

u-City 공공 서비스 및 부가 서비스 구현을 위한 최적의 USN 아키텍처로서의 WiBEEM 기술

경원대학교 | 전 호 인

1. 서론

다양한 첨단 건설 기술 및 정보통신 기술을 적용하여 새로운 개념의 도시를 건설함으로써 입주자로부터 하여금 안전하고 편리하며 윤택하고 건강한 삶을 제공하는 u-City 건설이 디지털 컨스전스의 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. 실질적으로 U-City 건설 시 가장 어려운 부분 중의 하나는 연간 40억원 이상이 지속적으로 소요되는 U-City 통합 운영 센터 관리비 부담의 문제이다. 지자체가 공공 서비스를 제공하면서 사용료 등을 징수하여 이 관리비를 충당하는 것은 마치 정부가 수익 사업을 하는 것으로 인식될 수 있기 때문에 바로 추진하기는 불가능한 일이다. 그렇다고 특정 지역의 U-City 주민들을 위해 그 시의 세금을 사용하는 것은 그 U-City에 주거하지 않는 시민들에게는 형평성의 문제를 야기시킨다. 지속적인 관리비 부담을 최소화하기 위하여 초기 투자비용이 들기는 하지만 지자체가 자체 비용으로 자가망을 구축하는 것이 유일한 대안이다. 그러나 법적인 문제를 해결하기에는 앞으로 많은 시간이 필요해 보인다.

관리비 문제를 해결할 수 있는 방안으로 그 U-City의 부가 서비스를 제공하는 ISP 사업자가 공공 서비스와는 차별화되는 다른 부가 서비스를 제공하면서 여기에서 창출되는 수익의 일부를 그 u-City의 관리비로 충당하자는 안이 현재 다양한 한국의 USP(U-City Strategic Planning)를 담당하는 SI 업체들이 제시하는 방안이기도 하다. 문제는 어떤 부가 서비스를 제공하는 것이 그 U-City에 거주하는 사람들에게 충

분한 만족감을 줄 것이냐 하는 것이며 추가의 서비스 사용료를 지불할 정도의 부가 서비스는 어떤 것이 있느냐는 것이다. 여기에 이와 같은 여러 가지의 부가 서비스를 제공한다고 하더라도 이들 서비스 사이에 반드시 제공해 주어야 할 일은 서비스 간 상호운용성(Interoperability between Services)이다. 즉 하나의 서비스를 받기 위해 어떤 IT 단말기(유비쿼터스 통합 단말기라고 부름)를 소지하고 다닌다면 이 통합 단말기 하나로 그 U-City가 제공하는 모든 서비스를 향유할 수 있어야 한다. 예를 들어 U-Parking Lot 서비스를 받기 위해 휴대하고 다니는 유비쿼터스 통합 단말기를 이용하여 다른 위치에 있는 U-Restaurant 서비스를 받을 수 있어야 하는 것이다.

또한 이 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 Forum에서는 U-City 간 상호운용성(Interoperability between u-Cities)이라 부른다. 서비스 간 상호 운용성은 각 지자체의 u-City 담당자의 의지에 의해 구현 가능하지만 U-City 간 상호운용성은 정부가 관여하여 여러 다른 지자체에게 표준화된 방안을 제시해 주지 않고서는 보장되지 않는다. 이러한 상호 운용성을 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 상호 운용성은 물론 U-City 간 상호 운용성을 지원할 수 있는 방안이 지원되는지를 파악해야 한다.

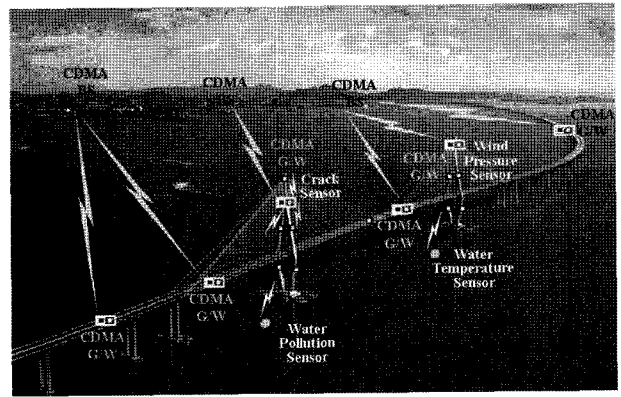
본 고에서는 U-City Forum 기술분과위원회에서 U-City 기술의 표준화를 위해 먼저 고려한 몇 가지 서비

스를 소개하고 이들 서비스가 필요로 하는 기능과 요구 사항에 대해 알아 본 후 표준화를 필요로 하는 기술 중 USN 기술로 사용 가능한 몇 개의 근거리 무선 통신 기술에 대해 소개하였다. 현재 Bluetooth 기술이나 IEEE 802.15.4 PHY와 MAC Protocol Stack 위에 구현되는 ZigBee 기술, 그리고 IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network 기술과 IP-USN 기술은 나름대로의 문제점과 한계점을 가지고 있다. 이 문제들을 해결하고 U-City 핵심 부가 서비스에 적용하여 서비스 간 상호 운용성을 제공해 줄 수 있는 새로운 기술로 현재 U-City Forum에서 표준화가 이루어진 WiBEEEM(Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh network)에 대해 소개하였다.

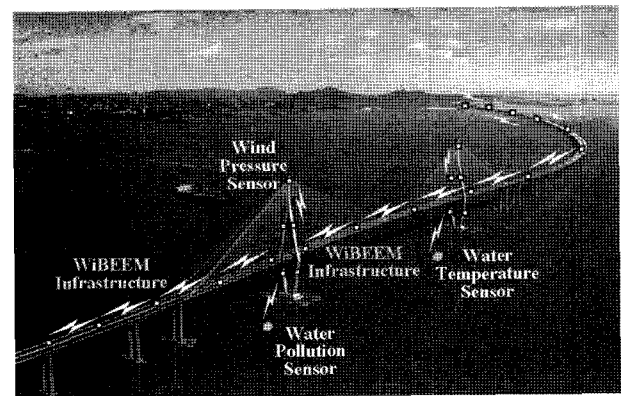
2. U-City 공공 서비스 및 부가 서비스의 종류와 특징

U-City Forum 산하 기술 분과 위원회에서 가장 먼저 고려한 U-City 공공 서비스는 그림 1에 보인 바와 같은 교량 관리 서비스이다. 그림 1에 보이는 다리는 인천대교이며 서해안에서 부는 바닷 바람의 풍압이 매우 높아 다리의 안전성을 계속 모니터링하여 매 1분마다 센싱 정보를 u-City 통합 운영 센터에 송부함으로써 교량의 안전 상황을 점검하는 것이 본 교량 관리 서비스의 핵심이다. 이 서비스를 구현하기 위해 다양한 기술을 적용할 수 있지만 2007년 현재 구현 가능한 기술은 CDMA 망을 이용하는 것으로 그림 1(a)에 나타내었다. 교량의 풍향과 풍압을 측정할 수 있는 센서를 교각과 상판의 필요한 위치에 설치하고, 센싱 정보를 근거리 무선 통신 모듈이 설치되어 있는 Gateway까지 무선으로 전송하면 CDMA 모델을 통해 이동 통신망을 이용하여 u-City 통합 운영 센터까지 송부하는 시스템이다.

그림 1(a)에 보인 바와 같이 이동 통신망을 이용한 교량 관리 시스템은 이미 구축된 이동 통신망을 활용한다는 점에서 쉽게 구축할 수 있는 장점을 갖고 있지만 매 월 주민들의 세금으로 고가의 이동 통신망 사용료를 지불해야 하는 것은 지자체의 예산 사용에 대한 제약점으로 인하여 이 서비스를 공공으로, 즉 무료로 제공할 수 없게 된다. 이와 같은 이동 통신망 사용료 지급에 관련된 문제는 주파수 사용료를 지불하지 않는 2.4 GHz부터 2.4835 GHz까지 83.5 MHz의 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역을 이용하면 가능하다. 그러나 2.4 GHz 대역을 이용하여 공공 서비스를 제공하려면 한국의 전자파 사용 기준을 따라야 하는데 현재의 주파수 법 상 최대 100m 이상의



(a) 이동 통신망을 활용한 현재의 실시간 교량 관리 시스템



(b) Mesh Network를 지원하는 USN 망을 이용한 미래의 실시간 교량 관리 시스템

그림 1 u-City 공공 서비스 중의 하나인 교량 관리 서비스

전송 거리를 지원할 수 없다. 또한 저 전력의 통신 기술을 적용하려면 근거리 통신 기술을 적용하여야 하며 다양한 위치에 산재되어 있는 센싱 정보를 이동 통신망의 도움 없이 통합 운영 센터까지 전송하려면 절전형 메쉬 네트워크의 도입이 핵심이다. 그림 1(b)는 이와 같은 요구를 충족시킬 수 있는 USN 기술을 적용하여 교량을 관리하는 시스템을 나타낸 것이다.

그림 1(b)에 나타난 WiBEEEM 기술은 Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh network의 약자로 전체 메쉬 네트워크가 비컨 정보로 동기화되어 안정적으로 절전형 메쉬 네트워크 기술을 구현하여 다리 건너편에 있는 통합 운영 센터까지 센싱 정보를 무료로 전송할 수 있다. 또한 메쉬 네트워크를 통해 센싱 정보를 전달하므로 교량 주변의 수질이나 수온 등과 같은 환경에 관련된 센싱 정보도 WiBEEEM 기술을 이용하여 전송이 가능하므로 교량 관리 시스템으로 제 2, 제 3의 서비스 함께 제공할 수 있어서 활용도를 높일 수 있으며 서비스 간의 상호 운용성은 물론 다른 u-City가 같은 USN 기술을 적용했을 경우 u-City 간 서비스의 상호 운용성도 지원되는 장점이 있다.

여기서 한 가지 더 강조할 부분은, 교량 관리를 위해 설치한 USN 인프라인 WiBEEM 기술이 기기의 이동성을 지원하면 이 교량 위를 지나가는 모든 차량과의 무선 통신에 의해 교량의 상태를 실시간으로 운전자에게 알려 줄 수 있을 뿐만 아니라 ITS 서비스의 지원도 가능하다는 것이다. 즉 교량의 안전성도 운전자가 직접 파악하여 위급한 상황에 대한 조치를 즉시에 내릴 수 있으며, 교량 건너편의 교통 정보는 물론 자신의 목적지까지의 모든 도로 상의 교통 상황도 파악할 수 있게 해 준다. 이와 같은 다양한 서비스의 융합은 사용하는 USN 기술의 표준화가 급선무이며 이에 대한 표준화 작업을 u-City Forum에서 준비하고 있는 것이다.

앞에서 설명한 교량 관리 서비스 및 이의 구현 기술은 단순히 교량 관리에 머물지 않고 이 기술을 그대로 다른 시설물 관리에도 바로 적용된다. 예를 들어 터널 내부의 안전 관리나 지하철 안전 관리 시스템, 그리고 건축물 관리 등은 고가의 이동 통신망을 사용하지 않고도 WiBEEM 기술과 같은 메시 네트워크 지원 절전형 무선 통신 기술로 구축이 가능하다. WiBEEM 인프라가 도시 전체에 설치되어 있으면 u-수호 천사와 같은 서비스도 함께 지원된다. 예를 들어 치매 환자나 어린이의 위치 추적을 위해 대상자의 손목에 저가의 전용 단말기를 착용시키고 USN 인프라 기술로 WiBEEM을 이용하면 무료로 이와 같은 서비스가 가능해지는 것이다.

이상에서 u-City를 위한 공공 서비스 및 이의 구현 기술을 소개하였다. 다음으로 u-City를 위한 부가 서비스 및 이의 구현 기술에 소개하겠다. U-City Forum

산하 기술분과위원회에서 고려한 U-City 부가 서비스는 그림 2에 보인 바와 같은 U-Parking Lot 서비스이다. U-Parking Lot 서비스가 커다란 관심을 보인 이유는 우선 지하 주차장에 들어 갈 경우 사람들이 휴대하고 다니는 유비쿼터스 통합 단말기에 내장된 GPS 수신기가 위성으로부터 오는 GPS 신호를 수신할 수 없기 때문에 이동통신망을 활용한 LBS(Location-Based Service) 서비스가 지원되지 않는다는 것이다. 또한 CDMA 단말기를 이용한 위치 인식 기능은 그 해상도의 한계로 인하여 지하 주차장에 사용할 수 있는 정보를 얻을 수 없는 것이 문제이다. 지하 주차장에서 사용자의 위치를 파악할 수 없으므로 위치 정보를 얻을 수 있는 정보통신 인프라가 필요하며 최적의 선택은 10m 혹은 20m 정도의 전송 거리를 지원하는 근거리 무선 통신(SRC: Short Range Communication) 기술이 될 것이다. 이를 이용하여 U-Parking Lot의 Gateway를 구축하면 이 주차장에 진입하는 자동차에 대한 정보를 절전형 메시 네트워크인 WiBEEM 기술로 얻을 수 있다.

최근에 건설되는 주차장을 보면 대부분 주차장 진입구에 LED 디스플레이를 이용하여 주차 가능한 주차면이 B1에 5개, B2에 50개, B3에 3개 등의 정보를 제공하여 운전자가 주차장의 주차 상황을 쉽게 파악할 수 있게 해 준다. 그러나 이 주차장이 제공한 주차 정보는 나보다 먼저 진입한 10대의 차량이 함께 입수한 정보이며 이 상황은 차량이 이동하면서 계속 변화되는 정보이다. 그러나 기존의 주차장은 변화하는 주차 정보를 실시간으로 운전자에게 알려주지 못한다. 더구나 특정 운전자에게 특화된 정보를 제공해 주는

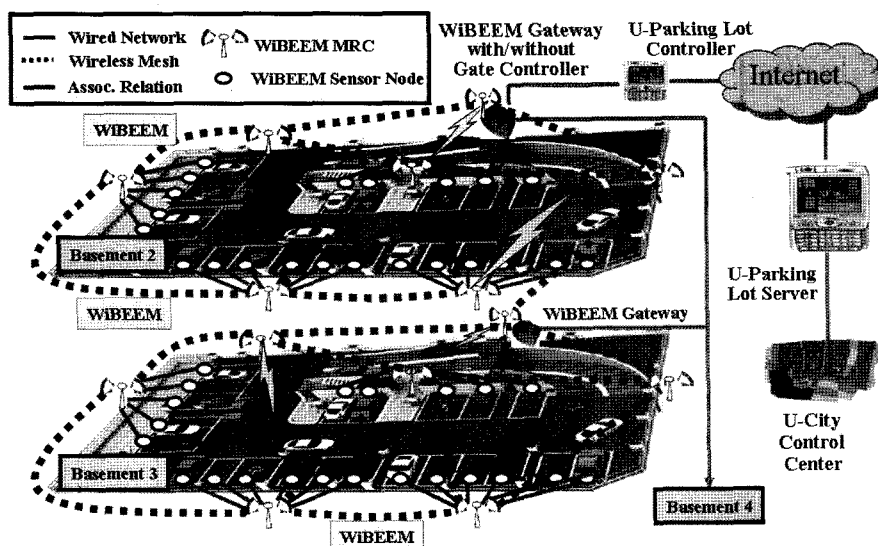


그림 2 u-Parking Lot 서비스의 개념도

것은 불가능하다.

U-Parking Lot 서비스는 운전자가 주차장에 진입하면 무선으로 먼저 운전자의 정보를 자동으로 파악하고, 운전자가 사전에 미리 입력해 놓은 주차면에 대한 우선권을 파악하여 남아 있는 주차면 중에서 가장 우선권이 높은 주차면을 사용자의 유비쿼터스 통합 단말기를 통하여 알려준다. 이 정보를 획득한 운전자는 지정받은 장소로 최고 시속 약 50Km/Hour 정도의 속도로 이동하게 되는데 이동 중에 이 자리가 다른 사용자에게 의해 선점되면 이 사실을 무선으로 즉시 알려주어 U-Parking Lot 시스템에 대한 사용자의 효용성을 향상시킬 수 있다. 또한 이동 중에 보다 높은 우선권이 할당된 주차면이 출차 등으로 인하여 주차 가능 상태가 되면 이동 중에 즉시 이 사실을 알려 주어 보다 나은 곳에 주차할 수 있도록 정보를 제공해 주는 서비스이다. U-Parking Lot에 주차를 하고 업무를 마친 운전자가 주차장으로 돌아와 자신이 주차한 차량의 위치를 파악하지 못할 때에도 사용자가 소지한 통합 단말기로 자신의 자동차가 어디에 주차되어 있는지를 알려 주는 것 또한 중요한 서비스 기능이다.

이와 같은 일을 위해서는 각 주차면마다 그 장소에 차량이 주차되어 있는지에 대한 정보를 실시간으로 파악할 수 있는 센서가 부착되어야 하며 이 센서 정보를 Gateway까지 전송할 수 있는 정보통신 기술이 필요하다. 센서 정보를 전송하는 기술은 Ethernet이나 RS-485와 같은 유선 통신 기술의 사용이 가능하지만 U-Parking Lot의 기능을 수행하려면 무선 통신 기술이 되어야 이동하는 운전자와의 실시간 통신이 가능하며 무선 통신 기술이 메쉬 네트워크 기능을 지원하면 별도의 유선 통신 인프라를 설치할 필요가 없게 되어 사용의 효율성이 높아진다. 또한 하나의 주차장에 주차할 차량의 수는 많게는 10,000개 까지도 가능하므로 하나의 무선망으로 전체 주차장에 설치된 기기를 수용할 수 있는 무선 프로토콜을 사용하는 것이 U-Parking Lot을 관리하는 데에 수월하다. 특기할만한 사실은 Bluetooth와 같은 기술은 하나의 무선망 안에 7개 이상의 기기는 수용할 수 없는 프로토콜이어서 적용할 수 없으며, 최초로 주차장에 진입하는 차량을 Association해 주는 데에 걸리는 시간이 약 3초 정도 걸리므로 시간 지연이 심각한 문제를 야기할 수 있다. 또한 이 프로토콜은 Master-Slave 모드로 동작하므로 Master의 RF영역 밖에 있는 기기와는 통신이 불가능하며 Mesh Network 기능으로 불리는 Scatternet 표준은 아직 완성되지 않았기 때문에 무선 통신 기

술임에도 불구하고 여전히 이종의 유선 혹은 무선 백본 네트워크를 사용하여야 한다. 한편 IEEE 802.15.4 PHY와 MAC 기술을 활용한 ZigBee 기술은 절전형 메쉬 네트워크를 지원할 수 없을 뿐만 아니라 기기의 이동성을 지원하지 못하므로 u-Parking Lot에는 적용할 수 없는 기술이다.

이 외에도 U-City Forum 기술 분과 위원회에서 고려하고 있는 U-City 핵심 서비스에는 U-Home Service가 있다. Home Network 서비스를 유선 통신 기술로 구현하면 유비쿼터스 네트워크 기능을 필요로 하는 언제 어디서나 서비스가 가능한 U-Home 서비스는 불가능해지며 무선으로 구현하면 전파 음영 지역에 대한 문제가 해결되지 않는다. 앞에서 설명한 U-Parking Lot에서 적용한 기술을 이용하면 이 문제를 해결할 수 있으며 이로 인해 U-Healthcare 서비스가 가능해진다. U-Healthcare 서비스는 굳이 Mesh Network의 기능이 없어도 Star 구조만으로 자신의 건강 손목시계를 착용한 환자가 유비쿼터스 통합 단말기를 주머니에 넣고 다니면서 이 서비스를 제공받을 수 있다. 그러나 택 내에서는 유비쿼터스 통합 단말기를 넣을 수 있는 주머니가 달린 옷을 입고 있지 않을 가능성이 매우 높으며 이 경우 전파 음영 지역인 다용도실에서 노모가 의식을 잃을 경우 반드시 메쉬 기능이 있어야 진정한 U-Healthcare 서비스를 지원받을 수 있다. 이미 여러 번 언급하였듯이 하나의 근거리 무선 통신 기술이 그 U-City의 모든 서비스에 적용되어야 서비스 간 상호 운용성이 지원되며 구현 시 기존의 프로토콜과 비교하여 가격의 차이가 없다면 보다 Robust한 표준화된 기술을 적용해야 한다는 것이다.

또 다른 서비스로는 U-Gas Station 서비스나 U-Restaurant 서비스를 들 수 있다. U-Gas Station의 경우 U-Parking Lot 서비스에서 사용하였던 것과 같은 종류의 단말기를 들고 차량이 주유소에 진입하면 Mesh Network를 갖춘 U-Gas Station은 자동으로 운전자와 차량을 인식하여 엔진 오일 교체 시기 등 다양한 정보를 무료로 제공해 주며 신용카드를 사용하지 않고 그 자리에서 단말기로 결제가 가능한 서비스를 의미한다. U-Restaurant 서비스란 사용자가 자신의 단말기를 휴대하고 음식점으로 들어오면 Mesh Network 기능을 갖추었으므로 고객의 단말기에 제공 가능한 음식의 종류와 설명을 바로 다운로드 시켜주어 이를 보고 원하는 음식을 주문할 수 있게 하며 결제 또한 그 자리에서 가능하게 하는 구현 가능한 서비스이다. 이상에서 기술한 u-City 서비스 구현을 위한 USN 기술의 요구사항을 정리하면 표 1과 같다.

표 1 u-City 공공 서비스 및 부가 서비스를 위한 USN 기술의 요구 사항

요구 사항	
지원 토폴로지	Star, Peer-to-Peer, Cluster Tree, Mesh Network
소모 전력	Deep Sleep Mode로 들어 갈 수 있는 Inactive 구간 설정으로 소모 전력 최소화
동작 모드	Non-Beacon 모드는 물론 하나의 Superframe 안에 다수의 비컨 전송을 허용하여 전체 Mesh Network가 비컨으로 완벽하게 동기화가 될 수 있을 것
Beacon Scheduling	기기간의 비컨 충돌을 완벽하게 피할 수 있어야 하며 하나 혹은 2 개의 Superframe 안에 전체 네트워크가 동기화되도록 알고리즘 개발 필요
Mesh Network	Depth 제한이 없어야 하며 Link Failure가 발생할 때에도 다른 Route 발굴을 통해 데이터 전송에 문제가 없을 것
Addressing	16-bit의 주소 공간을 낭비 없이 사용할 수 있어야 하며 하나의 기기에 Association 가능한 Child 수의 제한이 없을 것
Network 확장성	어떤 서비스에 적용되더라도 새로운 기기의 참여를 가능하게 할 수 있는 프로토콜을 지원할 것
서비스 확장성	하나의 서비스에 적용된 USN 기술이 프로토콜의 수정 없이 다른 서비스에서도 적용 가능할 것
Association 시간	최대 30 msec를 넘지 않 것.
Disassociation 기능	주소의 최적 활용을 위하여 반드시 지원
Routing 기능	원하는 기기가 Mesh Network의 어느 위치에 있든 목적지 기기에게 정보를 전달할 수 있는 최적의 고속 Routing 방식 필요
기기의 이동성	최소 40 Km/Hour로 이동하는 물체의 위치와 정보를 파악하고 이 기기에게 필요한 정보를 제공해 줄 수 있는 프로토콜 개발 필요
정보 보안	센서 네트워크의 안정적인 동작을 위해 Mesh Network 프로토콜에 최적인 보안 기법을 적용할 것

3. U-City 서비스 구현을 위해 USN 기술로 채택 가능한 근거리 무선 통신 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 1에 보인 모든 u-City 서비스가 필요로 하는 모든 요구 조건을 만족시키지는 못하지만 나름대로 강점들을 가지고 있는 프로토콜이다. 그러나 WiBEEEM 기술은 이러한 u-City

서비스를 제공할 수 있는 기술로 개발되어 표준화된 기술이다. 본 절에서는 이와 같이 u-City 서비스의 구현에 적용 가능한 USN 기술의 장점과 단점에 대해 정리하였다.

먼저 Bluetooth 기술은 휴대폰에 장착되어 헤드셋과 실시간 오디오 전송을 위해 탄생한 프로토콜이다. 2007년 현재 메쉬 네트워크를 지원하는 Scatternet 프로토콜은 아직 표준화되지 않았으며 따라서 원거리에서의 이동성은 지원하지 못한다. 무엇보다 Bluetooth 기술의 문제는 하나의 무선 네트워크 안에 총 7개의 기기만 통신을 할 수 있으므로 u-City와 같은 대단위의 센서 응용에는 적용할 수 없는 기술이다.

ZigBee 기술은 홈 네트워크 서비스 중에서 전등 제어기가 가장 중요한 응용 분야이며 IEEE 802.15.4 LR WPAN 기술이 규정하는 PHY와 MAC 계층 위에 NWK 계층과 APP 계층, 그리고 Security Suite를 정의한 ZigBee Alliance의 표준이다. ZigBee 기술은 2.4GHz ISM 밴드에서 O-QPSK 변조 방식을 채택하였으며, 무선 통신의 상황에 따라 최대 16개의 채널을 사용할 수 있고, 최대 250 Kbps의 전송 속도를 지원한다. Superframe의 CAP 구간에서는 CSMA/CA를 적용하고 실시간 데이터 전송을 위해 선택적으로 GTS 할당 방식을 적용 가능하다. 스타 토폴로지 네트워크 안에서 마스터인 코디네이터의 비컨 정보에 의해 차일드 기기들이 Active Mode와 Sleep 모드 구간을 동기화하여 전력 소모를 극소화한 프로토콜이다. 그러나 메쉬 네트워크에서는 비컨 기반으로 동작할 수 없으며 따라서 절전형 메쉬 네트워크로 동작하지 않는다. 그림 3은 ZigBee 기술의 Protocol Stack을 나타낸 것이다.

ZigBee 기술의 가장 큰 문제는 그림 4에 보인 바와 같이 IEEE 802.15.4 MAC을 그대로 사용하였기 때문에 이 MAC이 가지고 있는 근본적인 문제점을 모두 안고 있다는 것이다. 즉 Mesh Network의 멀티 홉 통신 방식을 사용하려면 비컨 충돌로 인하여 중간의 라우터 기기들은 절전형으로 동작이 불가능하다. 이와 같은 비컨 충돌을 회피하기 위해 자신의 Parent가 Inactive 구간에서 자신의 Child를 위해 비컨을 전송하는 비컨 스케줄링이 IEEE 802.15.4b에서 확정되었으나 센서 정보를 코디네이터까지 전송할 때 시간 지연이 발생하는 커다란 문제가 있다. 또한 주소 체계는 차일드의 수와 전체 네트워크의 깊이 값을 제한하여 C_skip 값을 이용한 Hierarchical Block Addressing 방식을 채택하여 16-bit의 주소 공간을 매우 빨리 낭비하는 것이 문제이며 C_skip 값에 의한 Systematic Addressing 방식에 의해 Tree Routing은 가능하지만 차일드 수의

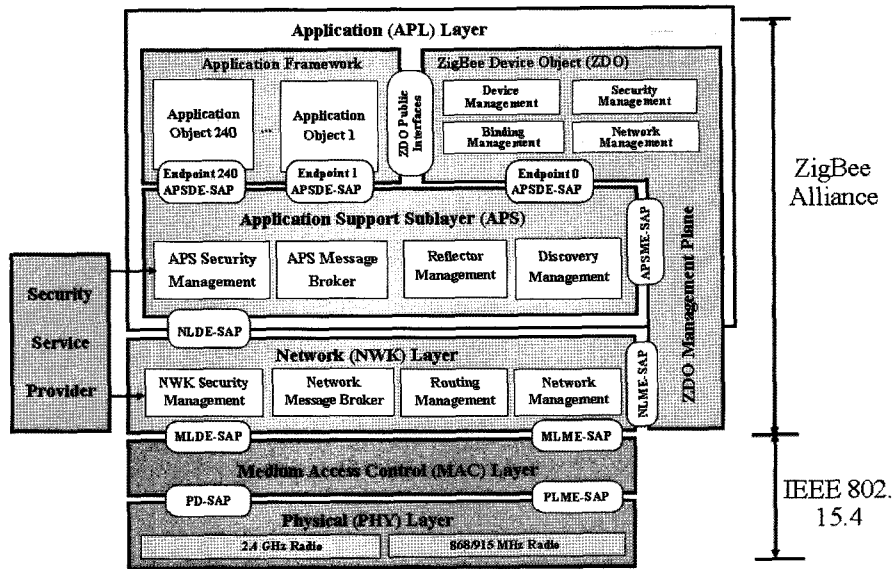


그림 3 ZigBee 기술의 Protocol Stack

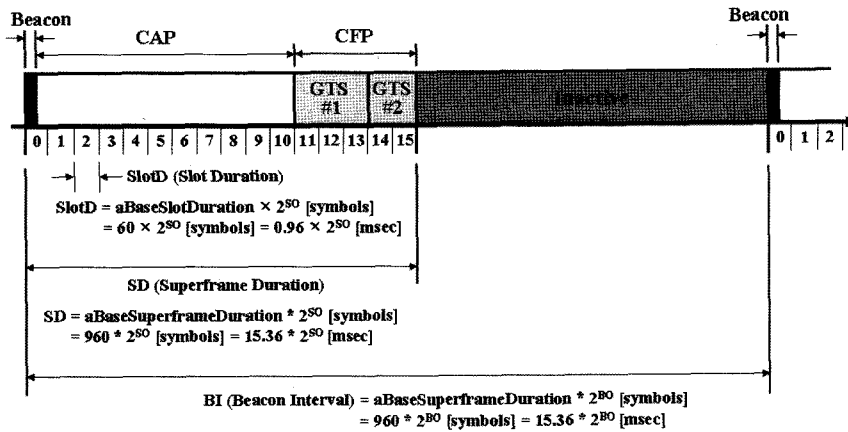


그림 4 IEEE 802.15.4 표준의 Superframe 구조

제한으로 인하여 이동성이 지원되지 않는다. 그리고 Daisy Chain 토폴로지가 아니면 최대 Depth는 15를 넘지 못하며 차일드의 수가 7일 경우 Depth는 6을 넘지 못하여 네트워크의 확장성에 문제가 있는 프로토콜이다. 또한 IEEE 802.15.4 MAC의 한계로 인하여 MAC 레벨에서의 Prioritized QoS는 지원되지 않는 단점이 있다.

IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network 기술은 그림 5에 나타난 바와 같이 IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC 위에 Mesh 계층을 정의하는 Recommended Practice이며 2007년 9월에 첫 번째 Letter Ballot으로 상정될 예정이다. IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network 기술은 Unicast 통신은 물론 Group Addressing 방식에 의한 Multicast 통신 방식 지원하며 메쉬 토폴로지를 발굴하고 형성하기 위해 Neighbor List와 Connectivity Matrix를 사용한다. 주소 체계는 ABA(Adaptive Block Addressing)

방식을 채택하여 Tree Routing 지원하지만 네트워크 토폴로지가 다이나믹하게 변하면 네트워크 형성에 지연을 초래할 수 있다.

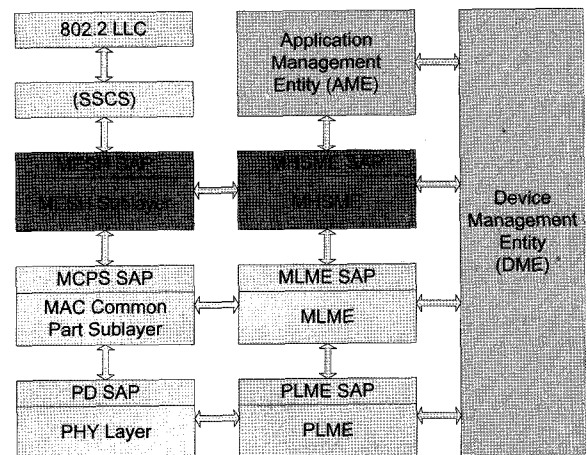


그림 5 IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network 참조 모델

IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network 기술은 IEEE 802.15.4 MAC을 그대로 이용하므로 비컨을 사용하지 않으며 따라서 저 전력 동작은 불가능하다. 또한 MAC 계층에서의 Prioritized QoS는 지원되지 않으며 NWK 계층에서의 QoS 또한 지원하지 않는다. 주소 할당 방식으로 사용하고 있는 Adaptive Block Addressing 방식은 알고리즘의 복잡성으로 인하여 기기의 고속 이동성 지원에 한계가 있다. 최근에 기기의 Portability에 대한 기술이 제안되었으나 전체 표준의 재 조정 시간이 많이 걸려 2008년이나 표준으로 채택 가능성이 있으며 Beacon 기반으로 동작하는 기술이 아니므로 저 전력 통신 방식을 지원하지 않는다. 따라서 u-City에 사용될 USN의 아키텍처로는 한계가 있는 기술이다.

IP-USN 기술은 IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC 계층을 그대로 사용하고 그 위에 IP 주소 체계와 TCP 등을 활용하는 센서 네트워크 용 USN 기술로, 모든 센서 노드에 IPv6 주소를 부여하고, 센서 사이에 통신을 할 때 IPv6 주소를 압축하여 전송하는 기술이다. BcN(All IP) 망과 직접 연동이 가능하고 SNMP 프로토콜을 채택하였으므로 글로벌 통합 USN 네트워크 관리가 용이하다. 그림 6은 IP-USN 기술의 프로토콜 스택을 나타낸 것이다.

IP-USN 기술에서 사용하는 주소 체계는 HiLow 방식을 사용하였으므로 Tree Routing은 지원되나 최대 Depth는 15에 불과하며 Child의 수를 제한하였으므로 기기의 이동성이 지원되지 않는다. 또한 16 bit 주소 체계를 매우 빨리 낭비하는 문제가 있어서 네트워크의 확장성에 제약이 있으며 이로 인하여 대형 센서망을 구성하는 데에 어려움이 있다. 한편 IEEE 802.15.4 MAC을 이용하였으므로 비컨 기반으로 동작하지 않아 절전형 동작에 한계가 있으며 MAC 계층은 물론 NWK 계층에서의 QoS는 지원되지 않으므로 IP-USN Forum에서 이와 같은 이슈들을 해결하여야 u-City 서비스의 구현에 적용 가능하다.

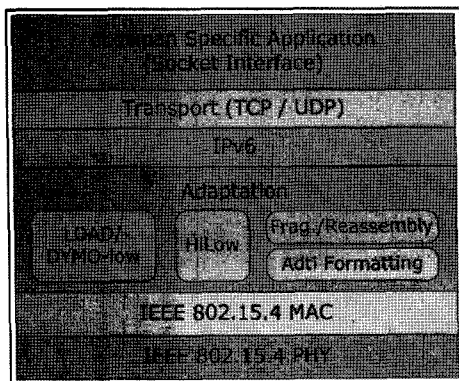


그림 6 IP-USN 기술의 Protocol Stack

WiBEEM(Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh network) 기술은 u-City가 요구하는 다양한 서비스를 지원하기 위해 QoS와 기기의 고속 이동성은 물론 비컨 기반 절전형 메쉬 네트워크로 동작할 수 있도록 개발된 최적화된 USN 기술이다. WiBEEM 기술은 u-City Forum에서 2007년 1월 표준화된 절전형 근거리 무선 메쉬 네트워크 기술로서 2007년 7월 ISO/IEC JTC1 SC25 국제 표준 기술로 상정되어 ISO 표준으로 진행되고 있다. WiBEEM 기술에 대한 소개는 4장에서 구체적으로 설명하였다.

4. QoS와 이동성 지원으로 u-City 핵심 서비스 구현을 위한 WiBEEM 기술

그림 7은 WiBEEM 기술의 프로토콜 스택을 나타낸 것으로 PHY 계층과 MAC 계층, 그리고 NWK 계층으로 이루어져 있다. PHY 계층은 IEEE 802.15.4 PHY 기술을 채택하여 2.4 GHz 대역에서 O-QPSK 변조 방식을 사용하였으며 최대 16개의 채널을 지원한다. 또한 데이터 전송에 16 개의 채널을 모두 사용할 수 있는 ACA(Adaptive Channel Aggregation) 방식을 적용하여 최대 4 Mbps의 전송 속도를 지원할 수 있다.

WiBEEM 프로토콜의 MAC 계층은 그림 8에 보인 바와 같이 하나의 Superframe 안에 여러 개의 비컨만이 전송되는 BOP(Beacon-Only Period) 구간과 QoS 지원을 위한 PQP(Prioritized QoS Period) 구간, 그리고 CSMA/CA 기반 Contention 구간인 CAP(Contention Access Period) 구간과 음성과 같은 실시간 데이터 전송을 위해 필요한 CFP 구간, 그리고 Deep Sleep 모드로 들어가는 DSP 구간으로 구분된다. WiBEEM 기술은 비컨 기반으로 동작하므로 모든 라우터 기기들이 BOP 구간 동안 자신의 차일드 노드들을 위해 비컨을 전송하므로 전체 메쉬 네트워크 노드들이 동기화를 이루어 언제 QoS를 지원하는 데이터를 전송하고 언제 DSP 구간에 들어가 적은 전력을 소모하는지를 알 수 있게 한 것이 큰 강점이다. 이와 같이 비컨을 이용한 동기화를 위해서는 비컨 충돌 기법이 가장 중요한 일이다.

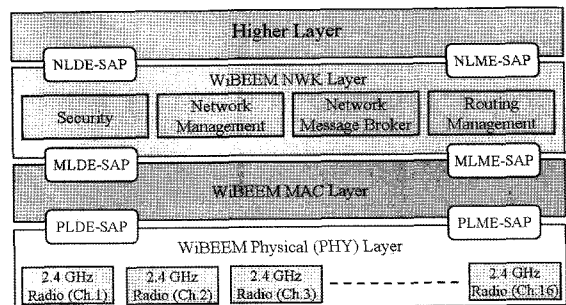


그림 7 WiBEEM 기술의 Protocol Stack

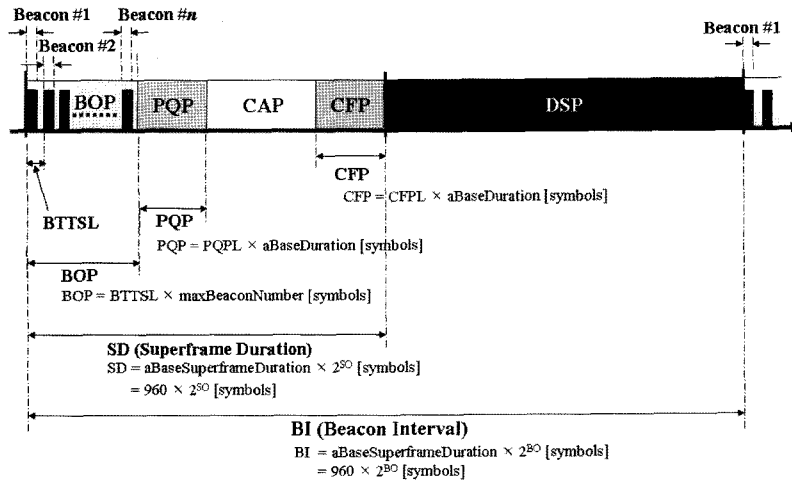


그림 8 WiBEEB 프로토콜의 Superframe 구조

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 전송 타이밍을 알 수 있다면 비컨 충돌이 일어나지 않음을 이용하면 가능하다. 표 2에 나온 값들은 그림 9에 나타난 비컨 페이로드에 실려 이와 같은 비컨 스케줄링에 필요한 정보들이다.

My Depth는 자신의 깊이 정보를 나타내며 My BTTS는 자신의 비컨 전송 타이밍을 나타낸다. 그리고,

표 2 비컨 스케줄링을 위한 정보

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

Neighbor's BTTS는 자신에게 이웃하는 노드의 비컨 전송 타이밍을 나타낸다. 비컨 스케줄링을 하고자 하는 기기는 주변의 기기에게서 주변 기기의 My Depth와 My BTTS 정보가 실린 비컨 페이로드 정보를 보면 알 수 있다. 그리고 이웃 노드들의 비컨 전송 타이밍은 NWK Command Frame의 하나인 Neighbor's BTTS Request를 주변 노드들에게 전송하고 이를 수신한 주변 노드들은 Neighbor's BTTS Response Frame을 보내게 된다. 이 프레임들을 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 메시 네트워크와는 별개로 네트워크 구성에 대한 정보는 Association 관계인 부모에게 정보를 들어 필요한 데이터를 업데이트해야 하는데 부모보다 자식의 비컨 전송

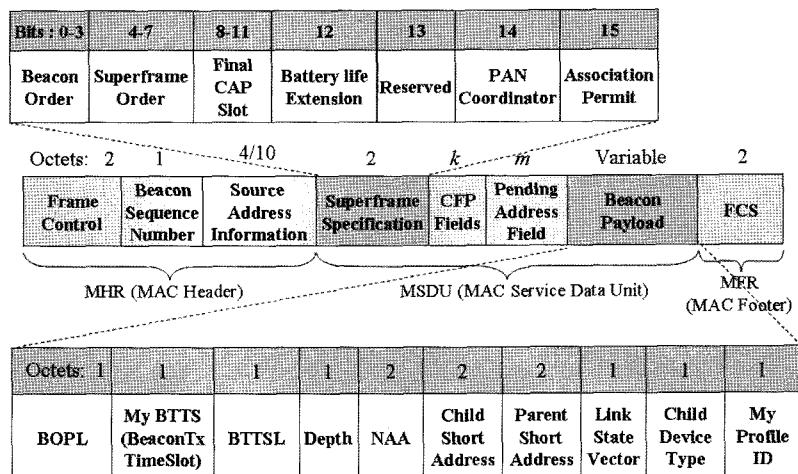


그림 9 WiBEEB 프로토콜의 비컨 페이로드

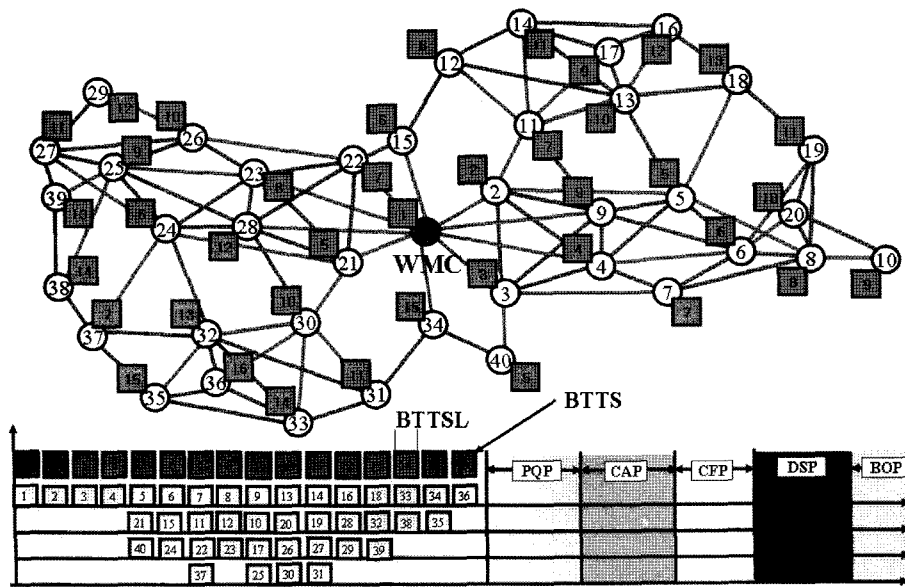


그림 10 40개 노드에 대해 BOP 구간에서 비컨 충돌을 회피하는 비컨 스케줄링의 예

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 10은 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 인하여 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 9의 비컨 페이로드 중에서 다섯 번째 필드에 NAA 정보를 보낸다. 그림 11은 이와 같은 NAA 기반 주소 할당 방식을 나타낸 것이다. 구체적인 설명은 참고문헌 7을 참고하기 바란다.

WiBEEEM 포로토콜은 NAA 방식을 이용하므로 16-bit 주소 체계를 낭비없이 사용할 수 있음으로 인하여 새로운 Parent-Child Relationship Change Command의 도입으로 고속의 이동성을 지원하지만 주소 체계가 구조적이지 않으므로 Tree Routing은 지원하지 않는 단점이 있다.

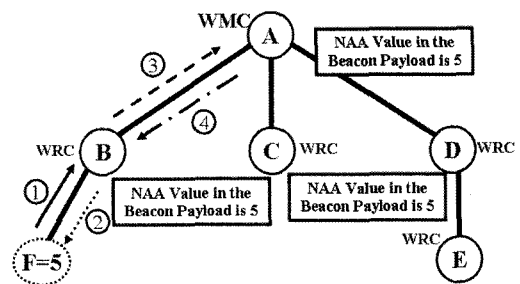
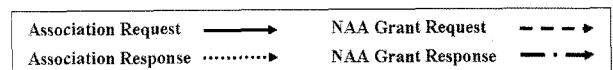


그림 11 NAA 기반 주소 할당 방식

WiBEEEM 프로토콜에서 Routing 기능을 하는 모든 기기는 BOP 구간 동안 모두 비컨을 듣고 동기화되므로 메쉬 네트워크 전체에서 동기화가 이루어져 절전형으로 동작 가능하다. NWK 계층은 MAC 계층에서의 비컨들이 충돌되지 않도록 Beacon Scheduling 알고리즘을 구현해야 하며 CFP(Contention Free Period) 구간과 PQP 구간의 도입으로 Parameterized QoS와 Prioritized QoS를 지원한다. 또한 MAC 계층에서는 Fragmentation을 지원하여 긴 파일을 효율적으로 전송할 수 있고 절전형의 메쉬 네트워크를 지원하며 통합 망관리 기능을 보유하여 USN 인프라로서 사용되기에 적당한 아키텍처이다.

USN 기술로 사용 가능한 각각의 기술에 대한 구체적인 기술 내용을 본 고에서 자세하게 소개하기에는 지면의 한계로 인하여 어려움이 있다. 다음에 넉넉한 지면의 기회가 주어진다면 그 때 소개하기로 하고 본 고에서는 이들 기술의 전반적인 특징에 대해 표로 나

표 3 USN 서비스 구현에 적용 가능한 기술들의 비교

Items	Bluetooth	ZigBee over IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.5 over 802.15.4	IP-USN over 802.15.4	WiBEEEM
Frequency Band	2.4 - 2.4835 (GHz)	2.4 - 2.4835 (GHz)	2.4 - 2.4835 (GHz)	2.4 - 2.4835 (GHz)	2.4 - 2.4835 (GHz)
Data Rate	723.2 Kbps	250 Kbps	250 Kbps	250 Kbps	250 Kbps(Min) 16 Mbps(Max)
System Resources	250 KBytes+	4 - 32 KBytes	4 - 32 KBytes	4 - 32 KBytes	4 - 32 KBytes
Battery Life	2 Hours	3 Hours with Mesh NW	3 Hours with Mesh NW	3 Hours with Mesh NW	2 Years with Mesh NW
Medium Access	TDMA/TDD	CSMA/CA (IEEE 802.15.4)	CSMA/CA (IEEE 802.15.4)	CSMA/CA (IEEE 802.15.4)	CSMA/CA, TDD
Service Area	10m, 100m Max.	10m, 100m Max.	10m, 100m Max.	10m, 100m Max.	10m, 100m and Farther Distance
Association Time	3sec	30msec	30msec	30msec	30msec
Addressing	Sequential	HBA(Hierarchical Block Addressing)	ABA(Adaptive Block Addressing)	HiLow, LOAD	NAA(Next Address Available)
Network Size	8 Devices	65,536 Devices	65,536 Devices	65,536 Devices	65,536 Devices
Mesh Capability	No in BT v1.1	Yes (Non-Beacon Mode)	Yes (Non-Beacon Mode)	Yes (Non-Beacon Mode)	Yes (Beacon Mode)
Power Consumption with Mesh	High	Medium	Medium	Medium	Low
Routing	N.A.	Tree Routing(M) ZB AODV(O)	Tree Routing(M) AODV(O)	Tree Routing(M) AODV(O)	Proactive Routing
Multicast	No	Yes	Yes	No	Yes
Mobility	No	No	Limited	No	Yes
Network Expandability	No	Limited	Limited	Limited	Yes
QoS in MAC	Yes	No	No	No	Yes
QoS in NWK	Yes	No	No	No	Yes
Network Security	Yes	Yes	No	No	No
Application Areas	Headset Profile for Mobile Phones	Light Control and Toy Control for u-Home Services	Mesh Network for Static Sensors	Small Size Sensor Network and Management	Large Size Sensor Network and u-City Management

타내었다. 표 3은 이와 같은 USN 기술로 적용 가능한 기술들을 정리하여 나타낸 것이다.

결론적으로, 다른 USN 기술들은 나름대로의 응용 분야를 가지고 탄생된 기술이지만 WiBEEEM 기술은 처음부터 u-City 서비스가 필요로 하는 요구 조건을 만족시키기 위해 절전형 메쉬 네트워크 기능과 기기의 이동성, 그리고 특정 우선권을 가진 사용자 혹은 트래픽을 위한 QoS 기능을 탑재하여 개발되었으므로 u-City 핵심 서비스 구현에 최적의 USN 아키텍처를 제공하는 기술이다.

5. 결론

현재 무선 센서네트워크 기술은 이 시장에서 입지

를 다투고 있는 여러 무선 네트워킹 표준들과 비교할 때 빠른 성장을 보이고 있다. 그러나 낮은 전력을 소모하며 전체 네트워크가 하나가 되어 안정적으로 동작하기 위해서는 동기식 메쉬 네트워크가 구성되어야 한다. 절전형 무선 메쉬 센서네트워크 기술은 아직 완벽하게 동작하는 기술이 없으며 이 기술을 u-City Forum에서 개발하여 표준화한 것이다.

본 고에서는 먼저 u-City 서비스의 구현에 적용 가능한 USN 기술로서 세계적으로 표준화가 이루어진 몇 가지 기술들에 대해 설명하였다. 이들 중에는 Bluetooth 기술과 ZigBee 기술, 그리고 IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network 기술과 IP-USN 기술에 대해 소개하고 이 기술들의 장·단점에 대해 소개하였다. 그리고 u-City

Forum에서 표준화되어 U-City 핵심 서비스의 구현에 최적의 USN 아키텍처를 제공하는 WiBEEM(Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh Network) 기술에 대해 소개하였다.

WiBEEM 기술의 가장 큰 특징은 비컨 모드에서도 메시 네트워크가 안정적으로 동작하여 낮은 전력을 소모하는 효율적인 근거리 무선 통신 기술이라는 것이다. 무선 Mesh Network가 안정적으로 동작한다는 것은 기존의 무선 통신이 유선 통신 기술을 백본 네트워크로 사용하여 통신을 하는 것에서 한 단계 올라선 기술로 통신 범위 내에 있는 모든 센서 네트워크 기기는 물론 RF 범위 바깥에 있는 기기도 중간의 기기가 존재하면 직접적으로 통신이 가능함을 의미한다. WiBEEM 기술은 u-City의 응용을 위해 효율적인 통신 방법을 제공하고 유비쿼터스 환경에 맞도록 고속의 이동성과 Parameterized/Prioritized QoS를 지원하는 무선 통신 프로토콜이다.

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.



전 호 인

경원대학교 전자공학과 교수
 ISO/IEC JTC1 SC6 WG1 국제 의장
 IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network Task Group 국제 부의장
 ISO/IEC JTC1 SC25 한국대표단 단장
 u-Banking Forum 의장

u-City 포럼 기술분과위원회 위원장
 E-mail : jeon1394@kornet.net