

# 6LoWPAN의 이동성 지원을 위한 MIPv6와 NEMO Protocol의 최적 헤더 압축

(Optimal Header Compression of MIPv6 and NEMO Protocol for Mobility Support in 6LoWPAN)

하민근<sup>\*</sup>                      홍성민<sup>\*</sup>  
(Minkeun Ha)                (Sungmin Hong)

김영주<sup>\*\*</sup>                     김대영<sup>\*\*</sup>  
(Young-Joo Kim)         (Daeyoung Kim)

**요약** 현재 Ubiquitous Sensor Network(USN) 연구에 있어서 이동성 지원은 중요한 기술로써 인식되고 있다. 이러한 이동성 기술 중에서 Mobile IPv6(MIPv6)와 Network Mobility(NEMO) Basic Support Protocol은 IETF의 표준화된 프로토콜로써, 인터넷상에서 이동성을 지원하기 위한 핵심 기술이다. 그러나 USN에 MIPv6와 NEMO Protocol을 수정 없이 적용할 경우에는 바인딩 메시지의 크기로 인해 Handoff 성능이 저하되게 된다. 이를 해결하기 위한 NEMO Protocol의 경량화에 대한 기존 연구는 Sequence Num.의 호환성 문제가 발생하며, 바인딩 메시지의 압축을 6LoWPAN 네트워크 구성과 주소 할당 방식에 최적화하지 못하였다. 본 논문에서는 6LoWPAN의 노드 기반 이동성과 네트워크 기반 이동성을 고려한 최적의 압축

- 이 논문은 2009년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RQA-2007-000-10038-0)
- 이 논문은 2009 한국컴퓨터종합학술대회에서 '6LoWPAN의 이동성 지원을 위한 MIPv6와 NEMO Protocol의 최적화 압축 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>\*</sup> 학생회원 : KAIST 전산학과  
minkeun.ha@kaist.ac.kr  
ghitsh@kaist.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 정회원 : KAIST 전산학과 교수  
yjkim73@kaist.ac.kr  
kimd@kaist.ac.kr

논문접수 : 2009년 8월 14일  
심사완료 : 2009년 11월 3일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제1호(2010.1)

기법을 제안한다. 노드 기반 이동성은 32bytes Binding Update(BU)와 12bytes Binding ACK(BA) 메시지를 13bytes와 3bytes로 압축하였으며, 네트워크 기반 이동성은 40bytes BU와 12bytes BA를 13bytes와 3bytes로 압축하였다. 이는 기존 연구보다 각각 15bytes(NEMO-BU)와 1bytes(NEMO-BA)만큼 더 압축시킨 성능으로써, 센서 이동성의 Handoff 성능을 8.72% 향상시켰다.

키워드 : 6LoWPAN, 이동성 프로토콜, MIPv6, NEMO Protocol, 노드기반 이동성, 네트워크 기반 이동성

**Abstract** Currently in a Ubiquitous Sensor Network (USN) research field, supporting mobility is recognized as an important technology. MIPv6 and Network Mobility(NEMO) Basic Support Protocol are standard protocols to support mobility in the Internet. However, if they are applied to USN with no modification, handoff performance decreases due to the size of their binding message. An existing lightweight protocol for NEMO protocol has a compatibility problem of Sequence Num. and does not optimally compress binding messages considering 6LoWPAN network structure and addressing. This paper proposes optimal header compression which supports node-based mobility and network-based mobility. Our optimal compression technique compresses a 32bytes binding update(BU) message and a 12bytes binding ACK(BA) message of MIPv6 into 13bytes and 3bytes, and a 40bytes BU message and a 12bytes BA message of NEMO Protocol into 13bytes and 3bytes. The result shows that our protocol compresses 15bytes (NEMO-BU) and 1byte (NEMO-BA) more than the existing protocol and achieves 8.72% handoff performance improvement.

**Key words** : 6LoWPAN, Mobility Protocol, MIPv6, NEMO Protocol, Node-based mobility, Network-based mobility

## 1. 서론

현재 Ubiquitous Sensor Network(USN)[1] 연구에 있어서 이동성 지원은 중요한 기술로써 연구가 진행되고 있다. 이러한 이동성 지원을 위해서는 호스트의 이동에도 끊김 없는 연결성을 지원하여야 한다. Mobile IPv6(MIPv6)[5]와 Network Mobility(NEMO) Basic Support Protocol[6]은 IETF의 표준 프로토콜로써, 호스트 및 네트워크 기반 이동성을 지원하기 위한 핵심 기술이다. USN은 제한된 시스템 자원과 배터리 수명 등의 제약사항을 가진 네트워크이므로, 이를 수정 없이 적용할 경우에 바인딩 메시지의 크기로 인해 Handoff 성능이 저하된다. 이를 해결하기 위한 기존의 경량화 연구[7]는 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째로 Sequence Num.의 압축으로 호환성에 문제가 생겼고, 둘째로 Mobile Network의 IPv6 주소 할당 방식이 고려되지

않았다. 이로 인해 NEMO Protocol이 효율적으로 경량화되지 않았다.

본 논문에서는 6LoWPAN의 노드 기반 이동성과 네트워크 기반 이동성을 고려한 최적의 압축 기법을 제안한다. 제안하는 압축 기법을 통한 이동성 프로토콜의 효율적인 경량화를 위하여 6LoWPAN 네트워크를 IPv6 서브 네트워크 구조로 구성하였다. 또한 바인딩 메시지는 이동성 패킷의 압축 정보를 담은 LOWPAN\_MH와 IPv6 서브 네트워크 주소 할당 방식을 이용하여 압축하였다. 그리고 압축된 바인딩 메시지는 LOWPAN\_MH 정보를 이용하여 다시 복원할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2절에서는 표준 이동성 프로토콜에 대한 주요 내용과 특징을 분석하며, 제 3절에서는 6LoWPAN에서 NEMO Protocol 지원을 위한 기존 연구를 소개한다. 제 4절에서는 6LoWPAN의 이동성 지원을 위한 새로운 프로토콜 압축 기법에 대해 설명한다. 제 5절에서는 제안된 압축 기법의 성능을 보이고, 마지막으로 제 6절에서는 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 이동성을 위한 표준화 프로토콜

본 절에서는 호스트 기반 이동성 프로토콜인 MIPv6와 네트워크 기반 이동성 프로토콜인 NEMO Protocol에 대해서 소개한다.

### 2.1 Mobile IPv6(MIPv6)

MIPv6는 호스트 기반 이동성 지원을 위한 대표적인 표준 프로토콜로써, 이동형 노드(MN)가 홈 네트워크에서 벗어나 새로운 네트워크로 움직일 때 상대 노드(CN)와의 논리적인 세션을 유지할 수 있도록 지원한다. MIPv6의 동작은 다음과 같다. MN이 이동하여 새로운 네트워크로 연결되면, MN은 CoA를 생성하고, Home Agent(HA)에 BU를 통해 CoA를 등록한다. 그리고 MN은 HA로부터 BA를 받는다. 이 과정이 성공하면 CN이 MN에게 보내는 패킷을 HA가 가로채서 MN의 CoA로 전달한다. 하지만 MN로 보내는 패킷이 항상 HA를 거쳐야 하는 문제점이 생긴다. 이를 해결하기 위하여 MN는 CN에 바인딩 갱신을 통하여 CN과 MN 간의 터널을 생성함으로써 루트 최적화 과정을 거친다.

### 2.2 Network Mobility(NEMO)

MIPv6의 확장 버전인 NEMO Protocol은 네트워크 기반의 이동성 지원을 위한 표준 프로토콜로써, 이동형 네트워크 내에 있는 모든 노드들(MNNs)이 이동하여 새로운 네트워크에 연결되더라도 이동한 모든 MNNs의 논리적 연결을 유지한다. 여러 MNNs로 이루어진 이동형 네트워크가 이동하여 새로운 네트워크에 연결되면 Mobile Router(MR)은 CoA를 생성하고, Mobile Network Prefix(MNP)와 자신의 CoA를 포함시킨 BU를

R 플래그를 설정하여 전송한다. HA는 MR의 CoA와 MNP에 대한 바인딩을 갱신하고 BA를 보냄으로써 바인딩 과정을 마치고 HA와 MR간의 터널을 만든다. MNN와 통신하는 CN이 MNN의 Home Address(HoA)로 패킷을 전송하면 HA는 이를 가로채서 MR에게 전달하며, MR은 이를 해당 MNN에게 전달한다.

## 3. 기존의 6LoWPAN 이동성 연구

NEMO Protocol을 6LoWPAN에 적용하기 위한 LW NEMO[7]는 6LoWPAN Dispatch 헤더에 이동성 지원을 위한 패턴을 추가하였으며, NEMO Protocol의 압축 정보를 담은 8bits의 LOWPAN\_MH를 정의하였다. 이 압축 정보를 통하여 LW NEMO는 40bytes의 BU 메시지와 12bytes의 BA 메시지를 각각 28bytes와 4bytes로 압축하였다. 하지만 이동성 프로토콜에서 Sequence Num.는 수신 측에서 BU와 BA를 매칭하기 위한 값으로 사용할 뿐 아니라 기존 바인딩 히스토리와 순서를 비교해 그 유효성을 검사한다. LW NEMO는 Sequence Num.를 압축하여 유효 범위가 달라졌기 때문에 호환성에 문제가 발생하였다. 또한, 6LoWPAN의 네트워크 기반 이동성 지원을 위한 Mobile Network의 IPv6 주소 할당 방식이 고려되지 않았으며, 이로 인해 NEMO Protocol이 효율적으로 경량화되지 않았다.

## 4. 최적의 이동성 프로토콜 압축 기법

본 절에서는 6LoWPAN 네트워크에서 노드 기반 / 네트워크 기반 이동성을 지원하기 위한 6LoWPAN 네트워크의 구성 및 주소할당 방법과 MIPv6와 NEMO Protocol의 새로운 헤더 압축 기법에 대해서 설명한다.

### 4.1 이동성 지원을 위한 6LoWPAN 네트워크 구성과 주소 할당 방식

6LoWPAN 노드들은 고정형 노드와 이동형 노드가 있으며, 이동형 노드는 개별적으로 이동성을 지니는 이동형 노드와 임의의 네트워크 그룹으로 이동하는 이동형 네트워크가 있다. 이 중에서 이동형 네트워크는 하나의 PAN으로 구성되며, NEMO Protocol의 MR을 6LoWPAN의 환경에 맞도록 Mobile PAN Coordinator(MPC)라 명명한다. 다음은 그림 1의 6LoWPAN 네트워크를 구성하는 각 장치에 대하여 알아본다.

- *6LoWPAN Gateway(GW)*: 게이트웨이는 이동형 노드들의 HA와 방문 노드들의 FA가 되며, 6LoWPAN 패킷의 압축과 해제를 하는 역할을 한다.
- *Mobile PAN Coordinator(MPC)*: MPC는 네트워크 기반 이동성을 지원하기 위한 PAN Coordinator이며, Mobile Network의 내부 및 외부 네트워크와의 연결을 위하여 두 개의 네트워크 인터페이스를 가진다. 이

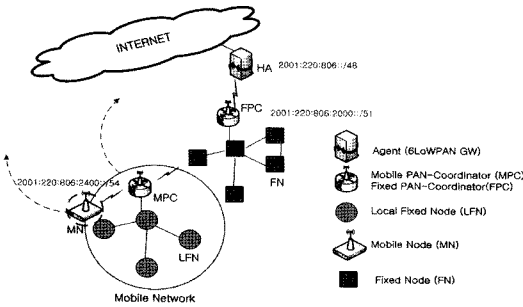


그림 1 6LoWPAN 네트워크 구성

를 통해 이동 중에 MPC가 외부 네트워크와 연결이 끊어져도 MNNs은 MPC와의 연결을 계속 유지하며, 새로운 네트워크에 연결된 후에 MPC만 Handoff 과정을 수행하면 되므로, 네트워크 트래픽과 바인딩 메시지 교환에 따른 오버헤드를 줄일 수 있다.

- **Fixed PAN Coordinator(FPC)**: 이동성을 지니지 않은 일반적인 센서 네트워크의 PAN Coordinator이다.
- **Local Fixed Node(LFN)**: LFN은 이동형 노드 중 하나로서 실제로는 이동하지만 Mobile Network에 속하여 그룹으로 이동하므로 Mobile Network 내에서는 상대적으로 이동성이 없는 노드이다.
- **Fixed Node(FN)**: 이동성이 없는 일반적인 노드이다.

본 논문은 이동성 프로토콜의 효율적인 압축을 위하여 6LoWPAN 네트워크를 IPv6 서브 네트워크 구조[4, 8]로 구성한다. 즉, IPv6 주소의 첫 48bits는 ISP와 그에 상응하는 TLA ID와 NLA ID로 고정되며, 각 서브 네트워크는 SLA ID로 구분된다. 그림 1은 서브 네트워크를 이용하여 할당된 주소체계를 보여준다. 이러한 서브 네트워크 주소체계를 이용할 경우에 바인딩 메시지 압축에 큰 이점이 있다. 서브 네트워크 구조를 이용한 바인딩 메시지의 압축 방법은 다음 섹션에서 설명한다.

**4.2 이동성 프로토콜의 압축 기법**

현재 6LoWPAN의 헤더 압축[12]은 이동성 지원 프로토콜의 압축에 대한 고려가 되어있지 않기 때문에 그림 2와 같이 dispatch 헤더에 Compressed IPv6 Mobility Header 패킷을 추가하였다. 또한, 8bits의 LOWPAN\_MH를 정의하여 바인딩 메시지의 압축에 대한 정보를 포함시켰으며 이 정보에 따라 압축 및 복원 된다. LOWPAN\_MH는 다음의 정보를 포함한다.

- **0 bit**: MIPv6 패킷이라면 0, NEMO Protocol이라면 1로 설정된다.
- **1 bit**: BU 패킷이라면 0, BA 패킷이라면 1로 설정된다.
- **Lifetime**: Lifetime이 압축되었다면 1로 설정된다. 압축 시, 해당 비트가 16bits에서 8bits로 압축되기 때문에 그 단위를 4초에서 8초로 늘린다.

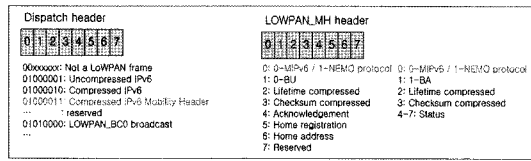


그림 2 이동성 프로토콜의 압축을 위한 dispatch header와 LOWPAN\_MH header

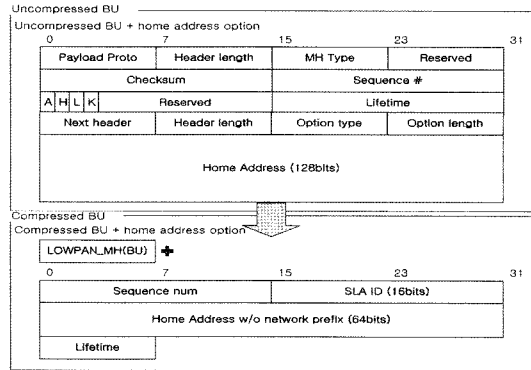


그림 3 MIPv6의 Binding Update 패킷 압축 기법

- **Checksum**: Checksum이 압축되었다면 1로 설정된다. BU와 BA 메시지는 IEEE 802.15.4 MAC에 의해 payload checksum이 이루어지며, 압축을 복원할 시에 이를 다시 계산하여 추가하여야 하므로, 압축된 BU와 BA 메시지에서의 checksum은 제거 가능하다.
- **Acknowledgement(A)**: BU 메시지에 대한 응답으로써 BA를 요구할 경우에 A bit를 1로 설정한다.
- **Home registration(H)**: 목적지 노드가 HA로써 동작하도록 요구할 경우에 H를 1로 설정한다.
- **Home address**: BU 메시지가 MN 또는 MPC의 HoA를 포함하고 있을 경우에 1로 설정한다.

**4.2.1 노드 기반 이동성 프로토콜(MIPv6)**

MIPv6에서 HoA는 MN가 홈 네트워크에서 생성한 주소로써 HA의 서브 네트워크 주소이다. 바인딩 메시지의 경량화를 위하여 압축된 BU에서는 MN의 HoA로 128bits의 IPv6 주소 전체를 담지 않는다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 압축된 BU에는 Network prefix를 제거한 64bits의 HoA와 SLA ID가 포함된다. 그 이유는 IPv6 주소 형식에서 볼 수 있다. IPv6 주소는 ISP에 의해 할당되어 고정되는 비트와 서브 네트워크 구성을 위한 SLA ID와 Interface ID로 이루어진다. 그러므로 BU 메시지를 송신시 목적지 주소로 설정된 HA 주소에서 HoA의 Network Prefix 상위 48bits를 얻을 수 있으며, BU 메시지에 포함된 SLA ID와 64bits의 HoA로부터 나머지 16+64bits의 주소를 얻을 수 있으며, 이 주소가

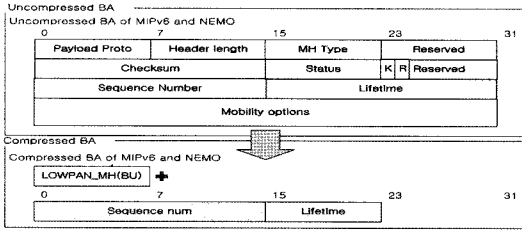


그림 4 MIPv6와 NEMO Basic Support Protocol의 Binding ACK 패킷 압축 기법

바로 MN의 HoA가 된다. 또한, 본 압축 기법에서 Sequence Num.는 압축하지 않는다. 이를 압축할 경우에는 가용 범위의 차이로 바인딩 갱신이 빈번히 실패하게 된다. BA 메시지는 그림 4에서 볼 수 있듯이, 바인딩 갱신의 승인 여부와 기타 에러정보를 담은 Status를 담고 있다. MIPv6는 14개의 Status를 정의하고 있으며 이를 표현하기 위하여 4bits만으로 충분하기 때문에 이를 LOWPAN\_MH에 status를 추가하고 BA 메시지에 서는 제거하였다.

본 논문에서 제안된 압축 기법을 통하여 32bytes와 12bytes의 압축되지 않은 표준 MIPv6의 BU와 BA 메시지를 13bytes와 3bytes로 압축하였다.

4.2.2 네트워크 기반 이동성 프로토콜

NEMO Protocol은 HA로 BU를 보낼 경우, 그림 5와 같이 HoA를 담은 destination option header와 BU 메시지가 포함된 mobility header가 IPv6의 확장 헤더로써 포함된다. 즉, 6LoWPAN의 네트워크 기반 이동성을 지원하기 위한 BU 메시지는 MPC의 HoA와 MNNs의 MNP를 포함하여야 한다. 압축된 BU 메시지는 MIPv6 압축과 같은 방법으로 MPC의 HoA를 포함한다. 하지만 NEMO Protocol에서는 MPC의 SLA ID는 포함하지 않으며, MNP의 SLA ID를 포함한다. 그 이유는 MPC의 정의를 통해 알 수 있다. MPC는 두 개의 네트워크 인터페이스를 가진 노드으로써, 그 중 한 개는 상위의 서브 네트워크의 노드와 같이 동작하며, 나머지 한 개는 Mobile Network에서 MNNs의 PAN Coordinator로써 동작한다. 즉, MPC는 MNNs의 상위 서브 네트워크의 주소를 가지므로 MNP를 알면 MPC의 Network Prefix를 알 수 있다. MNP를 계산하기 위해서는 MNNs의 SLA ID와 BU 패킷의 목적지 주소인 HA의 주소를 이용하여 계산할 수 있으며, MPC의 Network prefix는 MNNs의 상위 서브 네트워크이므로 MNNs의 SLA ID를 통해 MPC의 SLA ID를 계산하여 복원 가능하다. BA 메시지의 압축은 그림 4와 같이 MIPv6와 같은 방법으로 압축할 수 있다.

본 논문에서 제안된 압축 기법을 통하여 40bytes와

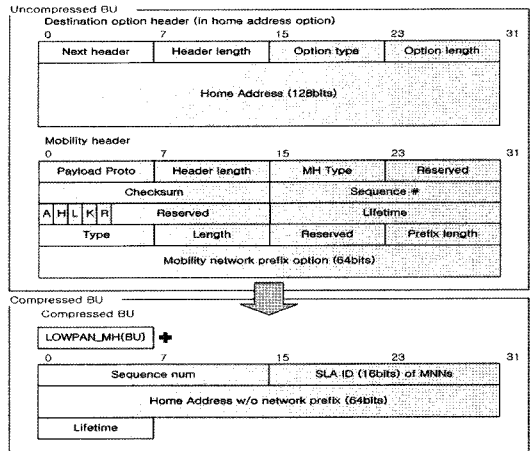


그림 5 NEMO Basic Support Protocol의 Binding Update 패킷 압축 기법

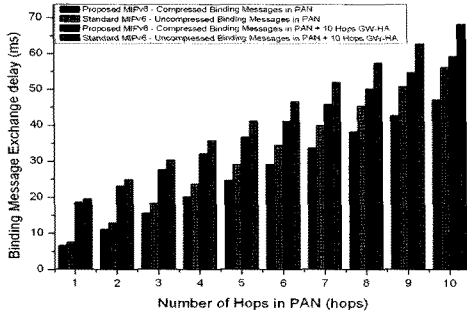
12bytes의 BU와 BA 메시지를 13bytes와 3bytes로 압축하였다. 이는 기존 연구[7]보다 각각 15bytes와 1byte 더 압축한 성능이다.

5. 성능평가

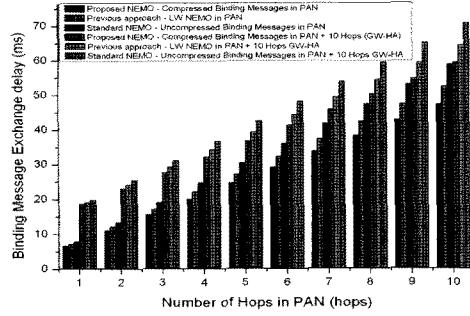
Handoff delay는 Movement Detection delay( $T_{md}$ ), Channel Scan delay( $T_{cs}$ ), CoA Generation delay( $T_{coa}$ ), DAD delay( $T_{dad}$ ), Binding Message Exchange delay( $T_{binding}$ )로 이루어진다. 본 논문에서는  $T_{binding}$ 을 줄임으로써 Handoff 성능을 높였다. 여기서  $T_{binding}$ 은 LoWPAN 안에서 압축된 바인딩 메시지의 교환과 LoWPAN 외부에서 복원된 바인딩 메시지의 교환 시간의 합으로 이루어진다.  $T_{binding}$ 의 성능 평가를 위하여 계산식 (1)[7]을 이용한다. 이 계산식은 Signaling Message의 설정과 처리에 걸리는 시간( $t_s$ , 1ms[9]), 중간 노드에서 패킷을 전송하는데 걸리는 시간( $P_x$ : Packet size of  $x$  / BW of Wired: 100 Mbps or Wireless: 250kbps)과 라우팅 테이블을 look-up하고 처리하는데 걸리는 시간( $t_r$ , 0.001ms[10]), 그리고 Propagation delay와 Link layer delay의 합( $L_{wireless}$ : 2ms와  $L_{wired}$ : 0.5ms)으로 구성되어 있다. 또한,  $H_{pan}$ 은 MN 또는 MPC로부터 GW까지의 거리를 의미하며,  $H_{GW,HA}$ 는 GW로부터 HA까지의 거리를 의미한다.

$$T_{binding} = \left[ 2t_s + \sum_{H_{pan}} \left( \frac{P_{compressed_{bu}} + P_{compressed_{ba}}}{BW_{wireless}} + 2t_r + 2L_{wireless} \right) \right] + \left[ 2t_s + \sum_{H_{GW,HA}} \left( \frac{P_{uncompressed_{bu}} + P_{uncompressed_{ba}}}{BW_{wired}} \right) + 2t_r + 2L_{wired} \right] \quad (1)$$

그림 6의 (a)는 본 논문에서 제안하는 MIPv6 압축 기법(Proposed MIPv6)과 표준 MIPv6(Standard MIPv6)을 비교하였으며, (b)는 본 논문에서 제안하는 NEMO



(a) 노드 기반 이동성 프로토콜의 비교



(b) 네트워크 기반 이동성 프로토콜의 비교

그림 6 Binding Message Exchange Delay의 성능 비교

Protocol(Proposed NEMO)과, 기존 연구(LW NEMO)와 표준 NEMO Protocol(Standard NEMO)를 비교하였다. 이 성능 평가는  $H_{pan}$ 의 변화에 따른 압축된 바인딩 메시지가 전달되는 MN와 GW 사이의  $T_{binding}$ (in PAN)과  $H_{GW\_HA}$ 가 10hops일 때 MN와 HA 사이의  $T_{binding}$ (in PAN + 10 Hops GW-HA)으로 나타났다.

그림 6의 (a)에서 볼 수 있듯이,  $H_{pan}$ 이 10hops일 경우에 MN-GW간의  $T_{binding}$ 은 Proposed MIPv6의 경우에는 47.14ms가 걸렸으며, Standard MIPv6의 경우에는 56.1ms가 걸렸다. 또한,  $H_{GW\_HA}$ 이 10hops일 경우에 MN-HA간의  $T_{binding}$ 은 Proposed MIPv6의 경우에는 59.19ms가 걸렸으며, Standard MIPv6의 경우에는 68.15ms가 걸렸다. 또한, (b)에서 볼 수 있듯이,  $H_{pan}$ 이 10hops일 경우 MN-GW간의  $T_{binding}$ 은 Proposed NEMO의 경우에는 47.14ms가 걸렸으며, LW NEMO의 경우에는 52.26ms가 걸렸고, Standard NEMO의 경우에는 58.66ms가 걸렸다. 또한,  $H_{GW\_HA}$ 이 10hops일 경우에 MN-HA간의  $T_{binding}$ 은 Proposed NEMO의 경우에는 59.2ms가 걸렸으며, LW NEMO의 경우에는 64.32ms가 걸렸고, Standard NEMO의 경우에는 70.72ms가 걸렸다. 이 결과는 본 논문에서 제안하는 압축 기법이 기존 연구보다 Handoff 성능을 8.72% 향상시킨다는 것을 보여준다.

## 6. 결론

본 논문에서 제안한 압축 기법을 통해 MIPv6의 BU는 32bytes에서 13bytes로 BA는 12bytes에서 3bytes로 압축하였으며, NEMO Protocol의 BU는 40bytes에서 13bytes로 BA는 12bytes에서 3bytes로 압축하였다. 이는 NEMO Protocol의 BU와 BA를 각각 28bytes와 4bytes로 압축한 기존 연구 보다 37.5%(NEMO-BU)와 0.83%(NEMO-BA) 향상된 압축률이다. 또한 제안된 압축 기술을 통해 기존 연구에 비하여 Handoff 성능을

8.72% 향상시켰다. 향후 연구는 Handoff delay에 영향을 주는 다른 요소들의 지연시간을 줄여 Handoff 성능을 더욱 향상시키는 것이다.

## 참고 문헌

- [1] D. Kim, T. Sanchez Lopez, S. Yoo, and J. Sung, "ANTS: An Evolvable Network of Tiny Sensors," *Proc. of Int'l Conf on Embedded and Ubiquitous Computing 2005*, pp.142-151, Springer, Dec. 2005.
- [2] IETF WG 6lowpan, IPv6 over low-power WPAN (6LoWPAN), available: <http://www.ietf.org/html.charters/6lowpan-charter.html>.
- [3] IEEE 802.15.4, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," *IEEE*, Oct. 2003.
- [4] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6(IPv6) Specification," *IETF RFC2460*, Dec. 1998.
- [5] D.B. Johnson, C. E. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," *IETF RFC3775*, Jun. 2004.
- [6] V. Devarapalli et al., "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," *IETF RFC3963*, Jan. 2005.
- [7] Jin Ho Kim et al., "A Lightweight NEMO Protocol to Support 6LoWPAN," *ETRI Journal*, vol.30, no.5, pp.685- 695, Oct. 2008.
- [8] D. Johnson and S. Deering, "Reserved IPv6 Subnet Anycast Addresses," *IETF RFC2526*, Mar. 1999.
- [9] T.T. Kwon et al., "Mobility Management for VoIP Service: Mobile IP vs. SIP," *IEEE Wireless Communications*, vol.9, no.2, pp.66-75, Oct. 2002.
- [10] S.C. Lo et al., "Architecture for Mobility and QoS Support in All-IP Wireless Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.22, no.4, pp.691-705, May 2004.
- [11] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, and D. Culler, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks," *IETF RFC4944*, Sep. 2007.