논문 2006-43TC-11-9

# 지그비 네트워크에서 효율적인 이동성 지원을 위한 빠른 핸드오버 방안

## ( Fast Handover Mechanism for Efficient Mobility Support in ZigBee Networks )

정 우 진*, 김 기 범**, 최 창 순**, 윤 동 원***

( Woojin Jeong, Kibeom Kim, Changsoon Choi, and Dongweon Yoon )

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)의 표준 중에서 근거리 무선 통신 기술인 지그비(Zigbee) 네트워크에 이동성을 부여하는 방법에 대하여 제안한다. 지그비는 매우 저렴한 가격, 매우 긴 배터리 수명, 간단한 구조 및 연결성을 제공하여 10m~70m이내의 작은 범위 내에서 무선 연결을 요구하는 분야에 적합한 표준이다. 하지만 지그비 네트워크에서는 이동성을 지원하고 있지 않기 때문에 실제 필드(Field)에서 발생하는 다양한 변화에 적응력 있게 대처할 수 있도록 추가로 지원 되어야 할 요소들이 연구되어야 한다. 본 논문에서는 지그비 네트워크에 이러한 문제점을 해결하기 위하여 지그비 엔드 디바이스(End Device)가 현재 라우터(Router) 영역에서 다른 라우터 영역으로 이동 했을 때 지그비 엔드 디바이스의 주소 변경으로 인한 기존의 연결 및 바인딩 테이블(Binding Table)을 다시 수립해야 하는 문제점을 해결하여 연결의 끊김 및 데이터의 손실 없이 통신을 할 수 있도록 하는 방안을 제안한다.

Abstract

This paper proposes a method to endow the mobility to the Zigbee protocol which is a short distance wireless communication technology among the standards of wireless sensor networks. The Zigbee has a low price, long life battery, simple structure and connectivity. So it is a suitable standard for the short distance wireless communication of 10m~70m. As the Zigbee does not support the mobility, additional factors should be studied to deal adeptly with the diverse change in the real field. By solving the problem that the previous connection and binding table of the Zigbee end device should be reset due to the Zigbee end device address variation when the Zigbee end device moves from the present router to another router, this paper presents the method to communicate without data loss or disconnection.

**Keywords :** Zigbee, Mobile, Mobility, PAN, USN

## I. 서 론

최근 홈 네트워크(Home Network) 및 유비쿼터스에(Ubiquitous) 대한 관심이 크게 증가하면서 배선 작업이 필요 없는 편리함으로 인해, 10m 내외의 단거리에서 사용하는 개인 무선 네트워킹 솔루션(Solution)인 무선 PAN(Personal Area Networks)기술이 주목 받고 있다. 이러한 단거리 무선 통신 기술로는 무선 LAN(Local Area Networks)과 무선 PAN이 있으며, 무선 LAN은 PC, 노트북, PDA등의 단말에서 주로 광대역 인터넷 접속 연결 확장 용도에 사용되고, 무선 PAN 기술인 지그비, UWB(Ultra Wideband), 블루투스(Bluetooth) 는 PC, 가전제품, 셋탑박스 등 이동통신 단말기, 홈오토메이션(Home Automation), 홈 엔터테인먼트(Home Entertainment) 제품을 위해 주로 사용될 것으로 예상되고 있다. 이중에서 지그비는 블루투스보다 매우 저렴

* 학생회원, ** 종신회원, 한양대학교 전자통신컴퓨터 공학부
(Division of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)
** 정회원, (주)트루모바일
(Truemobile Co., Ltd.)
접수일자: 2006년10월10일, 수정완료일: 2006년11월18일

한 가격, 매우 긴 배터리(Battery) 수명, 간단한 구조 및 연결성을 제공하여 10m~70m이내의 작은 범위 내에서 무선 연결을 요구하는 분야에 적합한 표준으로 개발 되고 있다. 하지만 기존의 지그비 네트워크는 이동성을 지원하고 있지 않기 때문에 실제 필드에서 발생하는 다양한 변화에 적응력 있게 대처할 수 없다. 기존 지그비 프로토콜에서 이동이 가능한 노드는 위치의 이동에 따라 계속해서 네트워크의 가입 탈퇴를 반복해야만 한다. 이동의 감지 후 네트워크 탈퇴를 거쳐 재가입 절차를 수행하고 새로운 주소를 받은 후 네트워크에 새로운 주소를 알려야 다른 노드와의 통신이 가능해 지기 때문이다. 따라서 노드의 이동이 빈번하게 되면 이동에 따른 절차를 수행 때문에 통신 자체가 불가능할 수도 있다. 본 논문에서는 지그비 네트워크의 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 기존 지그비 프로토콜과의 호환성을 유지하고 삼각 라우팅 문제와 핸드오버의 지연을 없애 빈번한 이동에도 패킷손실을 최소화하는 이동성 지원 방법에 대하여 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 Ⅱ장에서 지그비에 대한 배경 지식과 관련 연구에 대해 설명하며, Ⅲ장에서는 제안하는 기법의 동작 방식과 기술적인 이슈들을 논의하고, 마지막 Ⅳ장에서는 본 논문의 연구 결과를 요약한다.

## Ⅱ. 지그비

### 1. 지그비의 개요

지그비는 저전력, 저가격, 사용의 용이성을 가진 무선 센서네트워크의 대표적인 기술 중 하나로 2003년 IEEE 802.15.4 작업분과위원회에서 표준화된 PHY/MAC층을 기반으로 상위 프로토콜(Protocol) 및 Application을 규격화한 기술이다. 지그비는 가정, 사무실 등의 장소나 국소 지역에서 근거리 통신과 유비쿼터스 컴퓨팅을 구현할 수 있다. 지그비 통신 기기는 반경 100m안에서 250kbps의 속도로 데이터를 전송할 수 있으며, 메시(Mesh) 네트워크 구조를 이용하면 하나의 무선 네트워크에 약 65000대의 기기를 연결 할 수 있다. 지그비/IEEE 802.15.4의 가장 큰 특징은 낮은 전력소모이다. 초기 지그비칩의 동작 시 전력소모는 대체로 최대 66㎽ 내외로 UWB의 전력 소모가 200㎽, 무선LAN의 전력 소모가 1W정도임을 감안할 때 낮은 전력을 소모함을 알 수 있다. 지그비 네트워크에서 엔드 디바이스들은 한 번 배터리를 장착하면 최대 2~3년 정도 사용할 수도 있으며 통신 빈도가 낮은 응용분야에서는 더 오래 동작될 수도 있다. 아래 표 1 에는 지그비의 물리계층 표준 규격인 IEEE 802.15.4에 정의된 주파수 대역에 따른 주요 특징을 나타내었다.

표 1. IEEE 802.15.4의 특징
Table 1. Characteristics of IEEE 802.15.4.

| Classification | 2.4 GHz | 868 MHz | 915 MHz |
|---|---|---|---|
| Data Rate | 250 Kbps | 20 Kbps | 40 Kbps |
| Channel | 11~26 channel | 1 channel | 10 channel |
| DSSS | 32-chip PN codes | 15-chip PN codes | |
| Chip Modulation | O-QPSK | BPSK | |
| Symbol Rate | 62.5 Ksym/s | 20 Ksym/s | 40 Ksym/s |
| Chip Rate | 2.0 Mchips/s | 300 Kchips/s | 600 Kchips/s |
| Sensitivity | -85 dBm | -92 dBm | |
| RF Linearity | -10 dBm (IIP3), -4 dBm (Output P1dB) | | |
| Transmit Power | 0 dBm (1mW) | | |
| Adjacent Channel Rejection | 0 dB | | |
| Alternating Channel Rejection | 30 dB | | |

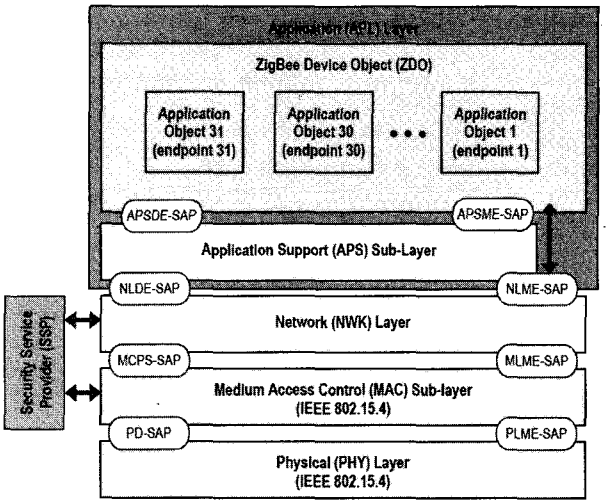


그림 1. 지그비 스택 구조
Fig. 1. Zigbee Stack Architecture.

## Ⅲ. 모바일 지그비 프로토콜

### 1. 모바일 지그비 프로토콜

Ⅲ장에서는 본 논문에서 제안하는 지그비 프로토콜에서 지그비 엔드 디바이스의 이동성 지원을 위한 빠른 핸드오버 방안인 모바일 지그비 프로토콜을 설명한

다. 모바일 지그비 프로토콜은 기존 지그비 프로토콜의 확장으로 지그비 엔드 디바이스가 현재 라우터 영역에서 다른 라우터 영역으로 이동했을 때 엔드 디바이스의 주소 변경으로 인해 기존 연결 및 바인딩 테이블을 다시 수립해야 하는 문제점을 해결하여 계속적인 통신을 수행할 수 있도록 하고, 이동 중의 패킷 손실을 최소화 한다.

## 2. 지그비 프로토콜의 확장

모바일 지그비 프로토콜로의 확장을 위해 기존 지그비 프로토콜에 몇 가지 속성이 추가된다.

네트워크 계층에서는 NIB의 네이버 테이블(Neighbor table)에 CoA(Care of Address) 필드와 Binding Update, Binding Response, Movement notification 커맨드 프레임(Command Frame)이 추가 된다.

Command frame identifier 필드는 0x11로 설정한다.

Address type 비트가 0일 경우 다음 라우터의 주소를 나타내며, 1 일 경우는 지그비 엔드 디바이스의 CoA를 나타낸다.

표 2. 커맨드 프레임 식별자
Table 2. Command Frame Identifier.

| Command frame identifier | Command name |
|---|---|
| 0x11 | Movement Notification |
| 0x12 | Binding Update |
| 0x13 | Binding Response |

표 3. Movement Notification 커맨드 프레임
Table 3. Movement Notification Command Frame.

| Octets : 1 | 1 | 2 |
|---|---|---|
| Command frame identifier | Command option | Address |

표 4. 커맨드 옵션 필드
Table 4. Command Option Field.

| Bit : 0 - 6 | 7 |
|---|---|
| Reserved | Address type : 0 - NR , 1 - CoA |

표 5. Binding Update 커맨드 프레임
Table 5. Binding Update Command Frame.

| Octets : 1 | 1 | 2 / 8 |
|---|---|---|
| Command frame identifier | Command option | Address |

표 6. 커맨드 옵션 필드
Table 6. Command Option Field.

| Bit : 0 - 6 | 7 |
|---|---|
| Reserved | Address type : 0 64bit address , 1 CoA |

표 7. Binding Response 커맨드 프레임
Table 7. Binding Response Command Frame.

| Octets : 1 | 1 |
|---|---|
| Command frame identifier | Status |

Command frame identifier 필드는 0x12로 설정한다.

Address type 비트가 0일 경우 지그비 엔드 디바이스의 64비트 IEEE 확장 주소를 나타내며, 1 일 경우는 지그비 엔드 디바이스의 CoA를 나타낸다.

Command frame identifier 필드는 0x13으로 설정한다.

매체 접근 제어 계층에서는 Orphan notification 커맨드 프레임의 목적지 주소를 브로드캐스트(Broadcast) 주소인 0xffff로 제한하지 않고 다음 라우터의 주소를 목적지 주소로 할당 할 수 있다. 이 커맨드 프레임을 수신한 다음 라우터도 브로드캐스트 주소가 아닌 자신의 주소일 경우 모바일 지그비 프로토콜로 판단하여 동작하게 된다.

## 3. 이동의 감지

지그비 네트워크에서 코디네이터(Coordinator)와 라우터들은 PAN의 슈퍼 프레임(Super Frame) 정보가 담긴 비콘(Beacon)을 주기적으로 전송한다. 엔드 디바이스들은 이 비콘에 따라 활동 시간을 조절하고 데이터 송수신을 수행하게 된다. 엔드 디바이스들이 비콘을 수신할 때, 전파 수신 강도(Received Signal Strength Indication RSSI)를 측정하게 되는데 이 값이 작아진다는 것은 송신지로부터 멀어진다는 것을 의미한다. 따라서 현재 수신하고 있는 비콘의 신호세기가 약해진다면 현재 가입되어 있는 코디네이터 또는 라우터에 멀어지고 있는 것이지만 반대로 다른 라우터에 가까워지고 있는 것일 수도 있다. 현재 수신하고 있는 비콘 이외에 PAN 아이디가 같은 다른 비콘을 수신한다면 같은 PAN 안에서 다른 라우터의 영역으로 이동하는 것으로 판단 할 수 있고, 다른 비콘이 없거나 PAN 아이디가 다른 비콘이 수신 된다면 현재 PAN을 벗어나는 것이다.

엔드 디바이스가 현재 수신하고 있는 비콘의 슈퍼 프레임 구조에 맞추어 동작하게 되면 다른 비콘을 수신하기 어렵다. 그래서 또 다른 비콘의 수신을 위해 활동 시간은 유지하고 휴면 기간에 비콘 추적을 수행하기 위해 비콘 신호세기의 감소에 비례하여 수신부의 활성화 시간을 할당한다.

현재 PAN에서 멀어져서 네트워크가 단절 되는 것으로 판단되면 지그비 표준 프로토콜을 따르고, 같은 PAN 안에서 다른 라우터의 영역으로 이동하는 것으로 판단되면 본 논문에서 제안하는 모바일 지그비 프로토콜을 수행한다.

## 4. 이동

이동을 감지한 지그비 엔드 디바이스는 이동할 라우터에서 사용할 새로운 주소(CoA)를 할당 받고 이전 라우터의 네이버 테이블에 CoA를 등록하는 바인딩 업데이트(Binding Update; BU) 과정을 거친다. 여기서 지그비 엔드 디바이스는 이동 속도에 따라 이동을 감지한 후에 다음 라우터로 이동하기 전 이전 라우터를 통해 BU를 수행하는 ante BU 모드와 다음 라우터로 이동 후 BU를 수행하는 post BU 모드로 나뉘어 동작하게 된다.

지그비 엔드 디바이스의 이동이 지속적으로 이루어져 여러 라우터의 영역을 지나가게 되더라도, 현재의 라우터가 홈 라우터(Home Router)와 같이 동작해서 이동하게 될 다음 라우터 및 대응 엔드 디바이스와의 바인딩 업데이트를 수행하게 된다.

## 5. 바인딩 업데이트

### (가) Ante BU 모드

감지한 지그비 엔드 디바이스는 비콘 추적을 통해 다음 라우터의 네트워크 주소를 획득하게 되고, 네트워크 계층의 커맨드인 Movement notification 커맨드 프레임의 주소 필드를 다음 라우터의 네트워크 주소로 설정해서 이전 라우터로 전달한다. 커맨드를 수신한 이전 라우터는 지그비 엔드 디바이스의 64비트 주소를 주소 필드에 설정하고 다음 라우터로 바인딩 업데이트 커맨드 프레임을 보낸다. 바인딩 업데이트 커맨드 프레임을 수신한 다음 라우터는 지그비 엔드 디바이스에 네트워크 주소를 할당하고, 네이버 테이블에 지그비 엔드 디바이스를 자식 노드로 등록한다. 다음 라우터는 바인딩 업데이트의 수행 결과를 Binding Response 커맨드 프레임을 통해 이전 라우터로 되돌려 준다. Binding Response 커맨드 프레임을 수신한 이전 라우터는 바인딩 업데이트

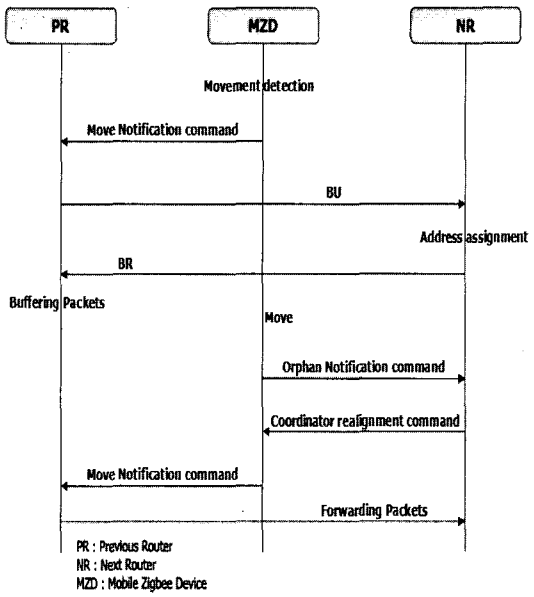


그림 2. Ante 바인딩 업데이트 모드
Fig. 2. Ante Binding Update Mode.

결과가 성공이라면, 지그비 엔드 디바이스로 향하는 패킷(Pack)의 버퍼링(Buffering)을 시작한다. 바인딩 업데이트가 실패 했다면 이전 라우터는 지그비 엔드 디바이스로 향하는 패킷을 버퍼링 하지 않고 다음 라우터에도 지그비 엔드 디바이스에 대한 정보가 네이버 테이블에 등록되지 않게 되어, 지그비 엔드 디바이스는 다음 라우터로 이동 후 post BU 모드를 다시 수행하게 된다. 바인딩 업데이트가 성공했다면, 지그비 엔드 디바이스는 다음 라우터로 이동 후 Orphan Notification 커맨드 프레임에 목적지 주소를 다음 라우터의 네트워크 주소로 설정해 전송하고, 다음 라우터는 Coordinator realignment 커맨드 프레임에 지그비 엔드 디바이스에 할당된 CoA 주소를 설정해 지그비 디바이스에 전송한다. CoA를 자신의 주소로 설정한 지그비 디바이스는 이전 라우터에 주소 필드를 CoA로 설정한 Movement Notification 커맨드 프레임을 전달하고, 이를 수신한 이전 라우터는 버퍼링 했던 패킷들을 지그비 디바이스의 CoA주소로 전달하기 시작한다.

### (나) Post BU 모드

이동을 감지한 지그비 디바이스가 비콘 추적을 통해 다음 라우터의 네트워크 주소를 획득 했지만, 이전 라우터를 통한 바인딩 업데이트 과정이 실패 했거나 바인딩 업데이트 과정을 수행하기 이전에 다음 라우터의 영역으로 이동해서 이전 라우터와의 연결이 끊어졌다면

Post BU 모드를 수행하게 된다. 지그비 디바이스는 다음 라우터로 이동후 Orphan Notification 커맨드 프레임에 목적지 주소를 다음 라우터의 네트워크 주소로 설정해 전송하고, 다음 라우터는 Orphan Notification 커맨드 프레임의 목적지 주소를 확인한다. 목적지 주소가 자신의 네트워크 주소이면 다음 라우터는 바인딩 업데이트를 시작한다. 다음 라우터는 지그비 디바이스에 새로운 주소(CoA)를 할당하고 이전 라우터로 바인딩 업데이트 커맨드 프레임을 보낸다. 바인딩 업데이트 커맨드 프레임을 수신한 이전 라우터는 자신의 네이버 테이블에서 주소를 검색하여 일치하는 엔트리(Entry)가 있으면 CoA주소를 등록하고 패킷의 버퍼링을 시작한다. 반면, 엔트리가 없다면 아무 동작도 하지 않는다. 이전 라우터는 바인딩 업데이트 커맨드 프레임의 처리 결과를 Binding Response 커맨드 프레임을 통해 다음 라우터로 전달한다. 다음 라우터는 바인딩 업데이트의 결과가 실패하면 지그비 디바이스에 아무 메시지도 보내지 않고 지그비 디바이스는 기존 지그비 프로토콜의 가입 절차를 거치게 된다. 바인딩 업데이트가 성공했다면 다음 라우터는 Coordinator realignment 커맨드 프레임에 지그비 디바이스에 할당된 CoA 주소를 설정해 지그비 디바이스에 전송한다. CoA를 자신의 주소로 설정한 지그비 디바이스는 이전 라우터에 주소 필드를 CoA로 설정한

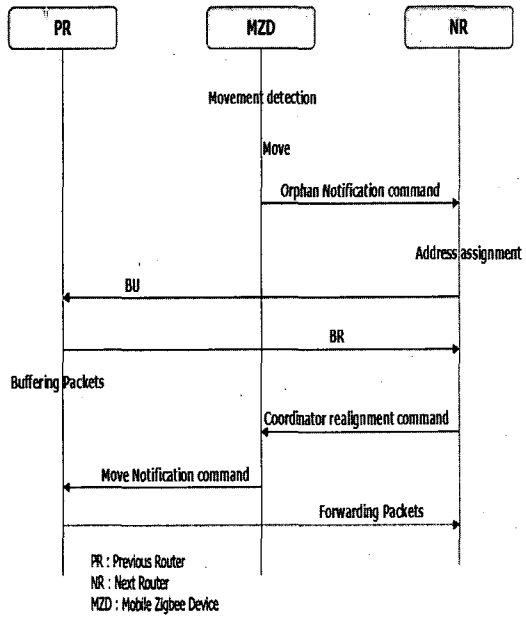


그림 3. Post Binding Update 모드
Fig. 3. Post Binding Update Mode.

Movement Notification 커맨드 프레임을 전달하고, 이를 수신한 이전 라우터는 버퍼링 했던 패킷들을 지그비 디바이스의 CoA주소로 전달하기 시작한다.

## 6. 메시지 전달

이전 라우터는 수신한 패킷이 자신의 자식 노드로 향하는 것이면, 전달하기 전 네이버 테이블을 검색해 CoA가 설정 되어 있는지 확인한다. CoA가 설정되어 있지 않다면, 해당 자식 노드로 패킷을 전달하고, CoA가 설정되어 있다면, 목적지 주소를 CoA로, 송신지 주소를 자신의 주소로 설정해서 지그비 디바이스로 전달한다. 한편, 이동한 지그비 디바이스로 패킷을 전달 한 이전 라우터는 수신한 패킷의 송신지 주소로 바인딩 업데이트 메시지를 보내, 송신 디바이스에게 이동한 지그비 디바이스의 CoA주소를 알린다. 바인딩 업데이트 메시지를 받은 송신 디바이스는 지그비 디바이스로 전송하는 패킷의 목적지 주소를 CoA로 설정한다. 만일, 지그비 프로토콜의 바인딩 테이블을 이용한 간접전송(indirect transmission)이라면, 송신 디바이스의 주소를 찾을 수 없으므로, 지그비 네트워크의 코디네이터로 바인딩 업데이트 메시지를 전송한다.

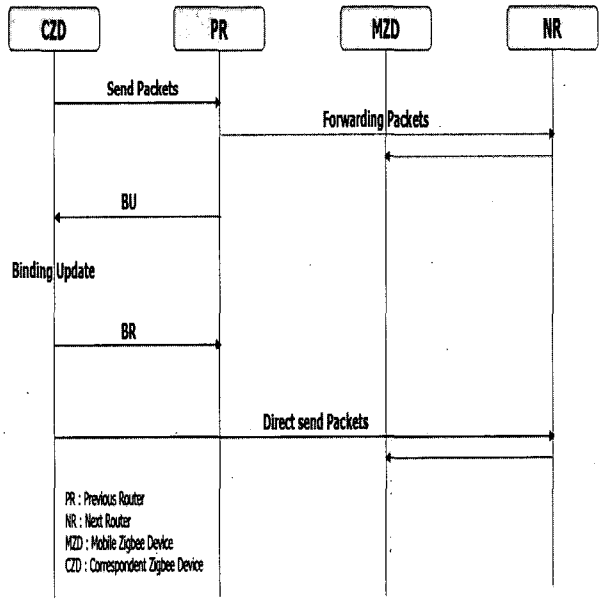


그림 4. 메시지 전달
Fig. 4. Message Conveyance.

## 7. 복귀

지그비 디바이스가 여러 라우터를 지나 다시 홈 라우터로 돌아왔을 경우, 홈 라우터는 지그비 디바이스의

Orphan Notification 커맨드 프레임을 받거나 이전 라우터로부터 바인딩 업데이트를 받을 때 전달받은 64비트 주소가, 네이버 테이블에 존재하는지 확인한다. 만일, 자신의 자식 노드라면 홈 라우터는 지그비 디바이스에 할당할 새로운 주소를 생성하지 않고, 네이버 테이블에 있는 원래의 주소를 Coordinator realignment 커맨드 프레임에 설정해서 전달한다. 따라서 지그비 디바이스는 원래 자신의 주소를 다시 할당 받게 된다.

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 지그비 디바이스의 이동성을 지원하는 모바일 지그비 프로토콜을 제안하였다. 모바일 지그비 프로토콜은 기존 지그비 프로토콜과의 호환성을 유지하면서 이동성 지원 기능을 확장한 것으로 지그비 디바이스가 현재 라우터 영역에서 다른 라우터 영역으로 이동했을 시에 디바이스 주소의 변경으로 인한 기존의 연결 및 바인딩 테이블을 다시 수립해야 하는 문제를 해결함으로써 이전 연결의 끊김 및 데이터의 손실 없이 통신을 수행 할 수 있도록 하였다. 지그비 디바이스의 이동 후에 발생할 수 있는 삼각 라우팅 문제를 대응 노드와의 바인딩 업데이트를 통해 해결하고, 노드의 이동에 의한 핸드오버 방식을 이동의 감지 이전과 이후로 나누어 고안하여, 빈번하거나 빠른 이동에도 데이터 전송 지연과 손실을 최소화 하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방식은 이동성이 요구되는 다양한 센서 네트워크 분야에도 사용될 수 있을 것이다. 향후에는 지그비 디바이스의 다양한 이동성과 지그비 네트워크의 각종 환경변수를 고려한 모바일 지그비 프로토콜의 실험적인 성능 결과의 보완이 필요하며, 데이터 통신의 보안 및 안전성 확보에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

[1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasub-ramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine 2002.
[2] Jamal N.Al-Karaki, Ahmed E.Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Wireless Communication, December 2004.
[3] M. Tubaishat, S.Madria, "Sensor Netwoks: An Overview", IEEE Potentials, April/May 2003.
[4] Guiling Wang, Guohong Cao, Tom La Porta, and Wensheng Zhang, "Sensor Relocation in Mobile Sensor Networks,"in the 24th Conference of the IEEE Communication Society (INFOCOM), March 2005.
[5] ZigBee Alliance, "ZigBee Specification, version 1.0," Specification," June 2005, www.zigbee.org.
[6] IEEE Standard 802.15.4 - 2003, Standard, www.zigbee.org.
[7] Patrick Kinney, "ZigBee technology: Wireless Control that Simply Works", White paper, www.zigbee.org.

## 저 자 소 개

정 우 진(학생회원)
1992년 한양대학교 전자통신 공학과 학사 졸업.
1994년 한양대학교 전자통신 공학과 석사 졸업.
2005년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 박사과정.
<주관심분야 : Zigbee, Sensor Network, 이동통신>

최 창 순(정회원)
2003년 목원대학교 전자공학과 학사 졸업.
2005년 서강대학교 전자공학과 석사 졸업.
2005년~현재 트루모바일 연구원
<주관심분야 : VLSI 설계를 위한 DSP알고리즘, 무선 통신신호처리, 센서 네트워크>

김 기 범(정회원)
2003년 건국대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업.
2005년 건국대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업.
2005년~현재 트루모바일 연구원
<주관심분야 : 컴퓨터, 무선 네트워크, 센서네트워크, 라우팅>

윤 동 원(종신회원)
1989년 한양대학교 전자통신 공학과 학사 졸업.
1992년 한양대학교 전자통신 공학과 석사 졸업.
1995년 한양대학교 전자통신 공학과 박사 졸업.
1995년 3월~1997년 8월 동서대학교 정보통신 공학과 조교수
1997년 9월~2004년 2월 대전대학교 정보통신 공학과 부교수
2004년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터 공학부 부교수
<주관심분야 : 디지털 통신,무선통신, 이동통신>