 16 비트의 CRC(Cycle Redundancy Code)를 갖는 필드로 다음과 같은 16차 생성 다항식을 이용하여 FCS가 계산된다:

$$G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

제 2-6 절 Superframe 구조

IEEE 802.15.4에서는 응용 분야에 따라 처리 지연 시간이 짧아야 되는 서비스에 적용할 수 있도록 선택 사양으로 슈퍼프레임 구조를 원하는 모드로 운용할 수 있도록 하고 있다. 슈퍼프레임



(그림 4) IEEE 802.15.4 표준이 사용하는 Frame Format

에서는 PAN 코디네이터로 불리는 지정된 네트워크 코디네이터가 사전에 예정된 간격으로 슈퍼프레임 비컨을 송신한다. 이 간격은 최소 15ms에서 최대 245sec가 될 수 있다. 두 개의 비컨 간의 시간은 슈퍼프레임의 주기와 무관하게 16개의 동일한 타임 슬롯으로 나누어진다. 디바이스는 타임 슬롯동안 언제라도 데이터를 보낼 수 있으나 다음 슈퍼프레임 비컨 전에 해당 데이터의 송·수신을 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 5>에서와 같이 다음 비컨 바로 앞에 위치하여 경쟁없이 할당된다. GTS는 실시간 응용이나 특정한 대역폭을 요구하는 응용 서비스를 위해서 코디네이터가 제공할 수 있는데 이것들은 CFP(Contention Free Periods)에 올 수 있다.

IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임 구조를 파악하기 위해 <그림 5>에서 SlotD(Slot Duration)과 Superframe Duration을 계산하면 SSlotD는

$$\begin{aligned} \text{SlotD} &= \text{aBaseSlotDuration} \times 2^{\text{SO}} \text{ [symbols]} \\ &= 60 \times 2^{\text{SO}} \text{ [symbols]} \\ &= 0.96 \times 2^{\text{SO}} \text{ [msec]} \end{aligned}$$

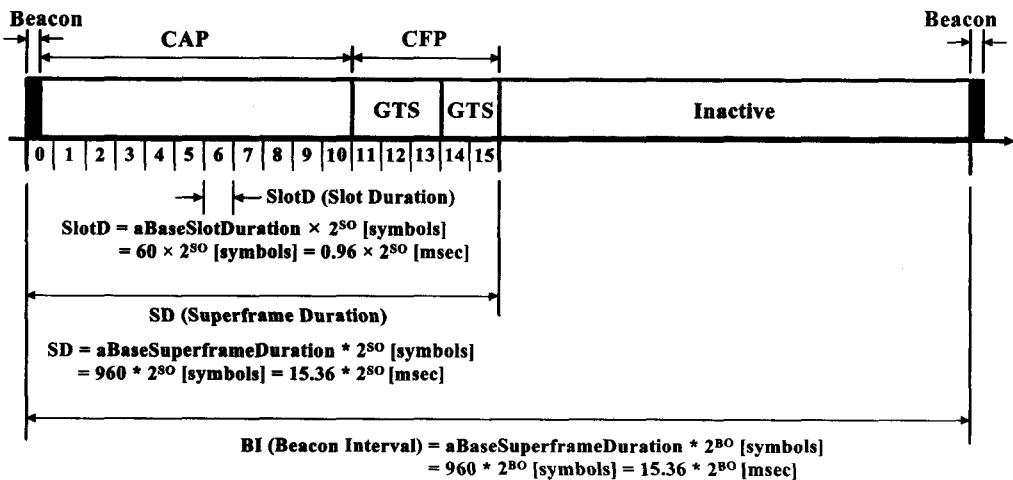
이 되고 Superframe Duration은

$$\begin{aligned} \text{Superframe Duration} &= \\ &\text{aBaseSuperframeDuration} \times 2^{\text{SO}} \text{ [symbols]} \\ &= 960 \times 2^{\text{SO}} \text{ [symbols]} \\ &= 15.36 \times 2^{\text{SO}} \text{ [msec]} \end{aligned}$$

가 된다. 그리고 BI(Beacon Interval)는

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

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



<그림 5> IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조

레이프 구조를 갖지 않게 된다.

제 2-7 절 IFS 구조

IEEE 802.15.4의 MAC 방식은 CSMA/CA를 사용한다. CSMA/CA 알고리즘을 동작하게 하는 주요 개념은 프레임 사이의 시간을 정의한 IFS(Inter-Frame-Space)이다. MAC이 PHY로부터 받은 데이터를 처리하기 위해 IFS(Inter-Frame Spacing)라는 기간을 두는데, 그 데이터의 길이에 따라 SIFS(Short Inter-Frame Spacing)와 LIFS(Long Inter-Frame Spacing)가 있다. <그림 6>은 SIFS와 LIFS를 시간으로 정의한 IFS 사이의 관계를 나타내고 있으며 타이밍을 계산하면 다음과 같다:

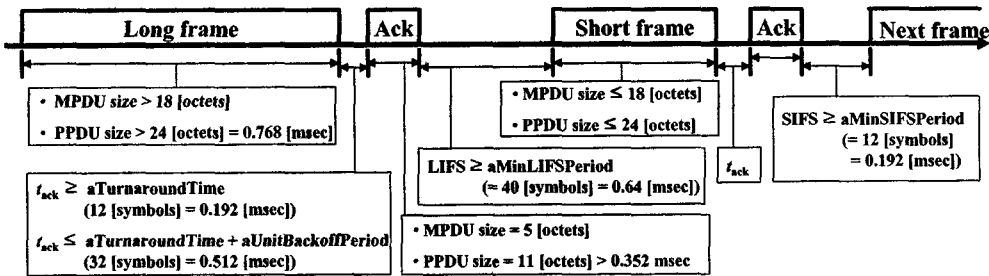
$$\begin{aligned} \text{SIFS} &\geq a\text{MinSIFSPeriod} = 12 \text{ [symbols]} \\ &= 0.192 \text{ [msec]} \\ \text{LIFS} &\geq a\text{MinLIFSPeriod} = 40 \text{ [symbols]} \\ &= 0.64 \text{ [msec]} \end{aligned}$$

MPDU 크기가 18 Octets 이상일 때 Long Frame이라고 부르며 이 때는 PPDU size가 24 Octets 보다 크게 된다. 따라서 이 경우 전송 시 필요한 시간은 0.768 [msec] 이상이 소요된다. MPDU 크기가 18 Octets 보다 작을 때 Short Frame이라고 부르며, 이 경우 PPDU 크기는 24 Octets 보다 작아서 0.768 msec 보다 적은 전송 시간을 필요로 한다. 한편 ACK를 전송할 때는 MPDU 크기가 5 Octet이 되고 이 경우 PPDU 크기는 11 Octet이 되어 전송 시간은 0.352 msec 이상을 필요로 하게 된다. 끝으로 aTurnaroundTime은 12 Symbol 시간이 되므로 0.192 msec이어야 하며 aTurnaroundTime과 aUnitBackoffPeriod 시간을 합치면 32 Symbol이 소요되어 0.512 msec가 된다.

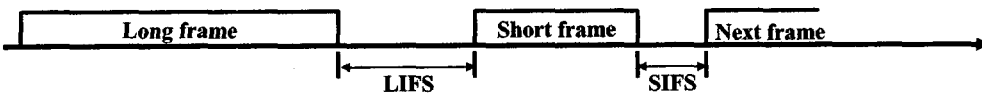
제 2-8 절 Cluster Tree Network 구조

IEEE 802.15.4는 네트워크 계층에서 소모 에너지 관리의 중요성을 고려하여 성형과 점 대 점

(a) Acknowledged Transmission :



(b) Unacknowledged Transmission :



(a) A차가 따르는 전송일 경우 (b) Ack 없이 전송이 이루어지는 경우

<그림 6> SIFS와 LIFS를 기반으로 데이터를 전송하는 타이밍도

네트워크 토폴로지를 모두 지원한다. 이 같은 토폴로지는 응용 서비스 분야에 따라 다르게 설계되며, PC 주변 장치인 경우 스타 토폴로지가 될 것이고, 광범위한 지역의 보안 서비스의 경우는 점 대 점 네트워크 토폴로지가 될 것이다. <그림 7>은 점 대 점 네트워크의 특별한 형태인 Cluster Tree Network이다. 이는 Cluster 단위의 PAN들이 서로 연결되어 Multi-Cluster 형태의 네트워크로 그 범위가 커질 수 있는 확장성을 가지고 있다. 그러나 이와 같은 Multi-Cluster 형태의 네트워크 구조는 적용 범위를 넓혀서 10m 이상의 전파 도달 거리를 벗어난 경우에도 Multi-Hop 구조를 이용하여 데이터를 전송할 수 있는 장점이 있는 반면 메시지의 지연 시간이 길어질 수 있다는 단점을 가지고 있다.

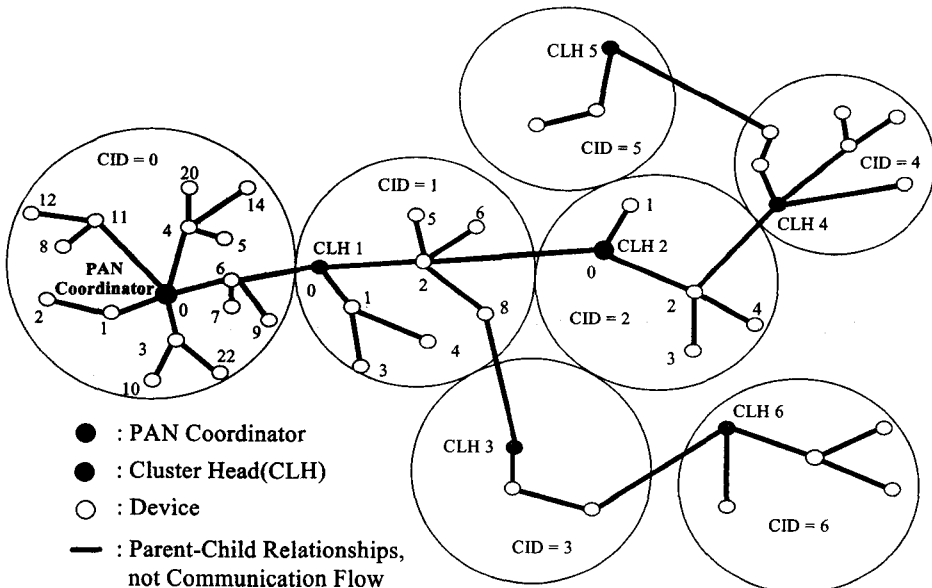
IEEE 802.15.4에서 코디네이터는 네트워크 설정, 비컨 전송, 노드 관리, 노드 정보 저장, 그리고 연결된 노드 간의 메시지 경로를 설정해야 한다. 하나의 PAN이 생성되어 운용되는 절차를 살펴보면, 우선 각 디바이스들은 사용 가능한 통신

채널을 파악하기 위해 명시된 채널 리스트를 스캐닝하게 되는데, 이 스캐닝이 끝나고 중복되지 않는 PAN ID를 선택하면 FFD에 의해 하나의 PAN이 생성된다. 그 후 FFD에 의하여 PAN이 존재함을 알리는 비컨 프레임을 다른 디바이스에게 전송함으로써 Device Discovery 과정이 시작된다. 이 비컨 프레임을 들은 디바이스들은 Association 과정에 의해 그 PAN에 참여하게 된다.

제 3 장 ZigBee 프로토콜

제 3-1 절 ZigBee Alliance 개요

ZigBee Alliance는 2003년에 완성된 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 그 상위 계층의 표준을 제정하기 위해 발생한 표준 활동 그룹으로서 수 개월로부터 수년까지의 배터리 수명을 갖는 낮은 데이터 전송률의 솔루션을 개발하여 이 기술을



<그림 7> Cluster Tree Network

표준화하고 있다. Bluetooth와 비교해 볼 때 ZigBee는 보다 싼 가격과 낮은 데이터 전송률, 그리고 이를 활용한 저 전력 소모의 특징을 지니고 있으며, 성형은 물론 메시 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. 2004년 6월 현재 ZigBee Draft 버전 0.8이 완료된 상태이고, 기능적인 측면을 추가하여 2004년 11월 목표로 버전 1.0을 위한 작업이 진행되고 있다.

Marketing Working Group에서는 ZigBee 시스템이 활용될 응용을 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 대표적 도출된 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 주목적으로 진행되는 작업 그룹이다. 세부적인 프로파일의 기본 골격이 될 General Operational Framework 버전 0.8이 완료된 상태이고, 세부적인 프로파일

로 현재 Home Control의 근간이 될 Light Sensor 및 Controller, Actuator에 관련된 Attribute 정의가 완료된 상태이다. 한편 네트워크 Working Group에서의 주목적은 네트워크 계층의 기능 정의 및 수행 방식에 대한 정의 및 응용 계층(Application Sublayer)과의 인터페이스에 대한 드래프트 작업이다. 본 목적에 부합해서 0.80 버전의 네트워크 및 응용 계층 드래프트가 완성되었다. 현재는 다중 홉 기반의 네트워크를 고려하는 라우팅 프로토콜이 버전 1.0 드래프트에서 관련 기술과 함께 완성될 예정이고, 또한 네트워크 유지 관리에 필요한 세부 기술들이 포함될 것으로 예상된다.

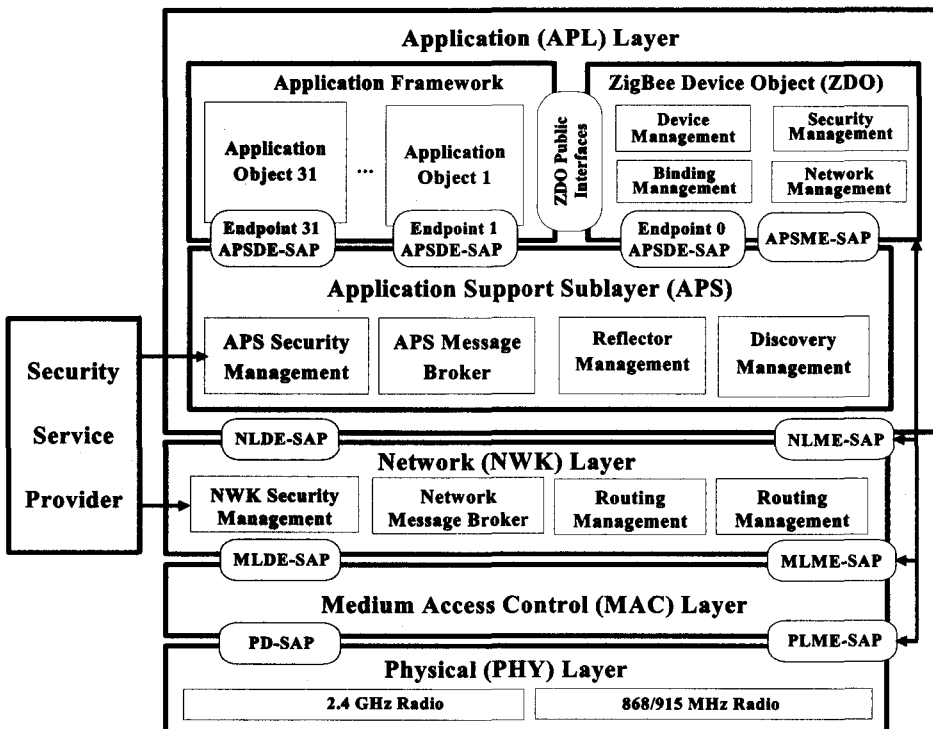
제 3-2 절 ZigBee 프로토콜 스택

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 8>은 ZigBee의 프로토콜 스택 구조를 나타낸 것이다. PHY와 MAC 상위 계층의 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 의미한다. 그리고 연결된 디바이스들 사이에 메시지를 전달하는 동작을 서비스하며 디바이스의 주소와 서비스를 파악하는 Discovery 동작 및 APS 계층에서의 보안 관리를 지원한다.

제 3-3 절 네트워크 계층에서 사용하는 프리미티브 (Primitive in Network layer)

네트워크와 디바이스 관리를 위해 ZigBee 코디네이터와 라우터는 디바이스가 네트워크에 합류(Join), 이탈(Leave)하는 것을 수락하고 논리적 주소를 분산하여 할당하며 이웃하는 디바이스의 리스트를 유지 관리한다. NLDE(Network Layer Data Entity)-DATA는 MAC 계층의 MCPS-DATA와 연관하여 서비스를 호출하고, NLME(Network Layer Management Entity)-NETWORK-DISCOVERY는 MLME-SCAN 프리미티브와 연관하여 서비스를 호출하며, NLME-NETWORK-FORMATION은 MLME-RESET, SCAN, SET, START 프리미

티브 서비스와 연관하여 서비스를 호출한다. NLME-JOIN은 MLME-SCAN, ASSOCIATE, COMM-STATUS, ORPHAN과 연관하여 서비스를 호출하고 NLME-LEAVE는 MLME-DISASSOCIATE와 연관하여 서비스를 호출한다. NLME-RESET은 MLME-RESET과 연관하고 NLME-RX-STATE는 MLME-POLL, SYNC, RX-ENABE 프리미티브와 연관하여 서비스를 호출한다. MLME-ROUTE-DISCOVERY는 MAC 계층에서 라우팅을 지원하는 프리미티브가 없으므로 NLDE-DATA와 연관하여 서비스를 호출한다. <표 1>은 서비스를 지원하는 네트워크 계층의 프리미티브를 MAC 계층의 프리미티브 서비스와 연관하여 정리한 것이다.



<그림 8> ZigBee 스택 구조

제 3-4 절 클러스터 트리 네트워크에서 라우팅(Routing in the Cluster Network)

다중 홉 기반의 메시 토폴로지 지원에 따르는 계층적 라우팅의 논리적 주소 할당은 <그림 9>와 같다. <그림 9>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 이용하

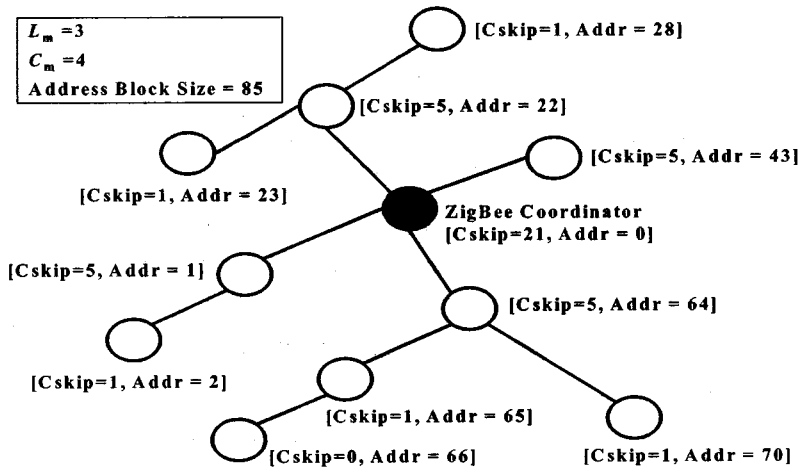
면, 네트워크 레벨 각각에 계산된 어드레스 블록 사이즈인 $C_{skip}(\text{Address Block Size for Each Children})$ 과 하나의 네트워크 내에 모든 단말기를 수용하기 위한 전체 Address Space인 $B_{size}(\text{Block Size})$ 는 다음의 식으로 계산된다:

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

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

<표 1> MAC 프리미티브와 연관된 네트워크 프리미티브

Primitives in NWK Layer	Related IEEE 802.15.4 MAC Services
NLDE-DATA	MCPS-DATA
NLME-NETWORK-DISCOVERY	MLME-SCAN
NLME-NETWORK-FORMATION	MLME-RESET, SCAN, SET, START
NLME-PERMIT-JOINING	MLME-SET
NLME-JOIN	MLME-SCAN, ASSOCIATE, COMM-STATUS, ORPHAN
NLME-LEAVE	MLME-DISASSOCIATE
NLME-RESET	MLME-RESET
NLME-GET, NLME-SET	X
NLME-ROUTE-DISCOVERY	By using NLDE-DATA
NLME-RX-STATE	MLME-POLL, SYNC, RX-ENABLE



<그림 9> 다중 홉 기반의 메시 토폴로지 지원에 따르는 계층적 라우팅의 논리적 주소 할당

<그림 9>의 상황을 위의 식에 대입하면 $Bsize = (1 - 256)/(1 - 4) = 85$ 가 되고 $Cskip \text{ at level } 0 = (85 - 1)/4 = 21$, $Cskip \text{ at level } 1 = (85 - 1 - 4)/(4 \times 4) = 5$, $Cskip \text{ at level } 2 = (85 - 1 - 4 - 16)/(4 \times 4 \times 4) = 1$ 됨을 알 수 있다. Address는 처음 ZigBee 코디네이터와 통신하는 $Cskip = 5$ 인 노드는 1에서 21까지의 Address를 가지게 되고 그 다음 ZigBee 코디네이터와 붙는 $Cskip = 5$ 인 노드는 22에서 42까지의 Address를 가지게 된다. 이 후에 ZigBee 코디네이터와 붙는 $Cskip = 5$ 인 노드는 43부터 63, 그리고 64부터 85까지의 어드레스를 가질 수 있게 된다. $Cskip = 1$ 인 경우에는 1에서 5, 23에서 27, 28에서 32, 65에서 69, 그리고 69에서 73까지의 어드레스를 가질 수 있게 된다. $Cskip = 0$ 인 노드는 $Cskip = 1$ 인 노드의 주소에 1이 더해진 값의 어드레스를 갖는다.

제 3-5 절 보안(Security)

현재 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 1.0을 진행 중에 있고, 현재 상호 연동 테스트를 위한 Security 측면의 테스트 계획 수립 작업을 진행하고 있다.

제 4 장 ZigBee 네트워크 계층이 사용하는 AODV 알고리즘

제 4-1 절 AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)

Reactive Routing Protocol (요청될 때만 라우팅 정보를 얻을 수 있는 프로토콜)인 AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)는 Ad-hoc 네트워크에서의 요구 기반(On Demand) 라우팅 프로토콜로서 Ad-hoc 네트워크 내의 모든 노드들은 데이터 전달이 있는 라우팅 경로 정보만을 라우팅 테이블에 유지 및 관리하게 된다. 데이터 전달이 필요한 소스 노드는 요구 기반 방식으로 목적지 노드까지의 최단 경로를 라우팅 경로 탐색 과정을 통해 찾아낸다.

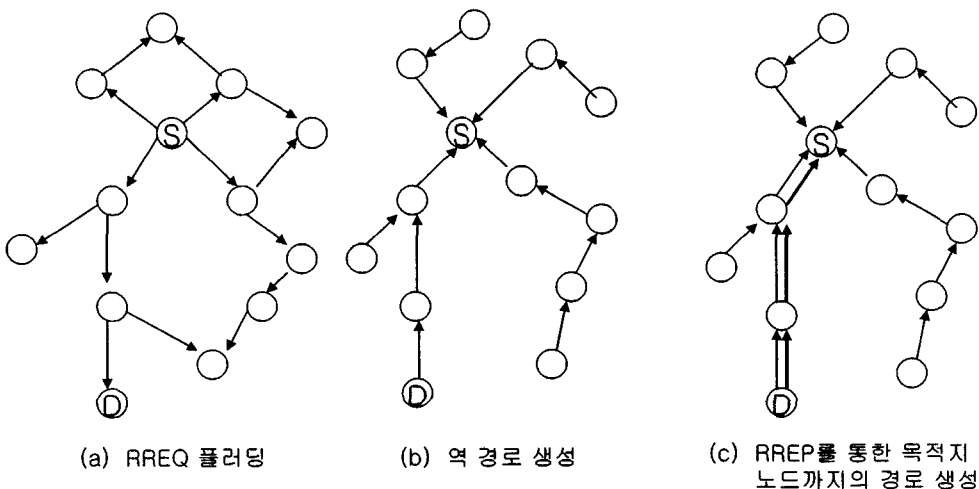
AODV가 경로 탐색 및 유지관리를 위해 사용하는 메시지 타입에는 RREQ(Route Request), RREP(Route Reply), RERR(Route Error), RREPACK(Route Reply Acknowledgement)의 4가지 타입이 있는데 RREQ는 소스 노드가 목적지 노드를 찾기 위해 (즉, 경로를 만들어 달라고 요청하기 위해) 사용하는 메시지 타입이며 RREQ를 발생 시키는 노드는 데이터 전달을 처음에 요구한 소스 노드와 경로에 문제가 생겼을 때 경로 복구를 위해 경로 복구 작업을 시작하는 중간 노드가 될 수 있게끔 되며 이들 노드들은 RREQ 메시지를 Ad-hoc 네트워크 내에 플러딩(Flooding)하게 된다. 여기서 플러딩(Flooding)이란 라우팅 정보를 인접한 라우터에 모두 전송함으로써 인하여 무선 네트워크에서 데이터 전송의 홍수 사태가 일어남을 의미한다.

RREQ를 수신한 노드는 자신이 목적지 노드이거나 또는 목적지까지의 라우팅 경로를 알고 있다면 RREP 메시지를 사용하여 응답하게 된다. RREP 메시지는 RREQ를 처음에 송신한 노드(RREQ 소스 노드)에게 유니캐스트 방식으로 전달된다. RREQ를 받은 노드가 자신이 목적지 노드도 아니고 목적지 노드까지의 경로를 알고 있지 않다면, RREQ 소스 노드까지의 역 경로(Reverse Route)를 라우팅 테이블에 저장한 후, 받은 RREQ 메시지를 이웃 노드에게 전달

(Forwarding)하게 된다. RREP-ACK는 RREQ 소스 노드가 RREP를 수신한 후 이에 대한 응답을 위해 사용하는 메시지 타입이다. RERR은 목적지 노드까지 가는 경로가 단절되었을 때, 경로 단절을 소스 노드에게 통보(Notify)하기 위해 사용된다. RERR을 받은 소스 노드는 목적지 노드까지의 새로운 경로를 생성하기 위해 새로운 경로 탐색 과정을 시작하게 된다. <그림 10>은 AODV 프로토콜에서 경로 생성 과정을 그림으로 표현한 것이다. <그림 10a>는 RREQ가 플러딩 되는 상태를 나타내는데 RREQ를 수신한 노드들은 먼저 자신이 목적지 노드인지를 검사한다. 만약 목적지 노드가 아니면 RREQ의 Hop Count를 1씩 증가시켜서 인접한 이웃 노드들에게 RREQ를 플러딩한다. <그림 10b>는 모든 노드들이 RREQ를 받았을 때, 역 경로 상태를 나타낸 것이며 <그림 10c>는 목적지 노드에 의하여 생성된 RREP가 소스 노드에게 전달되는 과정을 나타낸 것이다.

제 4-2 절 ZigBee 네트워크 계층에서 사용되는 AODV 알고리즘

ZigBee 네트워크 계층에서는 라우팅 알고리즘으로 논리적 주소(Logical Address)에 기반한 계층적 라우팅(Hierarchical Routing) 방식과 라우팅 테이블을 사용하는 Table-Driven Routing 방식, 그리고 On-demand 경로 탐색(Route Discovery)방식을 사용하는 라우팅 알고리즘을 사용하는데 여기서 AODV와 유사한 On-demand 경로 탐색(Route Discovery)방식은 라우팅 테이블을 갖는 RN+ 노드에서만 사용하며 경로 탐색(Route Discovery)을 위해 RREQ(Route Request)와 RREP(Route Reply)의 두 가지 메시지 타입을 사용하며 AODV에서 사용하는 RERR(Route Error), RREPACK(Route Reply Acknowledgment)는 사용하지 않는다. 경로 탐색을 시작하기 전에 ZigBee 네트워크에서 사용하는 기본 라우팅 알고리즘을 사용하여 라우팅 테이블 엔트리를 체크해서 엔트리에 속한 노드는 경로 탐색을 하지 않고 바로 다음 홉(Next-hop)으로 경로 설정하고 엔트리에 속하지 않은 노드는 경로 탐색을 시작한다. 경로 탐색(Route Discovery) 방식에서 RREQ(Route Request)는 Broadcast Route Request 방식으로 사용되며

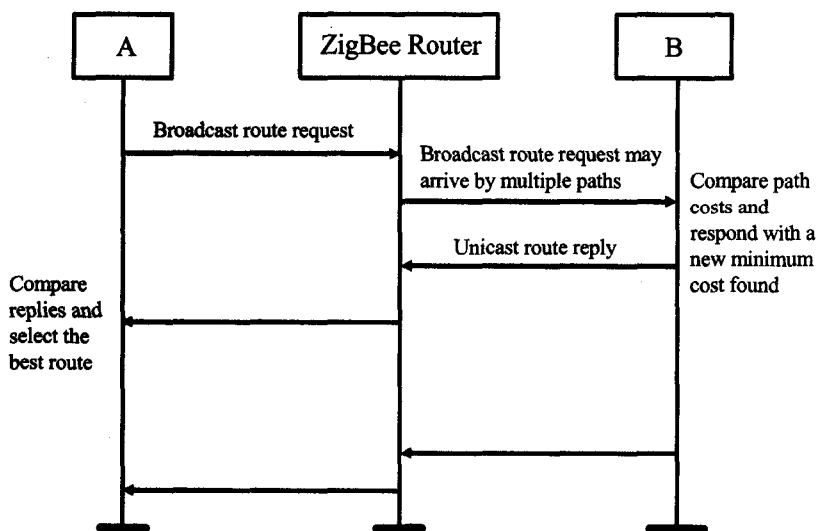


(그림 10) AODV의 경로 탐색(Route Discovery) 과정

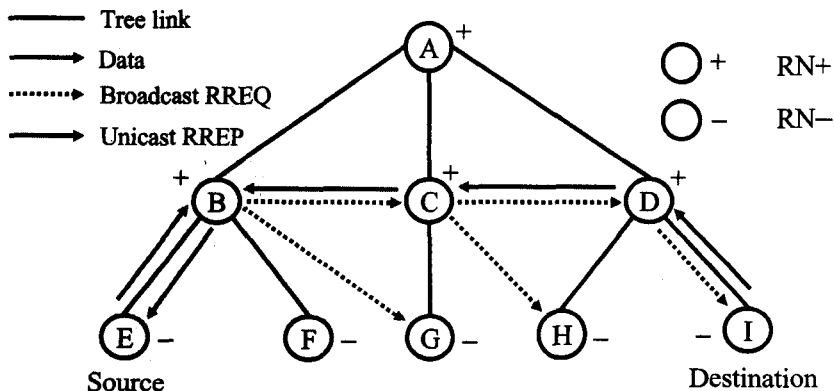
RREP(Route Reply)는 Unicast Route Reply 방식으로 사용된다. <그림 11>은 ZigBee Network Layer Specification Version 0.80의 경로 탐색을 나타낸 그림이다. 노드 A는 목적지 노드 B를 찾기 RREQ를 브로드캐스트하고 RREQ가 목적지 노드 B에 도달하면 목적지 노드 B는 RREQ(Route Request)를 유니캐스트하게 되며 기본적인 개념은 AODV에서 사용된 경로 탐색 과정과 유사함을 알 수 있다.

<그림 12>은 ZigBee 네트워크 계층에서 사용

하는 계층적 라우팅(Hierarchical Routing)방식을 설명한 것으로, 라우팅 테이블을 가지고 있는 RN+ 노드와 라우팅 테이블이 없는 RN- 노드에서 경로 탐색(Route Discovery)을 통한 데이터 전송의 간단한 예를 나타낸 것이다. 소스 노드 E가 자신의 부모 노드(Parent Node) B에게 데이터를 전송하면 E의 부모 노드이며 라우팅 테이블을 갖고 있는 노드 B는 RREQ를 보냄으로써 경로 탐색(Route Discovery)을 시작하게 된다. 이 사이에 데이터는 노드 B에서 버퍼링하고 있



(그림 11) 경로 탐색(Route discovery)



(그림 12) 경로 탐색(Route Discovery)을 통한 데이터 전송의 예

다. RREQ는 노드 C와 D를 거쳐 목적지 노드 I에 도달하게 되고 목적지 노드 I는 RREP로 응답(Reply)하게 되며 경로 탐색을 시작한 노드 B에서 목적지 노드 I가 전송한 RREP를 수신하게 되면, 버퍼링하고 있는 데이터를 B에게 전송하게 된다. 데이터를 전송하기 전에 경로 탐색 과정 RREQ와 RREP를 통해 최종 경로는 E-B-C-D-I로 설정된다.

제 5 장 IEEE 802.15.4 MAC과 ZigBee Protocol의 구현

제 5-1 절 개요

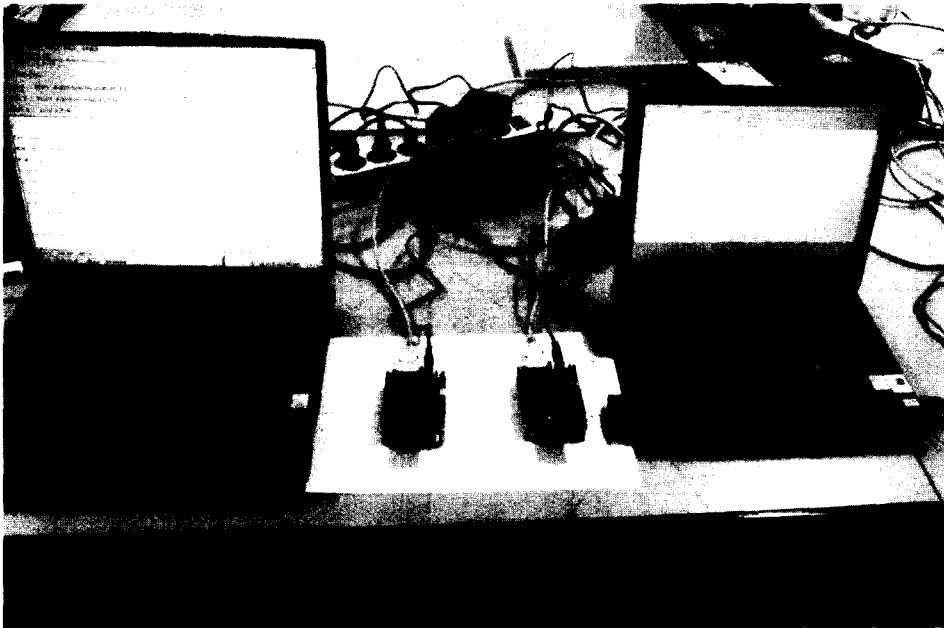
본 장에서는 <그림 13>에 보인 바와 같이 Chipcon에서 개발한 RFIC 칩을 이용하여 ZigBee 단말기를 제작하고 이를 기반으로 하여 MAC 프로토콜을 소프트웨어로 구현한 후, 이

단말기를 두 대의 PC 또는 노트북에 RS-232로 연결하여 무선으로 데이터 통신을 실현한 결과를 모니터링할 수 있는 시스템에 대해 설명하였다. 실험에 사용된 단말기의 사양은 다음과 같다.

- MPU: ATmega 128L, 8MHz
- RF 모듈: CHIPCON CC 2420 V.1.01 (ZigBee 2.4GHz)
- 동작 전압: 3V
- 커넥터: JTAG, ISP, RS-232(TTL), 외부 DC 입력 단자(3V)
- 기타: Reset 버튼, LED(전원, Test), Dip Switch(4pin)

제 5-2 절 데모 시나리오

데모 시나리오는 개발 모듈의 1번 스위치를 누르면 Non Beacon-Enabled PAN이 시작되고 이를 표시하는 해당 LED가 켜지도록 하였고, 개발 모듈의 2번 스위치를 누르면 Beacon-Enabled PAN이 시작되고 역시 이를 표시하는 해당 LED



<그림 13> 실험에 사용된 기기

가 켜지도록 하였다. 개발 모듈의 3번 스위치는 이미 다른 개발 모듈이 Non Beacon-Enabled PAN 또는 Beacon-Enabled PAN으로 시작한 상태에서 PAN에 Join하도록 하고 이를 LED로 디스플레이하였다. <그림 14>는 PAN에 Join하는 동작을 GUI로 구현한 화면이다.

제 5-3 절 단말기에 사용된 MAC 알고리즘

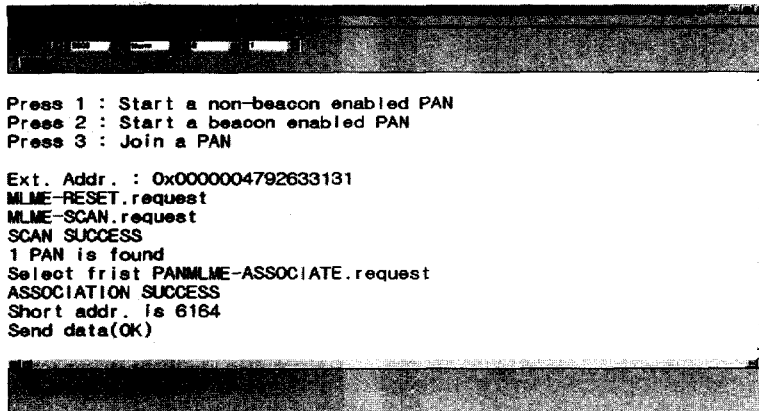
ZigBee MAC 프로토콜을 구현하기 위한 알고리즘은 스위치 번호에 따라 Non Beacon-Enabled PAN 혹은 beacon-enabled PAN 중에 하나를 결정하도록 하고 IEEE 802.15.4 표준 사양을 따르는 프리미티브 MLME-RESET.request를 True로 설정하여 모든 MAC PIB Attributes 값을 초기화하기 위해 리셋한다. 그 후 임의로 만든 함수 MLMESetReqest (mac_short_ADDRESS, myShortAddr)와 MLMESetReqest (MAC_ASSOCIATION_PERMIT, TRUE)를 설정하여 Short Address를 할당하고 Association을 허용하도록 한다.

그리고 IEEE 802.15.4 표준 사양을 따르는 프리미티브 MLME-Start.Reqest의 파라미터 중에 (PANID, CHANNEL, BO, SO)값을 설정하여

BO(Beacon Order)값과 SO(Superframe Order)값에 따라서 Non Beacon-Enabled PAN 또는 Beacon-Enabled PAN 가운데 하나로 동작하도록 한다. IEEE 802.15.4 표준 규격에 정의되었듯이 BO와 SO값은 15로 설정되면 코디네이터가 Beacon Frame을 전송하지 않으므로 Non Beacon-Enabled PAN으로 동작하게 되고 0에서 14사이로 설정하면 Beacon-Enabled PAN으로 동작하게 된다.

제 6 장 결 론

유비쿼터스 네트워킹 환경이란 이 세상의 모든 기기가 하나의 네트워크에 연결됨으로써 언제, 어디서나, 모든 기기와 사람이 필요한 정보를 주고 받으며 우리의 생활을 더욱 더 풍요롭게 만드는 환경을 의미한다. 이와 같은 특전을 위해서는 “상시 접속”과 “브로드밴드화”, 그리고 “모든 기기의 네트워킹화”가 필수적이다[2]. 이 세 가지 기술이 완성되면 사용자와 네트워크의 다양화 및 유통 콘텐츠의 대용량화, 그리고 네트워크에 접속되는 기기의 증대로 인하여 다양한 새로운 기술의 발전이 이루어지게 된다. 이 중 대표적인



<그림 14> PAN에 Join해서 데이터를 전송한 화면

것이 상태 감지, 위치 추적 능력의 확대가 일어나게 되며 커뮤니티의 파워가 증대하게 되고 형태지의 교환 및 공유가 가능해져서 기존의 기술로는 얻을 수 없었던 많은 새로운 시장이 창출되는 것이다.

유비쿼터스 네트워킹을 통해 누릴 수 있는 사업 모델로는 개인 시장을 대상으로 하는 컨시어지형 사업 모델과 기업 대상의 지적 자산 관리형 사업 모델, 그리고 공공 분야를 대상으로 하는 대역 계층형 사업 모델이 있다. 건강 화장실이나 홈 시큐리티 등과 같은 불안 해소형 사업 모델이 컨시어지형 사업 모델이라면 형태지에 의한 지식의 증폭과 커뮤니티에서의 지식의 집적으로 인한 데이터 베이스화 등이 지적 자산 관리형 사업 모델이며, 교통계와 환경계, 그리고 국토 관리계 등에 사용되는 자동 요금 징수 시스템, 수목 관리 RFID Tag 등이 대역 계층형 사업 모델에 해당한다. 이와 같은 사업 모델을 통하여 2005년에는 총 580조원의 시장 창조 효과가 있는 것으로 분석되고 있다.

그러나 이와 같은 시장 창조 효과를 거두기 위해서 가장 먼저 고려해야 할 사항은 유비쿼터스 네트워킹 환경의 구현을 통해 얻으려는 서비스를 먼저 정의하여야 한다는 것이다. 이 서비스는 말하자면 건물을 짓기 전에 어떤 용도의 건물을 지을 것인가를 먼저 고려하여 설계를 하는 것과 마찬가지로의 개념이다. 이러한 서비스가 정의되면 이 서비스를 제공해 줄 기술의 수준이 정의되고 정의된 기술의 수준을 하나의 통일된 표준으로 가져감으로써 전체 시장의 규모를 확대해 나갈 수 있기 때문이다. 따라서 이 시점에서 가장 먼저 해야 할 일은 홈 네트워킹 기술의 방향과 서비스의 수준을 정의한 후 이 수준에 따라 한국형 유비쿼터스 네트워킹 환경의 실체를 정의하는 것이고 이를 구현하기 위한 차세대 통합 네트워킹의 사양을 결정해야 한다.

조금 더 구체적으로 설명하면 유비쿼터스 네트워킹 환경은 유선을 이용한 광대역 통신망을 이용한 백본 망을 사용하여야겠지만 단말과 센서 사이에는 무선 통신 시스템일 수 밖에 없다. 이와 같은 무선 통신 기술에 RFID 기술이 적용되어 앞으로 많은 서비스 모델이 커다란 시장을 형성할 것으로 보이지만 대부분의 RFID 응용은 Passive 기기에 대한 물류 확인 및 재고 관리 등이 대부분이었다. 사람의 경우는 의식이 없이 쓰러져 있는 경우에도 필요한조치를 취해주어야 하므로 센서 네트워크로는 저전력을 소모하는 IEEE 802.15.4 기술을 사용하고 그 위에 ZigBee Alliance가 정의하는 프로토콜을 구현하면 그 응용 분야는 Passive RFID가 가지고 있지 않은 다양한 응용 분야에 적용될 수 있을 것으로 보인다.

세계적으로 센서 네트워크에 대한 데이터 포맷은 IEEE 1451 표준화위원회에서 정의하고 있으며 IEEE 1451.5 Task Group에서는 IEEE 1451.1, 2, 3, 4에서 정의한 센서 데이터들을 무선으로 전송할 수 있는 규격을 제정하고 있는 표준화 단체이다. 이 표준화 단체에서 Bluetooth나 IEEE 802.11b 대신 IEEE 802.15.4 LR WPAN 기술을 센서 네트워크의 가장 좋은 기술로 채택한 것은 시사하는 바가 크다.

본 본문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크로서 가장 많은 관심을 얻고 있는 IEEE 802.15.4 PHY 계층과 MAC 계층에서의 동작에 대해 소개하였으며, ZigBee Alliance의 활동과 Protocol Stack에 대해 소개하였다. 특히 유비쿼터스 센서 네트워크에 사용되기 위해 필요한 메쉬 네트워크의 라우팅 방식은 매우 중요한 역할을 차지하게 될 것이므로 ZigBee 네트워크 계층이 사용하는 AODV 알고리즘에 대해 소개하였다. 이와 같은 개념을 확인하기 위해 MAC 알고리즘을 AVR 환경에서 구현하였으며 수행된 실험 결과를 소개

하여 이 기술의 미래에 대해 보다 구체적인 가능성
성을 확인할 수 있도록 하였다.

References

- [1] 하원규, 김동환, 최남희, 유비쿼터스 IT 혁명과 제 3공간 - 물리공간과 전자공간의 융합, 전자신문사, 2003.
- [2] 노무라 총합연구소, 유비쿼터스 네트워킹과 시장창조, 전자신문사, 2003.
- [3] 노무라 총합연구소, 박우경, 김의 역, 유비쿼터스 네트워크와 신사회 시스템, 전자신문사, 2003.
- [4] 전 호인, 신 용섭, “유비쿼터스 네트워킹 시대를 위한 차세대 네트워크 기반 기술 및 무선 홈 네트워킹 기술,” 한국통신학회지, 제 20권, 제 5호, pp. 156 - 173, 2003년 5월
- [5] 사카무라 켄, 유비쿼터스 컴퓨팅 혁명, 동방미디어, 2002.
- [6] 사카무라 켄, 21세기 일본의 정보 전략, 동방미디어, 2003.
- [7] 사카무라 켄, “유비쿼터스 컴퓨팅 - 그 실현을 위해,” u-Korea Forum 창립기념세미나, pp. 5-76, u-Korea Forum 준비위원회, 전자신문사, 한국전자통신연구원, 동방미디어, 2003년 4월 15일.
- [8] M. Weiser, “The Computer for the 21st Century,” *Scientific America*, pp. 94-104, Sept., 1991; reprinted in *IEEE Pervasive Computing*, pp. 19-25, Jan.-Mar. 2002.
- [9] 이 근호, 한 호현, 조 영빈 공역, 유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심 RFID Handbook, (주)영진닷컴, 2004년 3월 10일.
- [10] 이 근호, 이 기혁, 한 호현 공역, 유비쿼터스 컴퓨팅 핸드북, 진한도서, 2003년 3월 3일.
- [11] 김 유정, “USN 서비스 현황 및 전망,” 정보과학회 2004 봄 학술발표회 워크샵 - IT와 차세대 성장 동력, pp. 297 - 319, 2004년 4월 23일 - 24일.
- [12] Heicheol Kim, “‘RFID’ Changes the World,” 2004 RFID 국제심포지엄, 한국 RFID 협회, pp. 27 - 63, 2004년 2월.
- [13] 유 준재, “유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 무선 센서 네트워크 기술,” 정보과학회 2004 봄 학술발표회 워크샵 - IT와 차세대 성장 동력, pp. 320 - 358, 2004년 4월 23일 - 24일.
- [14] Theodore B. Zahariadis, *Home Networking Technologies and Standards*, Artech House, Inc., Boston, 2003.
- [15] 전 호인, “차세대 성장 동력을 위한 홈 네트워킹 기술의 발전 방안과 대응 과제,” *Telecommunications Review*, SKTelecom, pp. 137 - 169, 2004년 1월.
- [16] IEEE 802.15.4-2003 IEEE Standard for Information Technology-Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS), 2003.
- [17] Ed Callaway, Paul Gorday and Lance Hester, “Home Networking with IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Rate Wireless Personal Area Networks”, in *IEEE Communications Magazine*, August 2002.
- [18] J. A. Gutierrez et al., “IEEE 802.15.4: A Developing standard for Low-Power, Low-Cost Wireless Personal Area Networks,” in *IEEE Networks*, Sept. 2001
- [19] Jose A. Gutierrez, Edgar H. Callaway, Jr., and Raymond L. Barrett, Jr., “Low-Rate

- Wireless Personal Area Networks: Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4", IEEE Press, 2003
- [20] Data Sheet for CC2420 2.4GHz IEEE 802.15.4/Zigbee RF Transceiver, Available Online at http://www.chipcon.com/files/CC2420_Data_Sheet_1_0.pdf
- [21] IEEE 802.15.1-2002 IEEE Standard for Information Technology - Telecommunication and Information Exchange between Systems - LAN/MAN - Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks(WPANs), 2002.
- [22] IEEE 802.11-1999 IEEE Standard for Information Technology - LAN/MAN - Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1999.
2002. 4 - 현재: ISO/IEC JTC1 SC25 전문위원회 위원장
2000. 1 - 현재: 1394 Forum 의장
2003. 11 - 현재: ISO/IEC JTC1 SC25 WG1 Convener
1992. 3 - 현재: 경원대학교 전기정보전자공학부 교수
- <관심 분야> Home Networking, Ubiquitous Networking, UWB, IEEE 1394, Wireless 1394, IEEE 802.11, IEEE 8902.15.3, IEEE 802.15.4 ZigBee, BcN
- 정 성 훈**
- 1996년 2월 : 순천향 대학교 전자공학과 졸업
- 2001년 3월 - 현재 : 건국대학교 대학원 전자공학과 재학중
- 2002년 4월 - 현재 : (주)레이텍 연구원
- <관심 분야> 무선 통신, 유비쿼터스 네트워킹

전 훈 인

1981. 2 연세대학교 전자공학과 학사

1984. 2 연세대학교 전자공학과 대학원 석사

1990. 12 (M) The University of Alabama in Huntsville 공

학박사

2002. 9 - 현재: Binary CDMA 포럼 국제협력분과 위원회 위원장
2002. 5 - 현재: Home Station 포럼 의장
2002. 4 - 현재: 초고속 무선랜 포럼 표준규격분과 위원회 위원장