

## 주 제

# WiBEEM : U-City 핵심 서비스 구현을 위한 최적의 USN 아키텍처

경원대학교 전호인

차례

I. 서론

II. U-City 핵심 부가 서비스와 특징

III. WiBEEM Protocol Architecture 개요

IV. WiBEEM 프로토콜이 채택한 최적 비컨 스케줄링 기법

V. 16-bit 주소 공간의 효율적 사용을 위한 WiBEEM의 LAA 기반 Addressing 기법

VI. WiBEEM 기기의 이동성 지원 방안

VII. 결론

## 요약

본 고에서는 U-City를 구현할 때 가장 핵심적인 부가 서비스를 제공할 수 있는 서비스의 종류를 소개하고 이 서비스들이 필요로 하는 공통적인 요구 사항을 정리한 후 이 서비스 구현에 적용 가능한 근거리 무선 통신 기술로서 최적의 프로토콜인 WiBEEM (Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh Network) 기술에 대해 소개하였다. WiBEEM 기술은 정보통신부가 추진한 IT 839 정책 중에서 핵심 인프라 기술로 인정받고 있는 USN (Ubiquitous Sensor Network)을 위한 최적의 아키텍처로, Mesh Network를 구현 시 Bluetooth나 ZigBee 기술이 해결하지 못하는 다양한 문제점들을 해결하기 위해 여러 개의 Beacon을 수용하는 새로운

Superframe 구조를 제안하였으며 여러 개의 비컨들이 충돌없이 네트워크 정보를 전송할 수 있는 최적의 Beacon Scheduling 기법을 채택하였다. 또한 WiBEEM 기술은 기기의 이동성을 제공해 주기 위해 LAA (Last Address Assigned) 기법을 이용한 새로운 Short Address 할당 기법을 채택함으로써 16-bit 주소 공간을 낭비없이 사용할 수 있게 하였으며 이동하는 기기와의 정보 전송을 위해 고속의 Routing 기법을 제공하는 USN 최적의 아키텍처이다.

## I. 서론

정보통신부가 IT-839 정책을 발표하고

RFID/USN (Radio Frequency Identification / Ubiquitous Sensor Network) 기술을 BcN (Broadband Convergence Network)과 IPv6를 포함하여 3대 인프라 중의 하나로 정의한 것이 지난 2003년 말 경이다. 그 이후 RFID 기술에 대해서는 많은 연구비와 기금을 투입하여 시범 사업을 추진하였지만 IEEE 802.15.4 WPAN (저속 근거리 무선 통신) 프로토콜과 ZigBee 프로토콜 정도를 USN에 적용 가능한 프로토콜로 인식할 뿐 USN에 대한 구체적인 아키텍처는 아직 구체적으로 연구 결과를 발표하지 않고 있다. 사실 참여 정부가 정권 초기에 10대 차세대 신성장 동력 산업을 발굴하고 이 산업들의 활성화를 위해 강력하게 추진하였지만 지능형 홈 기술과 차세대 이동 통신 기술, 그리고 DTV기술 등 마땅한 신 성장 동력으로서의 가능성을 보여주지는 못한 것으로 평가된다. 이는 3년이 지난 2006년 말을 기점으로 IT-839 정책의 실효성을 검증해 보았을 때 보다 극명하게 나타난다. 구체적인 성장 동력으로서의 산업 효과는 거의 없었다는 것이 몇 신문 지상에서 평가한 부분이다. 이에 따라 정부는 IT-839 정책의 실효성을 위해 만족할만한 시장을 찾으려 골몰하고 있다.

이와 같은 시점에 U-City의 개발은 매우 낙관적인 가능성 제공해 주는 진정한 차세대 신 성장 동력 산업으로 보는 시각이 많다. 도시의 한 지역에 새로운 공간을 마련하고 항시 연결성과 광대역성, 그리고 모든 기기의 하나의 네트워크로 연결성을 지원하는 Ubiquitous IT기술을 접목하여 각 지역에 특화된 새로운 서비스를 발굴하고 제공함으로써 이 도시에 사는 주민들에게 안전성과 편의성, 그리고 유택성과 혁신성을 제공하는 새로운 개념의 도시를 건설하는 일이며 이와 같은 일에는 건설 산업과 IT 산업, 부품 산업 등 다양한 산업의 활성화를 꾀할 수 있기 때문으로 보인다. 또한 이 기술을 이용하여 기존 도시에 적용함

으로써 도시 재생의 기능을 수행하면 보다 나은 국가 건설이 가능해지기 때문에 특히 관심을 가지고 있는 부분이다.

U-City 건설의 활성화를 위해 정보통신부와 건설교통부가 첫 번째 U-City 건설 지원법을 함께 제정하고 지난 12월 20일 이를 위한 공청회에서 발표한 U-City의 정의는 “언제 어디서나 U-City 서비스를 제공받을 수 있도록 U-City 기술을 도시 공간에 구현함으로써 도시의 지능화하여 도시민의 삶의 질과 도시의 경쟁력을 향상시키는 도시”로 되어 있다. 여기서 U-City 서비스란 U-City 기술과 U-City 기반 기술을 활용하여 정보를 수집·연계·제공하는 고도화·지능화된 서비스로서 대통령령으로 정하는 서비스를 의미하며 U-City 기술이란 U-City 기반 시설의 구축과 U-City 서비스의 제공을 위한 건설·정보통신 융합 기술과 정보통신 기술을 의미한다. 또한 U-City 기반 시설이란 유비쿼터스 센서 통신망, 초고속 정보통신망과 광대역 통합정보통신망 등 첨단 정보통신망과 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제 2조 제 6호에 의한 기반 시설 또는 동조 제 13호에 의한 공공시설 등의 도시 시설물을 지능화한 시설, U-City 운영에 관한 시설 등으로 대통령령이 정하는 시설을 의미한다. 그리고 건설·정보통신 융합 기술이란 기반 시설 또는 공공시설 등의 도시 시설물을 지능화하기 위하여 건설 기술에 전자·제어·통신 기술을 접목한 기술을 의미하며 U-City 운영 센터란 U-City 기반 시설을 통해 수집된 정보를 효율적으로 연계·가공하여 U-City 서비스를 제공하기 위하여 운영하는 시설을 의미한다.

다양한 건설 관련 기술 및 정보통신 기술이 필요한 U-City 건설에서, 이를 주관하고 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. 그러나 실질적으로 U-City 건설 시 가장 어려운 부분 중의 하나는 연간 40억원 이상이 지속적으로 소요되는 U-City 통합 운영 센터의 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 쉬운 일이 아니기 때문이다. 그렇다고 특정 지역의 U-City 주민들을 위해 그 시의 세금을 활용하는 것은 그 U-City에 주거하니 않는 시민들에게는 형평성의 문제를 야기하게 된다. 지속적인 관리비 부담을 최소화하기 위하여 초기 투자비용이 들기는 하지만 지자체가 자체 비용으로 자가망을 구축하는 것을 적극적으로 추진하고 있지만 법적인 문제를 해결하기는 쉽지 않아 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 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 충분한 만족감을 줄 것이냐 하는 것이며 추가의 서비스 사용료를 지불할 정도의 부가 서비스는 어떤 것이 있는가이다. 여기에 이와 같은 여러 가지의 부가 서비스를 제공한다고 하더라도 이들 서비스 사이에 반드시 제공해 주어야 할 일은 **서비스 간 상호운용성 (Interoperability)**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 가

지고 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)이라 부른다. 서비스 간 상호운용성은 지자체의 의지에 의해 지원 가능하지만 U-City 간 상호운용성은 정부가 관여하여 다른 지자체에게 표준화된 방안을 제시해 주지 않고서는 기대하기 어렵다. 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 부가 서비스들을 발굴하고 이들을 구현할 수 있는 공통적인 구현 기술 부분을 먼저 찾아 내어 무엇을 표준화하여야 서비스 간 상호운용성은 물론 U-City 간 상호운용성을 지원할 수 있는 방안이 지원되는지를 파악해야 한다. 본 절에서는 U-City Forum 기술분과위원회에서 U-City 기술의 표준화를 위해 먼저 고려한 몇 가지 서비스를 소개하고 이들 서비스가 필요로 하는 기능과 요구 사항에 대해 알아 본 후 표준화를 필요로 하는 기술에 대해 몇 가지를 소개하였다. 이 기술들은 현재 Bluetooth 기술이나 IEEE 802.15.4 PHY와 MAC Protocol Stack 위에 구현되는 ZigBee 기술이 제공하는 근거리 무선 통신 기술의 문제점과 한계점을 해결하고 U-City 핵심 부가 서비스에 적용하여 서비스 간 상호운용성을 제공해 줄 수 있는 새로운 기술로 현재 U-City Forum 기술분과위원회에서 활발히 표준화가 추진되고 있다.

2장에서는 각 지자체가 채택 가능한 몇 가지의 U-City 부가 서비스에 대해 설명하고 이들의 기능과 요구 사항에 대해 정리하였다. 3장에서는 이와 같

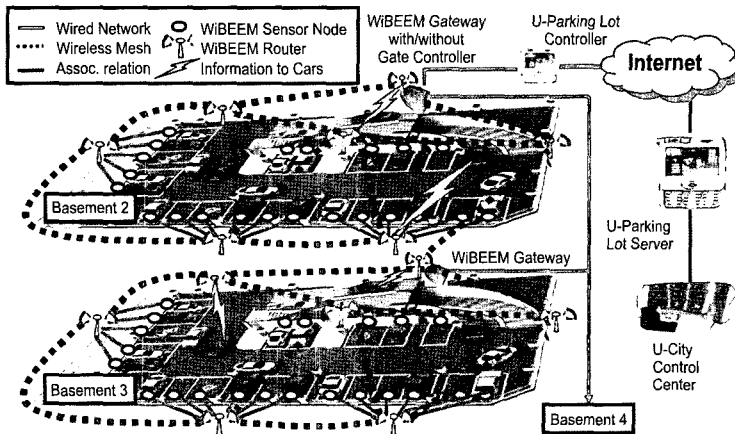
은 서비스를 가능하게 해 줄 근거리 무선 통신 기술인 WiBEEEM (Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh Network) 프로토콜의 개요에 대해 정리하였으며 4장에서 WiBEEEM 프로토콜에 사용된 핵심 기술인 Beacon Scheduling 기법에 대해 정리하였다. 5장에서는 Bluetooth 기술과 ZigBee 기술이 가지고 있는 Short Address 할당 방식의 문제점을 해결할 수 있는 방안인 LAA (Last Address Assigned) 기반 Short Address 할당 방식에 대해 설명하였다. 6장에서는 U-City 핵심 부가 서비스가 반드시 제공해 주어야 하는 WiBEEEM 기기의 이동성 지원 방안에 대해 소개하였으며 7장에 결론을 맺었다.

## II. U-City 핵심 부가 서비스와 특징

아직 구체적으로 발표하지는 않았지만 KT, 삼성 SDS, LG CNS, POS Data, IBM Korea 등 U-City 건설을 Consulting해 주는 한국의 SI 사업자들이 발굴한 부가 서비스들은 매우 다양하다. U-City Forum에서는 각 SI 기업들이 제공할 다양한 U-

City 서비스의 아키텍처를 표준화하고 이 서비스들의 구현 기술들을 표준화함으로써 사용자가 마치 하나의 서비스를 향유할 수 있도록 해주는 일이다. 나름대로의 뚜렷한 사업성을 확신하면서 자신들이 USP를 하고 있는 지자체에게 그 서비스의 중요성을 강조하고 있는 상황이므로 이를 공개한다는 각사의 자산을 무료로 제공하는 것과 같은 일이기 때문에 이해해 줄 수밖에 없다. 각사가 발굴한 서비스 모델은 각 SI 사업자들이 독자적으로 투자하여 발굴한 고유의 비즈니스 모델이므로 이를 선뜻 내어 놓아 표준화를 추진하는 일은 쉬운 일이 아니다. 따라서 U-City Forum의 기술 분과 위원회에서는 아직 포럼 차원에서 검증되지는 않았지만 다음의 몇 가지 서비스를 고려 대상으로 먼저 발제하고 이들을 구현할 수 있는 기술에 대해 표준화를 위한 연구를 시작한 것이다.

U-City Forum 기술 분과 위원회에서 가장 먼저 고려한 U-City 부가 서비스는 (그림 1)에 보인 U-Parking Lot 서비스이다. U-Parking Lot 서비스가 가장 커다란 관심을 보인 이유는 우선 지하 주차장에 들어 갈 경우 사람들이 휴대하고 다니는 유비쿼터스 통합 단말기에 내장된 GPS 수신기가 위성으로부터



(그림 1) U-Parking Lot 서비스의 개념도

오는 GPS 신호를 수신할 수 없기 때문에 LBS (Location-Based Service) 서비스가 지원되지 않는다는 것이다. CDMA 단말기를 이용한 위치 인식 기능은 그 해상도의 한계로 인하여 지하주차장에 적용할 수 있는 정보를 얻을 수 없다. 현재 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 기술 (WPAN: Wireless Personal Area Network)이 될 것이다. 이를 이용하여 U-Parking Lot의 Gateway를 구축하면 이 주차장에 진입하는 자동차에 대한 정보를 이 WPAN 기술로 얻을 수 있다.

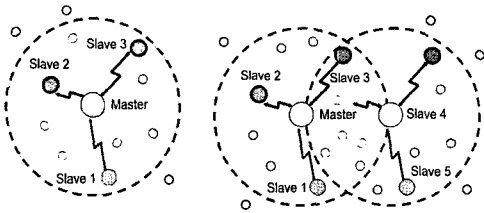
최근에 건설되는 주차장을 보면 대부분 주차장 진입구에 LED 디스플레이를 이용하여 주차 가능한 주차면이 B1에 5개, B2에 50개, B3에 3개 등의 정보를 제공하여 운전자가 주차장의 주차 상황을 쉽게 파악할 수 있게 해 준다. 그러나 이 주차장이 제공한 주차 정보는 나보다 먼저 진입한 10대의 차량이 함께 입수한 정보이며 이 상황은 차량이 이동하면서 계속 변화되는 정보이다. 그러나 기존의 주차장은 변화하는 주차 정보를 실시간으로 운전자에게 알려주지 못한다. 더구나 특정 운전자에게 특화된 정보를 제공해주는 것은 더더구나 불가능하다.

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 30 Km/Hour 정도의 속도로 이동하게 되는데 이동 중에 이 자리가 다른 사용자에게 의해 선점되면 이 사실을 무선으로 즉시 알려주어 U-Parking Lot 시스템에 대한 사용자의

신뢰도를 향상시킬 수 있다. 또한 이동 중에 보다 높은 우선권이 할당된 주차면이 출차 등으로 인하여 주차 가능 상태가 되면 이동 중에도 즉시 이 사실을 알려 주어 보다 나은 곳에 주차할 수 있도록 정보를 제공해 주는 서비스이다. 주차장에 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 파악하기 위한 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 WPAN ID로 전체 주차장에 설치된 기기를 수용할 수 있는 무선 프로토콜을 사용라는 것이 U-Parking Lot을 관리하는 데에 수월할 수 있다. 특기할만한 사실은 Bluetooth와 같은 기술은 하나의 WPAN 안에 오직 7개 이상의 기기는 수용할 수 없는 프로토콜은 적용이 불가능하며 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 기술임에도 불구하고 여전히 이중

의 유선 혹은 무선 백본 네트워크를 사용하여야 한다. (그림 2)는 Bluetooth 프로토콜의 Scatternet 관련 기술 내용을 나타낸 것이다.



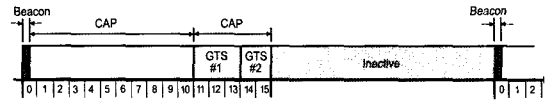
**Bluetooth Piconet :**  
Only 8 nodes can participate in the active communications.

**Bluetooth Scatternet :**  
Being defined in BT1.2, but, not stabilized yet, and only CSR is announcing the functionality

(그림 2) Bluetooth 프로토콜의 Scatternet 관련 기술

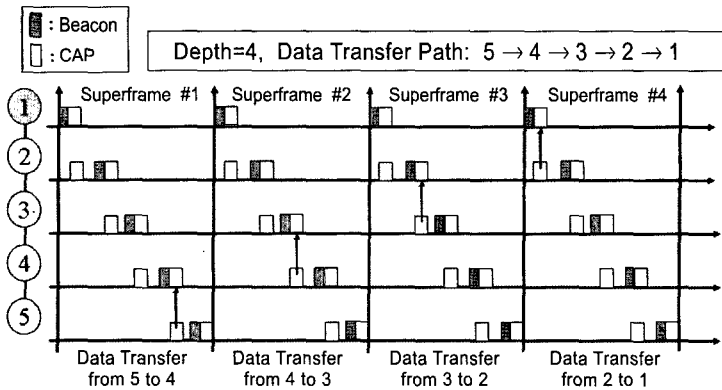
한편 IEEE 802.15.4 표준의 상위 프로토콜인 NWK 계층과 Application 계층, 그리고 Security Suite를 정의한 ZigBee Protocol은 현재 Star 토클로지와 Peer-to-Peer 토클로지를 지원하며 Mesh Network를 지원하기 위해서는 Beacon을 사용하지 않는 동작 모드를 주로 사용한다. 그 이유는 IEEE 802.15.4 MAC이 (그림 3)에 나타난 바와 같이 하나의 슈퍼프레임 안에 오직 한 개 만의 비컨을 허용하기 때문에 Multi-Hop 통신을 할 경우 비컨 충돌로

인하여 정상적인 통신이 이루어지지 않는다.



(그림 3) IEEE802.15.4 MAC의 Superframe 구조. 하나의 Superframe 안에 오직 한 개만의 비컨을 그 Superframe의 시작점에 전송할 수 있다.

ZigBee Alliance에서는 이 문제를 해결하기 위하여 Parent 기기의 Inactive 구간에 Child 기기의 비컨을 전송하는 Beacon Scheduling 방식을 제안하였지만 이 방식은 비컨의 충돌 문제는 해결하였지만 데이터 전송의 심각한 지연 문제를 야기시킨다. 즉 (그림 4)에 보인 바와 같은 Daisy Chain 구조를 갖는 네트워크에서 (Tree 구조의 네트워크에서도 같은 문제가 발생함.) 상위 기기가 하위 기기에게 데이터를 전송할 때에는 하나의 Superframe 안에 통신이 완료될 수 있지만, 어떤 하위 기기가 n번째 Depth 만큼 상위 에 있는 기기에게 데이터를 전송하려면 (n-1)개의 Superframe 시간을 기다려야 하는 문제를 안고 있다. (그림 4)는 ZigBee Protocol에 있어서 이와 같은 전송 시간 지연 문제를 나타낸 것이다.



(그림 4) ZigBee Protocol에 있어서의 전송 시간 지연 문제

ZigBee Protocol의 또 다른 문제는 ZigBee 기기의 Addressing 문제이다. ZigBee Protocol은 Child 기기의 최대 수와 라우팅 가능한 기기의 최대 수, 그리고 Depth를 정한 후 각 브랜치마다 C\_skip 만큼의 주소 블록을 미리 할당하는 방식을 채택하였다. 이 방식의 장점은 주소가 체계적으로 할당되어 있어서 Unicasting에 의한 Tree Routing이 가능하지만 16-bit Address Space를 너무 빨리 낭비해 버린다는 단점과 함께 Child 기기의 수가 제한되어 있으므로 네트워크의 성장을 제한시키는 커다란 단점이 있으며 이로 인하여 기기의 이동성을 지원해 주지 못한다. (그림 5)는 Depth와 Child 기기의 최대 수에 따른 ZigBee Protocol의 주소 낭비 현황을 나타낸 그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 Child 기기의 최대 수가 2이고 Routabel 기기의 최대 수가 2인 가장 작은 Tree Network인 ZigBee(2, 2) Network의 경우 최대 Depth는 16에 불과하며 ZigBee(7, 5) 인 경우 Depth는 7 이상을 넘어가지 못하는 상황이 발생한다.

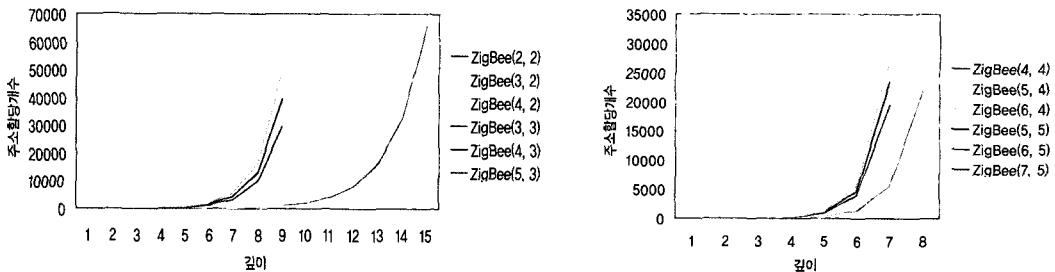
이상의 관점에서 U-Parking Lot 서비스를 지원할 수 있는 근거리 무선 통신기술의 요구 사항을 정리해보면 <표 1>과 같다.

이 외에도 U-City Forum 기술 분과 위원회에서 고려하고 있는 U-City 핵심 서비스에는 U-Home

<표 1> U-Parking Lot 서비스를 지원할 수 있는 근거리 무선 통신 기술의 요구 사항

항 목	요 구 사 항
지원 토폴로지	Star, Peer-to-Peer, Mesh Network
소모 전력	Deep Sleep Mode로 들어 갈 수 있는 Inactive 구간 설정으로 소모 전력 최소화
MAC 기능	Non-Beacon 모드는 물론 하나의 Superframe 안에 다수의 비컨 전송을 허용하여 전체 Mesh Network가 비컨으로 완벽하게 동기화가 될 수 있을 것.
Beacon	기기간의 비컨 충돌을 완벽하게 피할 수 있어야 하며 하나
Scheduling	혹은 2 개의 Superframe 안에 전체 네트워크가 동기화되도록 알고리즘 개발 필요
Mesh Network	Depth 제한이 없어야 하며 Link Failure가 발생할 때에도 데이터 전송에 문제가 없을 것
Addressing	16-bit의 주소 공간을 하나의 낭비도 없이 사용할 수 있어야 하며 Association 가능한 Child 수의 제한이 없을 것
Network 확장성	어떤 장소에 적용하더라도 새로운 기기의 참여를 가능하게 할 수 있는 프로토콜
Association 시간	최대 30 msec를 넘지 말 것.
Disassociation 기능	주소의 최적 활용을 위하여 반드시 지원
Routing 기능	원하는 기기가 Mesh Network의 어느 위치에 있는 목적지 기기에게 정보를 전달할 수 있는 최적의 Routing 방식 필요
이동성	최소 30 Km/Hour로 이동하는 물체의 위치와 정보를 파악하고 이 기기에게 필요한 정보를 제공해 줄 수 있는 프로토콜 개발 필요
정보 보안	Mesh Network 프로토콜에 최적의 보안 기법 적용

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 적용할 기술을 이용하면 이



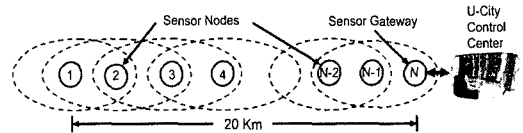
(그림 5) ZigBee Protocol의 C\_skip 기법에 의한 주소 할당 기법 적용시 Depth와 Child 기기의 최대 수에 따른 ZigBee Protocol의 주소 낭비 현황

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 맥 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 하므로 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.

Mesh Network 기능이 지원되면 <그림 6>에 보인 바와 같이 20 Km에 이르는 강을 따라 센서를 설치하고 수질 관리도 쉽게 구현할 수 있다. 매 20m 마

다 센서를 설치하면 Daisy Chain 방식으로 설치된 센서의 수는 1,000 개에 이르게 되며 이 센서 데이터의 전송은 유선으로 하기에는 다양한 어려움이 있다. 예를 들어 Ethernet 프로토콜을 이용하면 1,000개의 포트를 갖는 Hub가 필요하며 거리의 문제로 인하여 중간이 리피터를 설치해야 되는 문제가 있다. 다른 가능한 방법은 RS-485 프로토콜을 사용하는 것인데 이 또한 많은 수의 기기를 관리하기에 적당한 기술이 아니며 20 Km를 따라 설치된 데이터의 전송 선로가 땅의 굴착 작업 등으로 인하여 선로가 끊어지는 문제가 발생할 수 있으며 따라서 전송 선로를 보수하기 전까지는 데이터를 전송할 수 없게 된다. 이와 같은 문제는 Mesh Network를 이용하여 무선으로 데이터를 전송하면 공사로 인한 데이터 선로의 훼손도 막을 수 있고 센서 위치에 대한 자유도도 증가하게 된다. 가장 중요한 요건은 전력 소모의 최소화이며 AA 배터리 두 개로 최소 2년 이상 사용할 수 있는 프로토콜이 되어야 한다는 것이다.



(그림 6) 20Km에 이르는 강을 따라 센서를 설치하고 Mesh Network를 이용하여 수질을 관리하는 모습

이상에서 설명한 U-City 핵심 서비스는 U-Parking Lot 서비스에서 설명한 기능을 갖추면 대부분 지원이 가능한 서비스이다. 이와 같은 서비스의 구현을 가능하게 해 주는 기술이 WiBEEEM 기술이며 무선 메쉬 네트워크에 참여한 모든 기기들이 MPC (Mesh Piconet Coordinator)가 전송하는 Beacon에 의해 완벽하게 동기화되어 있으므로 모든 노드들이 동시에 Deep Sleep 모드에 들어 갈 수 있어서 에너지 소모 면에서는 최적의 기술이며 비컨 스케줄링



과 효율적인 주소 할당 기술, 그리고 고속의 Routing 기술을 통해 높은 이동성을 지원하는 최적의 USN 기술이다. 3절에서는 WiBEEM 기술에 대해 개요를 설명하였다.

### III. WiBEEM Protocol Architecture 개요

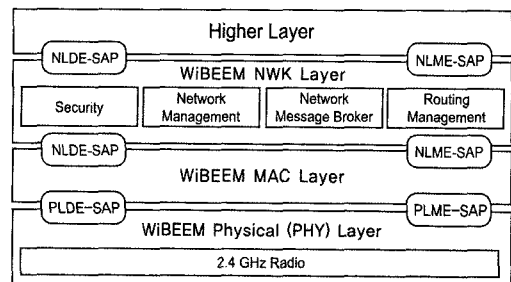
현재 무선 센서네트워크 기술은 시장에서 입지를 다투고 있는 여러 무선 네트워킹 표준들과 비교할 때 빠른 성장을 보이고 있다. 그러나 낮은 전력을 소모하며 전제 네트워킹이 하나로 동기화되어 안정적으로 동작하기 위해서는 메쉬 네트워크가 구성되어야 한다. 무선 메쉬 센서네트워크 기술은 완전히 정의되어 나온 것이 아직 없다고 할 수 있다. 본 절에서는 U-City 핵심 서비스의 구현에 최적의 아키텍처를 제공하는 WiBEEM (Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh Network) 기술에 대해 개요를 소개하겠다.

WiBEEM 기술의 가장 큰 특징은 비컨 모드에서도 메쉬 네트워크가 안정적으로 동작하여 낮은 전력을 소모하는 효율적인 무선 네트워크라는 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 RF범위 바깥에 있는 기기도 중간의 기기들이 존재하면 직접적으로 통신이 가능함을 의미한다. 이와 같은 WiBEEM 기술은 WPAN 응용을 위해 효율적인 통신 방법을 제공하고 유비쿼터스 환경에 맞도록 이동성을 지원하는 무선 프로토콜이다.

WiBEEM 프로토콜과 같이 비컨 모드로 메쉬 네트워크가 동작하게 되었을 때의 장점으로는 대표적

으로 다음과 같은 것을 들 수 있다. 즉 각 기기가 Deep Sleep Mode로 동작하는 들어 갈 수 있는 비활동 (Inactive) 구간의 시기를 정할 수 있으므로 전력 효율성을 높일 수 있다. 이러한 WiBEEM 프로토콜은 또한 이동성을 지원한다는 큰 장점을 가지고 있다. 이동성이 지원되면 WPAN 내 어디서나 자유로운 통신이 가능하게 되는 통신 구역의 자율성을 가져오게 된다.

WiBEEM의 통신 모드는 마스터-슬레이브 방식을 기본으로 하고 있지만 비컨모드에서도 메쉬 네트워킹이 가능하고 네트워크 안에서 하나의 기기를 코디네이터로 명하여 데이터 송·수신의 활동이 필요한 경우에만 Sleep 모드에 있는 노드들을 활동 상태로 변경하는 방식을 채택함으로써 전력 소모를 극소화하였다. 또한, 이러한 코디네이터 간의 통신이 가능하며 특정 노드가 메쉬 네트워크 상의 다른 모든 노드들을 인식하지 못할 때 네트워크를 스스로 구성할 수 있고, 인접한 네트워크 및 시스템과의 간섭에 Robust한 기능을 수행할 수 있도록 2.4 GHz대역에서 O-QPSK 변조 방식을 채택하였다. (그림 7)은 WiBEEM 기술의 프로토콜 스택을 나타낸 것이다.



(그림 7) WiBEEM 기술의 프로토콜 스택

WiBEEM 프로토콜의 MAC은 다른 IEEE 802.11 및 IEEE 802.15.3 기반 무선 네트워크에서와 마찬가지로 채널 접근 방식에 CSMA/CA 방식을

채택하였고, 실시간 데이터 전송을 지원하기 위해서 선택적으로 CFP (Contention Free Period) 할당 방식을 채택하였다. 또한, WiBEEEM 노드들은 코디네이터 혹은 디바이스(슬레이브 노드)로서 동작이 가능하며, 통신에 있어서 필요한 모든 부하를 코디네이터에 집중시킴으로써 상대적으로 슬레이브 노드의 기능적 요소가 적고, 구현에 필요한 비용이 저렴한 이점이 있다. 여기에 WiBEEEM은 Channel Access 방식으로 Slotted CSMA-CA를 사용하는 Beacon-Enabled Network 방식과 Unslotted CSMA-CA를 사용하는 Non Beacon-Enabled Network의 두 가지 방식을 사용한다. 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 Beacon을 전송함과 동시에 Backoff Slot이 할당되는 방식으로 Beacon-Enabled 네트워크에 사용된다. 데이터를 전송하기 전에 Backoff Slot을 기반으로 하여 Random Number 동안 기다린다. 채널이 Busy 상태일 때, Device는 Backoff Slot의 다른 Random Number 동안 기다려야 한다.

Beacon과 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. Robustness를 지원하기 위한 CSMA-CA 매커니즘과 Frame Acknowledgement(선택 사양), 그리고 FCS(Frame Check Sequence)를 통한 Data Verification을 지원한다.

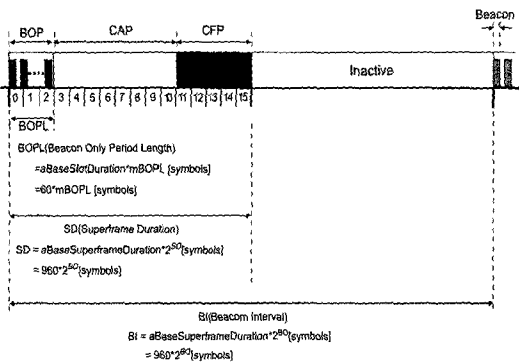
디바이스 타입으로는 MPC (Mesh PAN

Coordinator)와 MRC (Mesh Routable Coordinator), 그리고 MED (Mesh End Device)가 있는데 MPC의 경우는 MRC 또는 MED 모두와 통신할 수 있고 WPAN의 형성에 있어 가장 먼저 생성되어 PAN 구성의 환경 파라미터를 설정하는 역할을 한다. 또한, 자신의 하위에 MRC나 MED 기기를 연결하여 네트워크를 확장할 수 있다. MRC는 경로 설정이 가능한 기기로 MPC의 생성 이후 만들어지는 기기이며, 자신의 하위에 또 다른 MRC나 MED 기기를 연결하여 네트워크를 확장할 수 있다. PAN 내의 데이터 전송의 대부분은 MRC를 통해 이루어진다. MED의 경우에는 네트워크의 가장 하위에 위치하는 기기로 자신의 하위에 더 이상 다른 기기를 연결할 수 없다. 또한, MED는 최소의 리소스와 메모리 용량을 가지며 각종 데이터를 수집하여 상위로 전송하기에 적합한 기기이다.

이러한 새로운 메쉬 센서 네트워크를 위해서는 슈퍼프레임 구조의 변화가 필요하다. WiBEEEM 기술과 비교되는 IEEE 802.15.4 기술은 하나의 슈퍼프레임의 초기에 단 한 번의 비컨만을 전송하는 형태를 가지며 Multihop 통신을 할 경우 비컨 충돌을 피할 수 있는 방법이 없으므로 Parent 기기의 Inactive 구간에 자신의 비컨을 전송하는 방법을 IEEE 802.15.4b에서 채택하였다. 이 방법은 ZigBee Protocol이 사용하는 방식을 지원해 주기 위한 것으로 Parent가 몇 개의 Hop을 거친 MED에게 데이터를 전송할 때에는 하나의 Superframe 시간 안에 전송이 가능하지만 MED가 n개의 Hop 위에 있는 기기에게 데이터를 보낼 때에는 (n-1)개의 Superframe 시간을 기다려야 하는 데이터 송·수신 지연의 문제를 안고 있다.

WiBEEEM 기술은 (그림 8)에 보인 바와 같이 하나의 슈퍼프레임 안에 다수 개의 비컨만을 전송할 수 있는 BOP 구간을 새로이 정의하여 이 구간 동안 모두 동기화함으로써 전체 메쉬 네트워크가 하나의 네트

워크처럼 동작하는 메시 센서 네트워크 아키텍처를 정의하였다. WiBEEEM MAC의 한 슈퍼프레임은 BO (Beacon Order) 값과 SO (Superframe Order) 값에 의해 각각 SD (Superframe Duration) 구간과 BI (Beacon Interval) 구간으로 나뉘어진다. SD 구간, 즉 Active 구간은 BI의 크기와 상관없이 항상 16개의 Slot으로 나뉘어지며 이 구간은 다시 BOP (Beacon Only Period), CAP (Contention Access Period), CFP (Contention Free Period) 구간으로 나뉘어진다. BOP 구간에서는 MPC와 다수의 MRC들이 비컨을 전송하기 위한 구간으로, BOP 구간에 CSMA-CA와 상관없이 비컨을 전송하는 구간을 말한다. 하나의 슈퍼프레임 내에 여러 개의 비컨이 존재하여 동기화되어 있으므로 하나의 WPAN 네트워크에 존재하는 모든 기기들은 같은 슈퍼프레임 구조를 이용하여 데이터를 송·수신한다.



(그림 8) WiBEEEM의 멀티 슈퍼프레임 구조

(그림 8)의 CAP 구간에서는 Slotted CSMA-CA 방식을 통해서 데이터를 직접 주고 받을 수 있다. CFP 구간에서는 옵션으로 주기적인 데이터 전송이 필요한 경우에는 이 구간에서 CFP 할당을 필요한 만큼 MED가 MRC에게 요청 또는 MRC가 MED에게 Beacon을 통해서 알리게 된다. CAP와 CFP의 경계

와 CFP에서의 할당 정보는 각 Beacon마다 Update되며 CFP 구간은 최대 7개 Slot까지 허용할 수 있다. WiBEEEM 표준에서는 CFP 구간과 Inactive 구간을 Option으로 정의하고 있다.

각 디바이스들은 BOP 시간 때마다 전송할 데이터의 유무와 상관없이 항상 Active 상태로 주변의 비컨을 듣고 자신의 비컨을 전송함으로써 전체 네트워크의 동기를 맞춰야 한다. 슈퍼프레임에서의 첫 번째 비컨 타입과 길이는 MPC가 지정하며, MRC는 이렇게 예정된 간격으로 자신의 비컨을 BOP 구간 안에 송신한다. 두 개의 비컨 간의 시간은 슈퍼프레임의 주기와 무관하게 16개의 동일한 타임 슬롯으로 나누어진다. 디바이스는 타임 슬롯 동안 언제라도 데이터를 보낼 수 있으나 다음 슈퍼프레임 비컨 전에 해당 데이터 송수신을 완료하여야 한다.

타임 슬롯의 채널 액세스는 상호 경쟁하게 되며 MPC는 지정된 대역폭이나 작은 처리 지연이 요구되는 단일 디바이스에 할당할 수 있다. 이와 같은 목적으로 할당된 타임 슬롯을 CFP라 하며 (그림 8)과 같이 CAP의 바로 뒤에 위치하여 경쟁 없이 할당된다. CFP는 실시간 응용이나 특정한 대역폭을 요구하는 응용 서비스를 위해서 MRC가 제공할 수 있다. WiBEEEM 프로토콜의 슈퍼프레임 구조를 파악하기 위해 BOP를 계산하면,

$$BOP = aBaseSlotDuration * BOPL$$

$$= \max BeaconTxSize \times \max BeaconNumber [aUnitBackoffPeriod]$$

이 되고 Superframe Duration은

$$Superframe\ Duration = aBaseSuperframeMED (MSN\ End\ Device)uration \times [symbols]$$

$$= 960 \times [symbols]$$

가 된다. 그리고 BI(Beacon Interval)는

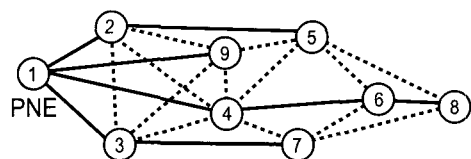
$$BI = aBaseSuperframeMED(MSN End Device) \times [symbols] \\ = 960 \times [symbols]$$

가 된다.

BOPL (Beacon Only Period Length)은 MAC PIB에 저장된 macBeaconPeriodCoefficient로서 1에서 256까지의 값을 가진다. SO (Superframe Order)와 BO (Beacon Order)도 MAC PIB에 저장된 macSuperframeOrder, macBeaconOrder 값으로서 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 Inactive 구간이 없게 된다. 즉, 이와 같은 멀티 슈퍼프레임 구조를 가지게 되면 서로 통신이 되는 범위에 있는 기기들간의 슈퍼프레임 구조의 동기화가 이루어지게 되며, 하나의 슈퍼프레임에 여러 개 기기에 대한 비컨을 송/수신 할 수 있게 되어 데이터의 처리를 빠르게 할 수 있으며, 비컨의 충돌을 피하게 되어 메시 구조로서 네트워크를 안정적으로 형성하게 된다. 또한, 이러한 구조를 통해 안정적인 데이터를 송/수신할 수 있게 되고 전송 지연을 방지할 수 있게 된다.

WiBEEEM MAC은 네트워크 계층에서 소모 에너지 관리의 중요성을 고려하여 Mesh Network는 물론 성형과 점 대 점 네트워크 토폴로지를 모두 지원한다. (그림 9)는 점 대 점 네트워크의 특별한 형태인 확장 형 메쉬 네트워크를 보여준 것으로 개별 단위의 WiBEEEM 기기들이 서로 연결되어 메쉬 네트워크 구조로 그 범위가 커질 수 있는 확장성을 가지고 있다. 이와 같은 확장 형 메쉬 네트워크 구조는 적용 범위를

넓혀서 20m 이상의 전파 도달 거리를 벗어난 경우에도 멀티 홉 구조를 이용하여 데이터를 전송할 수 있는 장점이 있는 반면 메시지의 지연 시간이 길어질 수 있다는 단점을 가지고 있다. 따라서 WiBEEEM MAC에서 코디네이터는 네트워크 설정, 비컨 전송, 노드 관리, 노드 정보 저장, 그리고 연결된 노드 간에 메시지 경로 설정을 하며 하나의 WPAN이 생성되어 운용되는 절차는 우선 각 디바이스들은 사용 가능한 통신 채널을 알아내기 위해 명시된 채널 리스트를 스캐닝 하게 되는데, 이 스캐닝이 끝나고 중복되지 않는 WPAN ID를 선택하면 MPC에 의해 하나의 WPAN이 생성된다. 그 후 MPC에 의하여 WPAN이 존재함을 알리는 비컨 프레임을 다른 디바이스에게 전송함으로써 기기의 Discovery 과정이 시작된다. 이 비컨 프레임을 들은 디바이스들은 Association 과정을 통해 이 네트워크에 조인하게 된다. (그림 9)에서 두 개의 기기를 연결하는 실선은 Association 관계 (Parent와 Child)를 나타내며 점선은 두 개의 기기가 같은 RF 범위에 있어서 직접 통신이 가능하다는 것을 나타낸다.



(그림 9) 확장 형 메쉬 네트워크 구조

#### IV. WiBEEEM 프로토콜이 채택한 최적 비컨 스케줄링 기법

WiBEEEM Protocol의 비컨 스케줄링 방법은 다음과 같은 절차를 따른다. 어떤 WiBEEEM 기기가 충돌을 방지하면서 자신의 비컨을 전송할 수 있는 시간은

자신의 이웃 기기들이 전송하는 모든 노드의 비컨 전송 시간과 이웃 노드들의 이웃하는 모든 노드들의 비컨 전송 시간을 제외한 나머지 시간들 중 하나를 선택하면 된다. 이와 같은 개념을 기반으로 비컨 스케줄링을 하려면 이웃 기기들로부터 <표 2>에 나타난 정보를 이웃 노드로부터 수신하여 이용하면 자신이 전송하는 비컨이 충돌을 일으키지 않는 비컨 전송 시간을 스스로 결정할 수 있다.

<표 2> 비컨 스케줄링을 위한 정보

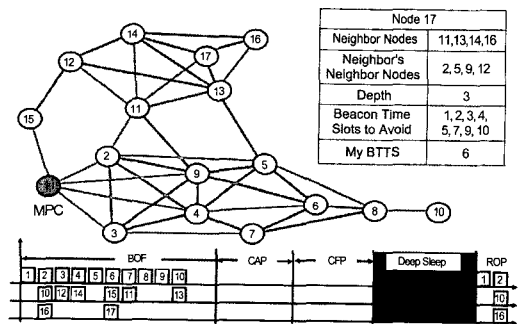
Name	Value
My Depth	Integer (16 bits)
My BTTS (BeaconTxTimeSlot)	Integer (8 bits)
Neighbor's BTTS	Integer (64 bits, bitmap)

<표 2>에서 My Depth는 자신의 깊이 정보를 나타내며 My BTTS (Beacon Transmission Time Slot)는 자신의 비컨 전송 시간을 나타낸다. 그리고 Neighbor's BTTS는 자신에게 이웃하는 노드의 비컨 전송 타이밍을 나타낸다. 비컨 스케줄링을 하고자 하는 기기는 주변의 기기에게서 주변 기기의 My Depth 와 My BTTS 정보를 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 Response를 보내게 된다. 이 프레임 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 필요한데

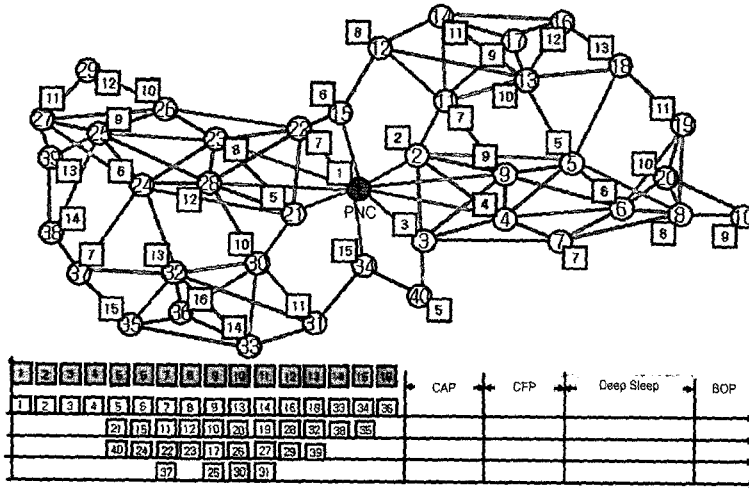
이터를 업데이트해야 하는데 부모보다 자식의 비컨 전송 시간이 앞서 있게 되면 부모기기가 보내는 새로운 정보에 대한 업데이트를 하고 자식의 자식 기기에 새 정보를 비컨에 넣어 전송하고자 할 때 이미 자신의 비컨 전송 시간이 지나 다음 슈퍼프레임까지 기다렸다가 새로운 정보에 대한 비컨을 보내야 하는 정보 업데이트의 시간 지연이 발생하기 때문이다.

(그림 10)은 WiBEEEM 노드 16번까지 네트워크에 참여하고 노드 17이 현재의 위치에서 전원이 켜졌을 때 어떻게 자신의 비컨 전송 시간을 충돌없이 결정하느냐 하는 것을 나타낸 그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 17번 노드의 Neighbor 노드는 11, 13, 14, 16번 노드이며 Neighbor's Neighbor 노드는 2, 5, 9, 12번 노드이므로 이 BTTS를 제외한 BTTS 시간은 그림의 황토색으로 표시한 바와 같이 6번째 BTTS가 된다.



(그림 10) 17번 노드가 비컨 충돌을 피하면서 자신의 비컨 전송 시간을 결정하는 알고리즘

(그림 11)은 이와 같은 비컨 스케줄링 메커니즘을 사용하여 40 개의 WiBEEEM 기기가 그림과 같이 형성되었을 때의 비컨 스케줄링 모습을 보인 것으로 40 개의 노드들이 비컨의 충돌 없이 안정적으로 메시 네트워크 기능을 수행하기 위해서는 16 개의 BTTS가 필요하다.

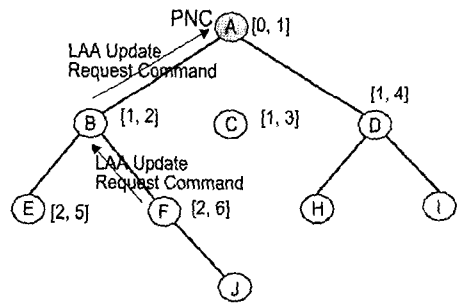


(그림 11) 40개의 노드에 대한 WIBEEM 프로토콜의 비컨 스케줄링 결과

### V. 16-bit 주소 공간의 효율적 사용을 위한 WIBEEM의 LAA 기반 Addressing 기법

ZigBee Protocol이 채택한 C\_skip 기반의 블록 주소 할당 방법은 16-bit 주소 공간의 비효율적 사용으로 인하여 최대 Child의 수에 따라 전체 Mesh Network의 Depth에 한계를 야기시킨다. 또한 최대 Child 기기의 수를 제한하였으므로 U-City 서비스들이 요구하는ダイナミック하게 변하는 네트워크 토폴로지를 지원할 수 없으며 네트워크 구조의 확장에도 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 WIBEEM Protocol에서는 새로운 주소 할당 방법을 연구하였으며, 새로운 주소 할당 메커니즘은 다음과 같다.

(그림 12)와 같은 구조의 메쉬 네트워크에서 Address의 낭비 없이 할당할 수 있는 방법을 구성 시나리오에 따라 설명하면, 먼저 기기 B, C, D는 Scan을 통해 기기 A를 발견하고 Association Request Command를 보내게 된다. 기기 A는 MPC이므로



(그림 12) LAA 기반 Short Address 할당을 위한 트리 네트워크 예

Association Response Command를 통해 기기 B, C, D에게 직접 Short address를 할당한다. 그리고 난 후 기기 E가 SCAN을 통해 기기 B의 비컨을 듣고 현재 short address가 4까지 할당되었음을 LastAddressNumber를 통해 알게 된다. 여기서 LastAddressNumber는 비컨 페이로드에 정보를 담고 있으며 기기들이 association response를 통해 어드레스를 할당 받을 때 마다 1씩 증가하게 된다. 예를 들어 기기 A가 처음 기기 B에게 비컨을 보낼 때는

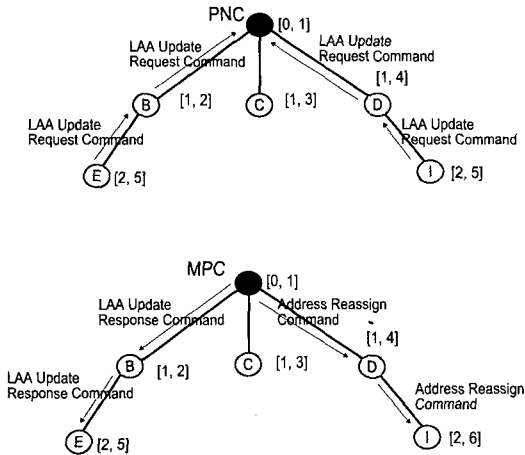
어드레스 할당 관련 필드인 LastAddressAssigned 값이 1이었으나 기기 B, C, D에게 Association response를 통해 각각 Short Address를 할당할 때마다 LastAddressAssigned 값은 1씩 증가된다. 따라서 MPC는 자신에게 Association을 요청하는 기기들에게 직접 Short Address를 할당하고 각각의 Short Address를 할당할 때마다 비컨 페이로드의 LastAddressAssigned 값을 1씩 증가시켜 LastAddressAssigned 값이 4가 된다.

이제 기기 E가 SCAN을 통해 기기 B의 비컨을 듣고 Association을 요청한다. 기기 A, B, C, D는 이 때 같은 LastAddressAssigned 값(현재 값 4)을 비컨 페이로드에 실어 전송하게 된다. 기기 B는 기기 E의 Association 요청을 받고 현재 자신의 비컨 페이로드의 LastAddressAssigned 값을 참조하여 기기 E에게 Short Address를 할당하고 MPC에게 비컨 페이로드의 LastAddressAssigned 값을 증가하도록 LAA Update Command를 보낸다. MPC는 기기 B로부터 LAA Update Command를 받자마자 자신의 비컨 정보를 수정하여 비컨을 전송한다. 그리고 기기 C와 D는 MPC로부터 비컨을 받고 자신의 비컨 페이로드의 LastAddressAssigned 값을 수정하고 비컨을 전송하게 된다. 이 때 기기 F가 전원을 켜면 기기 F도 Scan을 통해 기기 B와 기기 E의 비컨을 듣게 된다. 그러나 기기 B의 Depth가 상위에 있으므로 기기 B에게 Association을 요청한다. 기기 B는 기기 F에게 역시 자신의 비컨 페이로드 정보를 바탕으로 기기 F에게 Short Address를 할당한다. 그리고 기기 B는 기기 F에게 Short Address를 할당하자마자 Beacon Update Command를 MPC에게 보내고 자신의 비컨 전송 주기에 새로 Update된 LastAddress Assigned 정보를 갖고 비컨을 전송한다. MPC는 기기 B로부터 Beacon Update Command를 받고 자신의 비컨 전송 주기에 새로 Update된 LastAddress

Assigned 정보를 갖는 비컨을 전송한다. 기기 C와 D 등 다른 기기들은 MPC의 비컨을 듣고 자신의 LastAddressAssigned 정보를 Update한다. 이와 같은 방식으로 모든 기기는 Short Address를 하나씩 증가시키면서 16-bit 주소 공간을 사용하게 되어 ZigBee Protocol의 Block Addressing 방식에 비해 효율적인 주소를 사용할 수 있게 된다.

위에서 설명한 어드레스 할당 방식을 사용하는 경우 네트워크의 특성 상 동시에 전원을 켜고 Association을 요청하는 경우에 어드레스 중복이 발생하는 경우의 사례가 발생할 수 있어 이에 대한 해결 방안을 설명한다. 중복이 발생할 수 있는 경우는 그림과 같이 기기 B, C, D가 MPC로부터 각각 Short Address를 할당 받은 상태에서 자신의 Beacon Payload에 LAA 값으로 4를 넣어 전송하고 있다. 이 때 거의 동시에 기기 E와 I가 기기 B와 D에게 Association을 요청할 때 기기 B와 기기 D의 LAA 값이 4이므로 각각의 기기 B와 D는 Short Address 0x0005를 각각 기기 E와 기기 I에게 할당하고 기기 B와 D는 MPC에게 Beacon Update Command를 보내게 된다. 이 때 기기 E와 기기 I는 중복된 Address를 갖게 되는데 이런 경우에 MPC는 기기 B와 D로부터 Beacon Update Command를 받자마자 기기 B와 D가 각각 같은 Short address를 기기 E와 기기 I에게 할당하였음을 알게 되고 MPC는 기기 B 또는 기기 D 중 하나의 기기에게 address를 재조정 하라는 Address Reassign Command를 보내고 (예를 들어 기기 D에게 Address Reassign Command를 보냈다고 가정하면) 기기 D는 MPC로부터 받은 새로운 Short Address를 기기 I에게 할당하여 문제를 해결하게 된다. (참조 : MPC는 어드레스 할당과 관련한 Address Pool을 갖는다. MPC는 Beacon Update Command를 통해 새로 할당한 기기의 Short Address와 전체 비컨 페이로드에 포함된

LAA 값을 비교한다.)



(그림 13) LAA 기반 Short Address 할당에 있어서 주소 충돌 문제 해결 방안

결과적으로 LAA 방식을 기반으로 하여 Short Address를 할당한 기기의 경우 ZigBee와 같은 하위 기기의 연결에 제한을 두지 않기 때문에 모든 종류의 다양한 네트워크 토폴로지를 구성할 수 있게 된다. 또한 ZigBee 네트워크의 경우와 비교해 보면 WiBEEM 네트워크가 사용할 수 있는 Short Address 수는 실제로 사용한 Short Address를 제외한 나머지 모두를 사용할 수 있다는 장점이 있어서 주소 할당의 효율성 측면에서도 월등한 비교 우위를 가지게 되는 것이다. 또한, 예를 들어 1,000 개의 기기가 반드시 하나의 WPAN을 형성해야 하는 상황이 발생하였을 때, ZigBee의 고유 주소 할당 방식을 통하여 네트워크를 설계하기 위해서는 Cm, Rm 등의 파라미터에 대한 고려를 해야 하고 파라미터 및 네트워크 구성의 깊이에 대한 제약이 발생함에 따라 1,000 개의 기기를 좀 더 멀리 좀 더 확장하는 형태의 네트워크 구조를 설계할 수 없게 될 수도 있다. 하지만 LAA 방식의 경우 파라미터의 제한이 없기 때문에

확장성에 대한 제한이 발생하지 않게 된다.

## VI. WiBEEM 기기의 이동성 지원 방안

무선 메쉬 센서 네트워크 기기는 고정형의 형태로도 가능하나 다양한 유비쿼터스적 활용을 위해 이동성에 대한 지원은 필수적이다. 단순한 형태의 데이터를 수집하는 센서 네트워크의 경우는 고정적으로 설치하여 사용할 수 있지만 사용자가 직접 WiBEEM 기기를 소지한 채 사용을 하였을 때에는 이에 맞는 이동성 지원이 필요한 것이다. 예를 들어, 유비쿼터스화가 이루어진 주차장 서비스를 사용한다고 하였을 때, 이 주차장 서비스는 다음과 같은 것을 제공한다. 먼저 사용자가 주차장의 입구에 도착을 하게 되면 U-Parkign Lot 시스템이 이를 자동으로 인식한 후 우선권에 따라 이미 설정해 둔 주차 장소를 검색하여 사용자에게 알려준다. 사용자는 수신한 빈 자리 데이터를 이용하여 주차공간으로 이동을 하게 된다. 이 때, 사용자의 자동차는 지속적으로 이동을 하게 되며 주차장 공간이 넓기 때문에 최초에 연결을 하였던 기기와 연결이 통신 범위상의 제약으로 인해 끊어질 수 있다. 하지만, 주차장 서비스는 사용자에게 최초에 알려주었던 빈 자리에 다른 차량이 주차를 하였거나 사용자 편의를 위한 좀 더 나은 주차 자리가 발생하였을 때 차량이 주차를 완료하지 않은 상황에서 이를 알려주어야 한다. 이동하는 차량에서는 이러한 데이터가 발생하였을 때 지속적인 네트워크 연결이 이루어져 편리한 서비스를 제공받아야 한다. 이러한 주차장 서비스 뿐만 아니라 특정 서비스를 제공하는 구역에 사용자가 들어섰고 사용자의 이동에 따른 지속적인 서비스를 받기 위해서 이동성의 지원은 U-City 서비스를 위한 메쉬 센서 네트워크에서 빠질 수 없는 중요

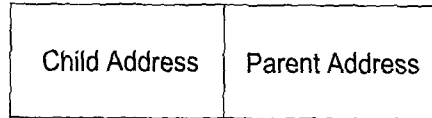


한 기술이 되는 것이다. WiBEEEM 기술은 이와 같은 기기의 이동성을 지원해주는 기술이다.

일반적인 WPAN 기술의 경우 자신을 Association 시켜준 Parent 기기의 통신범위를 벗어나지 않는 상황에서 무선 통신을 해야 한다. 즉, Parent 기기와의 통신범위가 닿지 않는 곳으로의 이동이 불가능하게 되는 것이다. 물론, Parent 기기의 통신범위가 닿지 않는 곳에 있는 기기와 통신을 하기 위해 기존 Parent와의 연결 관계를 종료하고 다른 기기와의 Association을 하여 통신을 할 수도 있지만 이런 경우에 네트워크에 대한 새로운 Association 절차를 거쳐야 하므로 Association을 위한 시간 지연은 고속의 이동을 지원해 주지 못하는 경우도 발생할 수 있다. 또한 ZigBee 프로토콜이나 HiLow 방식과 같은 무선 프로토콜의 정책에 따라 새로운 Association이 불가능하여 다른 곳으로 이동을 한 후에는 통신을 하지 못하는 경우가 발생할 수 있는 것이다. 그러나 WiBEEEM 기기에서는 LAA 방식을 사용하기 때문에 새롭게 Association을 한다 하여도 상위 기기가 Association을 거부하는 경우가 발생하지 않게 된다. 본 절에는 WiBEEEM 기기의 이동성을 지원하기 위한 Association 기법을 설명하였다.

WiBEEEM 기기의 이동성을 지원하기 위한 Relation Change 메커니즘은 다음과 같다. 먼저, 이동 기기는 비컨을 송신하지 않으며 자신이 들던 Parent 기기의 LQI 수준을 Parent 기기의 비컨을 통해 지속적으로 체크하게 된다. 기기가 이동하여 Parent 기기와의 거리가 멀어지면 LQI 수준이 낮아지게 되어 지속적인 체크를 하고 있던 이동 기기는 LQI의 수준이 일정 레벨보다 낮아졌다고 판단이 될 경우 MRC 기기로서 가장 LQI를 높게 제공하는 기기에게 Relation Change를 요청하게 된다. 이 때, 새롭게 연결 관계를 형성할 기기에게 <그림 14>과 같은 메시지를 필요로 한다. 이동 기기는 이동을 하면서 그

림에 나타난 자신의 주소인 Child Address 값을 새로운 연결 관계를 형성할 기기에게 전송한다. 이를 수신한 기기는 이동 기기가 자신에게 연결 관계를 요청하였음을 확인하고 이동 기기의 주소 값을 변화시키지 않은 상태에서 자신과의 연결 관계를 성립시킨다. 연결 관계를 성립시킨 기기는 이동 기기에게 연결이 완료되었음을 알려주게 되며, 이동 기기는 이러한 메시지를 듣고 새로운 기기와의 연결 관계가 형성되었음을 확인하게 된다.



(그림 14) 이동성 지원을 위해 필요로 하는 메시지 종류

(그림 14)의 Child Address는 이동하는 기기를 나타내며 Parent Address는 새롭게 연결 관계를 형성할 MRC 기기의 주소를 나타낸다. WiBEEEM 프로토콜의 이동성 보장은 실제 테스트를 통해 30Km 속도에서도 문제없이 Relationship Change를 이루어 네트워크를 재구성 하지 않고 연결 관계만을 재구성하였음을 직접 확인하였다.

## VII. 결론

본 고에서는 U-City를 구현할 때 가장 핵심적인 부가 서비스를 제공할 수 있는 서비스의 종류를 소개하고 이 서비스들이 필요로 하는 공통적인 요구 사항을 정리한 후 이 서비스 구현에 적용 가능한 근거리 무선 통신 기술로서 최적의 프로토콜인 WiBEEEM (Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh Network) 기술에 대해 소개하였다. WiBEEEM 기술은 USN (Ubiquitous Sensor

Network)를 위한 최적의 아키텍처로, Mesh Network를 완벽하게 동기화하여 낮은 전력을 소모하며 동작시키기 위해 여러 개의 Beacon을 수용하는 BOP 구간을 채택한 새로운 Superframe 구조를 제안하였으며 여러 개의 비컨들이 충돌없이 네트워크 정보를 전송할 수 있는 최적의 Beacon Scheduling 기법을 채택하였다. 또한 WiBEEEM 기술은 기기의 이동성을 제공해 주기 위해 LAA (Last Address Assigned) 기법을 이용한 새로운 Short Address 할당 기법을 채택함으로써 16-bit 주소 공간을 낭비 없이 사용할 수 있게 하였으며 이동하는 기기와의 정보 전송을 위해 고속의 Routing 기법을 제공하는 USN 최적의 아키텍처이다.

먼저 각 지자체가 채택 가능한 몇 가지의 U-City 부가 서비스에 대해 설명하고 이들의 기능과 요구 사항에 대해 정리한 후 이와 같은 서비스를 가능하게 해 줄 근거리 무선 통신 기술인 WiBEEEM 프로토콜의 개요에 대해 정리하였다. 또한 WiBEEEM 프로토콜에 사용된 핵심 기술인 Beacon Scheduling 기법에 대해 설명하여 어떻게 에너지 효율적인 동작을 수행하는 지 대해 설명하였으며 Bluetooth 기술과 ZigBee 기술이 가지고 있는 Short Address 할당 방식의 문제점을 해결할 수 있는 방안인 LAA (Last Address Assigned) 기반 Short Address 할당 방식에 대해 설명하였다. 그리고 U-City 핵심 부가 서비스가 반드시 제공해 주어야 하는 WiBEEEM 기기의 이동성 지원 방안에 대해 소개하였다.

WiBEEEM 기술은 현재 U-City Forum 기술 분과 위원회에서 표준화가 진행되고 있는 기술로 이 기술이 표준화가 완성되고 지자체가 추진하고 있는 다양한 위치의 U-City가 이 기술을 적용하여 모든 서비스를 구현한다면 서비스 간 상호운용성은 물론 U-City 간 상호운용성도 제공될 것이므로 U-Korea의 구현은 자연스럽게 이루어 질 것으로 보인다. 여기에

이 기술을 중국과 일본은 물론 미국에도 수출할 수 있는 기반을 마련할 수 있다는 데에 본 기술의 중요성이 부각되는 것이다.

## 참고 문헌

- [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 Draft Version 1.0
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," in Proceedings of the IEEE INFOCOM 2002, pp. 1567-1576 Jun. 2002.
- [4] E. Callaway, P. Gorday, L. Hester, J.A. Gutierrez, M. Naeve, B. Heile and V. Bahl, "Home networking with IEEE 802.15.4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks," IEEE Communications Magazine, Aug. 2002.
- [5] IEEE 802.15 Working Group for WPAN Web site, <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/index.html>.
- [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  
Face-to-Face meeting, April 18, 2006.

- [7] Ho-In Jeon, "A Solution to Exposed Node Problem in Mesh Networks," A Solution to Exposed Node Problem in Mesh Networks," IEEE 802.15.5 Wireless PAN Mesh Network Task Group Face-to-Face meeting, April 18, 2006.
- [8] 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.
- [9] ZigBee Alliance Web site <http://www.zigbee.org/members/>



**전호인**

경원대학교 전기정보전자공학부 교수  
ISO/IEC JTC1 SC6 WG1 국제 의장  
IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Network Task Group 국  
제 부의장  
ISO/IEC JTC1 SC25 전문위원회 위원장/한국 대표  
단 단장

U-City Forum 기술분과위원회 위원장

U-Banking Forum 의장

---