

# ZigBee 네트워크 단위의 이동성을 지원하는 Mobile Router 구조 설계

김진호, 홍충선  
경희대학교 컴퓨터공학과  
e-mail : jhkim@networking.khu.ac.kr, cshong@khu.ac.kr

## A Mobile Router Architecture for Supporting Network Mobility of ZigBee Network

Jin Ho Kim, Choong Seon Hong  
Dept. of Computer Engineering, Kyung Hee University

### 요 약

ZigBee 와 Network Mobility(NEMO) 프로토콜은 현재 가장 활발하게 진행되고 있는 네트워킹 기술들 중에 하나이며, 서로 밀접한 연관성을 가지고 있기 때문에 유비쿼터스 혁명의 파급효과를 극대화 할 수 있는 이들 간의 연동에 대한 연구는 개별 기술만큼이나 중요하다고 볼 수 있다. 유비쿼터스 환경에서의 센서 네트워크 관련 핵심요소 기술의 하나로 각 센서 노드들에게 인터넷 연결성의 지원과 동시에 네트워크 단위의 이동성을 제공하는 기술이 요구된다. 본 논문에서는 ZigBee 네트워크 단위의 이동성과 ZigBee Device 들이 IPv6 노드와의 통신을 지원하기 위해 NEMO 프로토콜을 기반으로 하는 새로운 ZigBee Network Gateway(Mobile Router)의 동작과 구조를 제시한다.

### 1. 서론

최근 급부상하고 있는 무선 센서 네트워크 기술은 인터넷의 지속적인 성장과 저가형의 센서 개발, 국제 표준화 등의 환경 변화로 인해 다양한 산업분야에서 실용화가 진행되고 있다. 특히 ZigBee[1]는 IEEE 802.15.4[2]를 기반으로 하는 WPAN 기술로 낮은 전력을 소모하며, 초저가의 센서 네트워크를 구현하기에 최적의 방안을 제공하는 기술이다. ZigBee 는 IEEE 802.15.4 WPAN 기술의 PHY 와 MAC 을 사용하고 있으며, 네트워크계층, 응용계층과 같은 상위 계층에서의 프로토콜은 ZigBee Alliance[3]에서 정의하고 있다.

ZigBee 노드들에게 이동성을 제공함과 동시에 인터넷과의 접속을 지원하기 위해서는 이동성 지원 프로토콜이 필요로 하게 되며, 대표적으로 Mobile IPv6 프로토콜[4]이 적용될 수 있다. 그러나, Mobile IPv6 는 단말 이동성을 제공하는 프로토콜이기 때문에 다른 링크로 이동 시 시그널링 오버헤드가 많으며, 제한된 전력과 컴퓨팅 능력을 가지는 각 센서들에게 Mobile IPv6 프로토콜을 적용하여 이동성을 제공하는 방법은 매우 비효율적이다.

센서 네트워크는 네트워크를 구성하는 센서들의 센싱 목적이 같은 경우이며, 센서의 수가 매우 많은 특징을 가지고 있기 때문에 센서 네트워크의 이동성을 지원하기 위해서는 Network Mobility(NEMO) 프로토콜 [5]과의 연동을 해야 인터넷 접속지점이 바뀌는 상황에서도 효율적으로 센서들의 이동성을 제공받을 수 있다. NEMO 프로토콜을 적용하면 각 센서들은 이동성 프로토콜을 포함하고 있지 않더라도, Mobile Router 를 통하여 이동 중에도 언제나 인터넷 연결이 보장되기 때문에 에너지 절약 측면에서 매우 효과적이다. 따라서 본 논문에서는 NEMO 프로토콜을 기반으로 한 ZigBee 네트워크 간 연동에 대한 메커니즘과 ZigBee Network Gateway(Mobile Router)의 구조를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1 장 서론에 이어 2 장에서는 ZigBee 와 NEMO 프로토콜 기술에 대한 관련 연구를 설명하고, 3 장에서는 본 논문에서 제안한 ZigBee 네트워크 단위의 이동성을 지원하기 위한 Mobile Router 의 구조를 살펴본다. 4 장에서는 각 Gateway 의 구조를 비교하고, 마지막 5 장에서 결론을 맺는다.

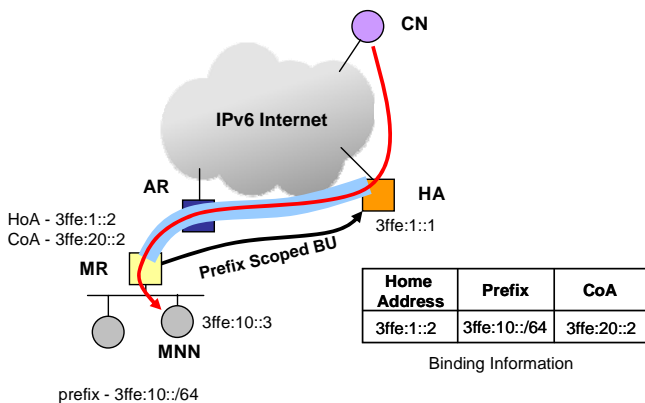
이 논문은 2006 년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-521-D00394). Dr. 홍충선은 교신저자임.

2. 관련연구

2.1 NEMO 프로토콜 (Explicit mode)

Mobile IPv6 를 사용하여 이동 네트워크 내의 고정 노드로 패킷을 보내면 이 패킷은 먼저 해당 이동 네트워크의 홈 네트워크로 전달된다. 그런데 홈 네트워크에서는 이동 네트워크와 함께 움직인 노드들에 대한 정보는 알지 못하기 때문에 디폴트 라우터와 Home Agent(HA) 간에 라우팅 루프가 발생하여 전송에 실패하게 된다.

NEMO 프로토콜의 Explicit mode[5]는 [그림 1]과 같이 기존의 Mobile IPv6 를 이동 네트워크에 적용할 때 발생하는 라우팅 루프 문제를 해결하기 위해 Mobile IPv6 의 Binding Update(BU) 메시지를 확장하여 이동 네트워크를 담당하는 Mobile Router 가 BU 메시지를 보낼 때 하위 노드들의 prefix 정보를 포함해서 보낸다. 이를 통해 Mobile Router 의 Home Agent는 Mobile Router 와 함께 움직인 노드들의 위치 정보를 파악할 수 있게 되어 Mobile Router 의 하위 노드들로 향하는 패킷이 들어오면 이 패킷들을 Mobile Router 의 현재 주소로 터널링 한다. 패킷은 Mobile Router 를 통해 목적지 노드로 전송되고 결과적으로 최종 목적지 노드로 전송이 가능하게 된다.



(그림 1) NEMO basic 프로토콜(Explicit mode)

2.2 ZigBee 네트워크 계층의 기본 프레임 형식

|                |                     |                |        |                 |               |
|----------------|---------------------|----------------|--------|-----------------|---------------|
| Octets:2       | 2                   | 2              | 1      | 1               | Variable      |
| Frame Control  | Destination Address | Source Address | Radius | Sequence Number | Frame Payload |
|                | Routing Field       |                |        |                 |               |
| Network Header |                     |                |        |                 | NWK Payload   |

(그림 2) Mobile ZigBee Co-ordinator Option 포맷

ZigBee 네트워크 계층의 프레임은 기본적으로 네트워크 헤더와 네트워크 페이로드로 구성된다. 네트워크 헤더는 고정된 8 바이트 118 크기이며, Frame Control 필드, 주소 필드, 브로드캐스트와 관련된 필드로 구성되어 있다. 네트워크 페이로드는 상위 계층에서 받거나, 상위 계층으로 보내야 하는 데이터가 들

어가는 곳이며 최대 89 바이트까지 가능하다. [그림 2]는 기본적인 네트워크 프레임 형식을 보여준다. ZigBee 네트워크 계층에서는 네트워크 데이터 프레임과 명령 프레임을 사용한다.

3. ZigBee Gateway Router(Mobile Router) 구조

본 논문에서는 NEMO 프로토콜에서 BU 메시지를 보낼 때 ZigBee 네트워크의 정보를 포함해서 보내기 위해 NEMO Explicit mode 를 사용하고 ZigBee 프레임을 IPv6 패킷 페이로드에 넣어서 보낸다.

본 논문의 Mobile Router 구조 및 모듈들은 IPv6 네트워크(인터넷)를 통해서 ZigBee Device 와 IPv6 노드 또는 다른 영역의 ZigBee Device 간의 통신을 지원한다. 또한, ZigBee 네트워크는 Mobile Router 에 포함되어 각 ZigBee Device 가 이동성 기능이 없더라도, NEMO 프로토콜을 가지고 있는 Mobile Router 를 통하여 네트워크 단위의 이동성이 지원된다.

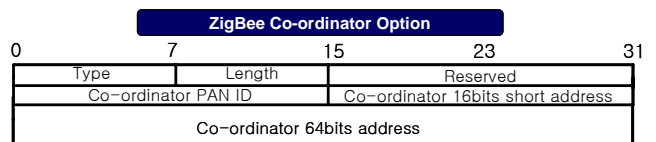
3.1 가정

- ZigBee 네트워크는 Mobile Router 에 의해서 네트워크 단위의 이동이 가능하다. 하지만 각 ZigBee Device 들이 이동성 메커니즘을 가지고 있지 않고, 단지 NEMO 프로토콜을 가지고 있는 Mobile Router 가 이동성 지원을 위한 작업들을 수행한다.
- ZigBee 를 제어할 수 있는 Server 는 Mobile Router 가 보내는 BU 메시지를 처리하고 Binding Cache 정보를 저장할 수 있는 능력이 있어야 한다. 즉, Mobile Router 에 대한 Home Agent 기능을 수행할 수 있다.
- ZigBee 를 제어하는 Server 는 ZigBee Device 들이 처리할 수 있는 최대 데이터 크기 이상의 패킷을 보내는 것을 허용하지 않는다. 만약 ZigBee 네트워크로 향하는 패킷의 최대 크기 이상의 데이터가 Mobile Router 로부터 수신한다면 그 패킷은 버려져야만 한다.
- Server, Mobile Router, ZigBee Device 들 사이에는 이미 신뢰성이 확보 되었으며, 데이터나 쿼리 메시지들은 보안적인 문제가 없다고 가정한다.

3.2 수정된 메시지

ZigBee PAN Co-ordinator Option

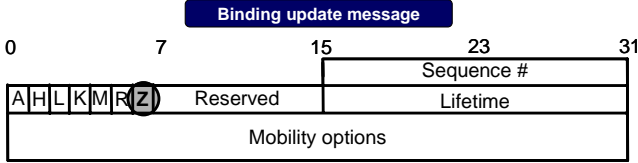
ZigBee PAN Co-ordinator Option 은 ZigBee 네트워크를 위한 PAN Co-ordinator 정보를 Home Agent 또는 Correspondent Node(CN)에게 알리기 위하여 Binding Update(BU) 메시지에 포함된다. 포맷은 [그림 3]과 같다.



(그림 3) Mobile ZigBee Co-ordinator Option 포맷

**Binding Update 메시지**

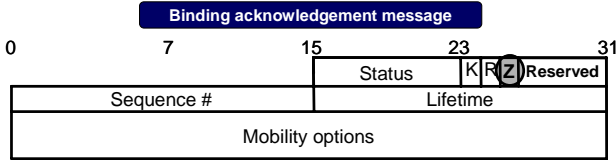
새로운 ZigBee Network Flag “Z”는 BU 메시지가 ZigBee 네트워크의 이동성을 지원하는 Mobile Router로부터 왔다는 것을 Home Agent 또는 CN에게 알릴 때 설정된다. 포맷은 [그림 4]와 같다.



(그림 4) Binding Update 메시지 포맷

**Binding Acknowledgement 메시지**

새로운 ZigBee Network Flag “Z”는 BU 메시지를 처리하는 Home Agent 또는 CN이 ZigBee 네트워크를 포함한 Mobile Router들을 지원한다는 것을 나타낸다는 의미로 설정된다. 이 Flag는 만약 대응되는 BU 메시지에서 ZigBee Network Flag (Z)가 설정되었다면 설정한다. 포맷은 [그림 5]와 같다.



(그림 5) Binding Acknowledgement 메시지 포맷

**3.3 Data Structure**

**Binding Update List**

NEMO 프로토콜의 Binding Update List는 보내진 BU 메시지들 안의 정보를 기록하는 개념적인 데이터 구조를 가지고 있다. Mobile Router는 현재 BU 메시지들을 보내는 각각의 destination 당 하나의 엔트리를 가진다. ZigBee 네트워크를 지원하는 Mobile Router의 Binding Update List 구조는 새로운 PAN Co-ordinator 정보를 추가하고 Binding Update 엔트리마다 항상 저장하고 있어야 한다.

**Binding Cache**

Home Agent 또는 CN은 현재 등록된 각 Mobile Router를 위한 Binding Cache 엔트리를 관리한다. Home Agent 또는 CN은 상응하는 Binding Cache 엔트리에 Mobile Router와 관계되는 ZigBee Network PAN Co-ordinator 정보들을 저장해야만 한다.

**PAN Co-ordinator Table**

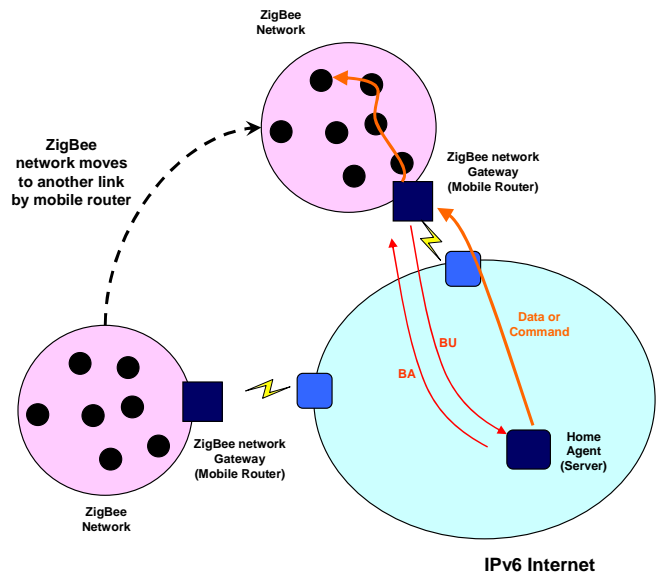
PAN Co-ordinator 테이블은 BU 메시지를 처리할 때 Home Agent 또는 CN에 의해 사용된다. PAN Co-ordinator 테이블 안에 각 엔트리는 다음 정보들을 저장하고 있어야 한다.

- Mobile Router의 Home Address: 이 정보는 PAN Co-ordinator 테이블을 탐색하기 위한 키로써 사용한다.
- Home Address와 연관된 Mobile Router의 PAN Co-

ordinator 정보

**3.4 IPv6 노드와 ZigBee Device 간의 통신**

Home Agent 또는 CN(server)이 IPv6 네트워크를 통해서 Mobile Router가 포함하고 있는 ZigBee 네트워크의 각 Device와의 통신을 지원하기 위해 [그림 6]과 같이 수행함으로써 IPv6 네트워크와 ZigBee 네트워크 간의 연동을 지원하게 된다.



(그림 6) IPv6 노드와 ZigBee Device 간의 통신 시나리오

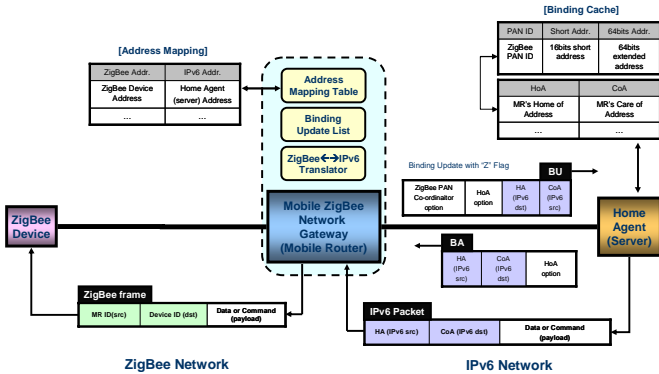
[그림 6]은 ZigBee 네트워크를 포함한 ZigBee Network Gateway(MR) 내의 ZigBee Device와 Server와의 통신 중에 다른 링크로 이동했을 경우의 시나리오를 나타낸다.

- ① MR은 다른 링크로 이동했음을 감지하고 CoA 주소를 생성한다.
- ② 자신의 Home Agent 또는 CN(server)에게 다른 링크로 이동했음을 알리기 위해 BU 메시지를 보낸다. 이 때 ZigBee 네트워크를 포함한 MR임을 알리기 위해 “Z” Flag를 1로 설정한다. 또한, ZigBee PAN Co-ordinator Option을 포함하여 PAN Co-ordinator 정보를 알려준다.
- ③ BU 메시지를 수신한 Home Agent 또는 CN(server)은 “Z”를 1로 설정하여 MR에게 Binding Acknowledgement(BA) 메시지를 보낸다. 그리고 Binding Cache에 MR의 HoA과 CoA를 저장하며, PAN Co-ordinator 테이블에 ZigBee 네트워크 정보를 기록한다.
- ④ BA 메시지를 성공적으로 수신한 MR은 Binding Update List에 Binding 엔트리 정보를 저장한다.
- ⑤ Home Agent 또는 CN(server)이 ZigBee Device를 제어하거나 데이터를 보낼 경우, IPv6 헤더, Data 또는 Command를 페이로드로 IPv6 패킷을 MR에게 보낸다. MR은 ZigBee와 IPv6 변환 모듈을 통

해서 IPv6 패킷을 소스주소를 MR 의 ID 로 하고 목적지 주소를 ZigBee Device ID 로 하는 ZigBee 프레임으로 변환하고, Address mapping table 을 업데이트 시킨 후 최종 ZigBee Device 로 전송한다.

만약에 일반적으로 이동성이 필요하지 않은 ZigBee 네트워크 내의 ZigBee Device 와 인터넷 상의 IPv6 노드 사이에 통신은 Address Mapping Table 과 ZigBee <-> IPv6 Translator 모듈을 통해서 지원된다.

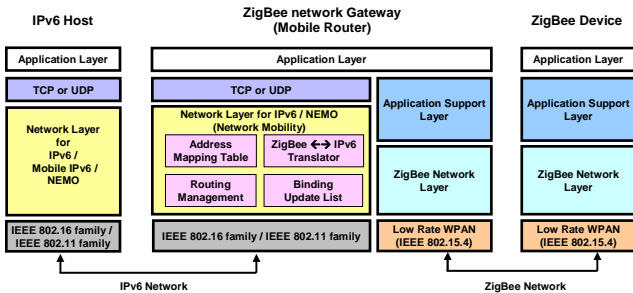
[그림 7]에서 위의 시나리오에 대한 IPv6 패킷, ZigBee 프레임 형식, Address Mapping table, Binding Cache 정보 등을 나타내었다.



(그림 7) IPv6 노드와 ZigBee Device 간에 통신을 위한 패킷형식 및 데이터구조

### 3.5 ZigBee Network Gateway (Mobile Router) 구조

ZigBee 네트워크와 IPv6 네트워크 간에 통신을 하기 위해서는 [그림 8]과 같은 구조를 지녀야 한다. ZigBee 는 모든 계층이 기존의 IP 와 다른 ZigBee 만의 프로토콜 구조를 가지고 있기 때문에 응용 계층 수준의 게이트웨이가 필요하다. [그림 8]은 ZigBee Network Gateway(Mobile Router) 구조를 나타낸다.



(그림 8) ZigBee Network Gateway (Mobile Router) 구조

기본적으로 ZigBee Network Gateway 는 인터넷 연결 과 이동성 보장을 위한 IEEE 802.16 family 또는 IEEE 802.11 family 외부 인터페이스와 ZigBee 네트워크를 위한 IEEE 802.15.4 내부 인터페이스로 구성되어있다.

IPv6 와 NEMO 프로토콜을 포함하고 있는 네트워크 레이어에서는 ZigBee 네트워크의 이동성을 지원하고 ZigBee 프레임을 전달하기 위해서 몇 가지 모듈이 필요하다.

- **Address Mapping Table** 은 IPv6 네트워크 내의 노드와 ZigBee Device 가 서로 통신을 할 때, 주소를 매핑 시켜주는 테이블이다.
- **ZigBee <-> IPv6 Translator** 모듈은 ZigBee 프레임과 IPv6 패킷을 변환해준다. 따라서 IPv6 노드와 ZigBee Device 간에 원활한 제어 또는 통신을 제공한다.
- **Binding Update List** 는 ZigBee Network Gateway 가 다른 링크로 이동한 경우 Home Agent 또는 CN 에게 BU 메시지를 보낸 엔트리 정보들을 저장한다.

### 4. Gateway 구조 비교

<표 1>은 본 논문에서 설계한 ZigBee Network Gateway(MR)과 일반적인 ZigBee Co-ordinator, NEMO Mobile Router 의 기능을 비교하여 나타내었다.

<표 1> Gateway 구조 비교

|                             | ZigBee Co-ordinator | General ZigBee Gateway | Mobile Router | ZigBee Network Gateway (Mobile Router) |
|-----------------------------|---------------------|------------------------|---------------|--|
| 이동성 지원                      | No                  | No                     | Yes           | Yes                                    |
| ZigBee Device 의 IPv6 인터넷연결성 | No                  | No                     | Yes           | Yes                                    |
| IPv6 노드의 ZigBee Device 제어   | No                  | Yes                    | No            | Yes                                    |
| ZigBee 네트워크 단위의 이동성 지원      | No                  | No                     | No            | Yes                                    |

### 5. 결론

본 논문에서는 ZigBee 네트워크 단위의 이동성을 제공하고, 각 ZigBee Device 들에게 IPv6 노드 간의 통신을 지원하기 위한 Mobile Router 의 구조를 제시하였다. ZigBee 네트워크는 Mobile Router 에 포함되어 각 ZigBee Device 가 이동성 기능의 없더라도, 수정된 NEMO 프로토콜을 가지고 있는 Mobile Router 를 통하여 네트워크 단위의 이동성이 지원된다. 이를 위해 NEMO 프로토콜 메시지를 수정하고, Address Mapping table, ZigBee 프레임과 IPv6 패킷 변환 모듈 메커니즘과 ZigBee Network Gateway(Mobile Router) 구조를 설계하였다. 향후 과제로 본 논문에서 제시한 메커니즘을 시뮬레이션과 구현을 통하여 검증할 계획이다.

### 참고문헌

- [1] "ZigBee v1.1 Specification", ZigBee Alliance.
- [2] IEEE computer Society, "IEEE Std. 802.15.4-2003", 2003. 10.
- [3] ZigBee Alliance, "http://www.zigbee.org/en".
- [4] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", IETF RFC 3775, June 2004.
- [5] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol", IETF RFC 3963, January 2005.