

네트워크 이동성과 분산 이동성 관리와 연동하는 HIP 기반의 이동성 지원 기법

강 경 란[°], 방 준 호^{*}

HIP-Based Mobility Support Scheme Interoperable with Network Mobility and Distributed Mobility Management Standards

Kyungran Kang[°], June-ho Bang^{*}

요 약

Host Identity Protocol은 2000년대 초에 Internet Engineering Task Force의 표준으로 등록된 프로토콜로서 단말의 이동에 무관하게 안전한 연결을 보장해 줄 수 있다는 장점을 갖고 있다. 스마트 카, 무인 운전 열차 등 단말 단위의 이동 외에 네트워크 단위의 이동이 활발해질 것으로 예상되고, 네트워크 단위의 이동을 지원하는 프로토콜, 기존 이동성 지원 프로토콜들의 중앙 집중적인 한계를 극복하기 위한 기법들의 표준화 논의가 활발하다. 본 논문에서는 이러한 네트워크 단위의 단말들의 이동성을 지원하면서 동시에 안전한 연결을 보장하기 위해 HIP Rendezvous 확장과 NEMO-BS, DMM 등 이동성 지원 관련 표준과의 연동 방안을 제안한다. 특히, 이동 네트워크가 중첩된 환경에서의 효율적인 경로 설정 및 안전한 데이터 전달을 보장하기 위한 방안을 제시한다. 제안하는 기법의 성능을 평가하기 위해, HIP의 네트워크 이동성 지원 기법의 확장판으로 제안된 NeMHIP, HIP과 DMM의 결합 기법, HIP과 NEMO-BS 결합 기법 등과 데이터 전달 경로의 효율성, 단말과 MR에서 발생하는 제어 메시지 수 등의 처리 부담 등을 비교한다. 성능 분석 결과, 이동 단말의 수가 늘어나고 이동 네트워크의 중첩성이 증가할 때, 본 논문에서 제시하는 기법이 타 기법에 비해 효율성 보장 및 안정적인 성능을 보인다는 것을 확인하였다.

Key Words : Host Identity Protocol, Network Mobility, Distributed Mobility Management

ABSTRACT

The Host Identity Protocol is an Internet Engineering Task Force standard and has the advantage of ensuring secure connection regardless of the movement of the hosts. As the smart cars and unmanned vehicles become more prevalent, it is expected that the movement of the network will be more active. There are network mobility support protocols such as NEMO-BS and it is very active to develop the techniques to overcome the limit of the existing centralized mobility support protocols. In this paper, we propose the interworking scheme between HIP Rendezvous extension and NEMO-BS, DMM and other mobility support related standards. Our goal is to develop a scheme to support the network mobility and secure interactions. Especially, we are focused on the

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.(UD160070BD)

° First and Corresponding author : Ajou University Department of Software and Computer Engineering korykang@ajou.ac.kr, 정희원

* Ajou University Department of Computer Engineering june3731@ajou.ac.kr

논문번호 : KICS2017-11-360, Received November 24, 2017; Revised January 29, 2018; Accepted January 29, 2018

efficient data delivery and efficient path setup for the nested mobile networks. In order to evaluate the performance of the proposed scheme, we compare the proposed scheme with three other schemes: NeMHIP, the combination of HIP and DMM, and the combination of HIP and NEMO-BS. The analysis shows that the proposed scheme is more efficient and stable compared with the other schemes when the number of mobile terminals increases and the nesting level of mobile networks increases.

I. 서 론

IP 주소가 식별자(identifier)와 위치자(locator)를 동시에 수행함으로 인해서 생기는 다양한 문제들의 해결 방안으로 2000년대 초에 Host Identity Protocol (HIP)이 제안되었다^[1]. HIP을 실제 네트워크에 적용하기 위한 노력도 다양하게 진행되어, Boeing사에서 개발한 OpenHIP^[2], Linux와 Linux를 사용하는 임베디드 시스템을 위해 개발된 HIPL^[3] 등의 구현이 현재 가용하다. 또한, 최근에는 기업을 중심으로 HIP의 보안성 및 식별자/위치자 분리 기능을 활용하는 상용 버전이 공급되고 있다^[4].

HIP이 갖는 중요한 장점은 위치자와 식별자의 분리 기능뿐만 아니라 종단 간에 안전한 연결을 설정한다는 점이며, 단말의 위치자 정보 없이도 연결을 설정할 수 있는 방안들을 제공한다는 점이다. HIP의 Rendezvous 확장^[5]에서는 위치자 정보를 알지 못하는 경우에 연결을 중개해주기 위한 Rendezvous Server(RVS)를 정의하고 있다. 단말이 자신의 위치자, 즉 IP 주소를 RVS에 등록하고 모든 연결 설정을 RVS에 중개함으로써 연결 대상의 식별자만 알면 이동에 무관하게 연결을 만들 수 있다. 또한, 이동성 지원 확장^[6]에서는 이동 단말(Mobile Node, 이하 MN)이 연결의 상대 종단에게 UPDATE 메시지로 Care-of-Address (CoA)를 공지함으로써 이동 후에도 종단 간에 최적화된 경로를 설정할 수 있도록 한다.

스마트 폰, 스마트 카 등 이동 단말의 종류와 사용 환경이 다양해지면서 네트워크 계층을 중심으로 이동성에 대한 연구와 표준화가 Internet Engineering Task Force (IETF)를 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 단말 단위의 이동성 지원을 위한 Mobile IPv6^[7]외에도 단말들이 그룹으로 이동하는 경우에 발생하는 Home Agent (HA)로의 Binding Update (BU) 폭풍을 방지하기 위한 방안으로 Network Mobility Basic Support (NEMO-BS)^[8]가 표준으로 등록되어 있다. 최근에는 분산형 이동성 지원 기법 (Distributed Mobility Management, 이하 DMM) 논의를 위한 워킹 그룹이 만들어져서 HA에 집중되는 데이터 전달 부담을 완화

하고 Corresponding Node (CN)과 MN 간의 경로의 비효율성을 개선하는 기법 개발을 위한 논의가 활발하다^[9,10].

본 논문에서는 HIP에 네트워크 이동성과 분산형 이동성 관리 기능을 동시에 지원하는 기법을 제안한다. 기존 HIP에서의 이동성 지원은 단말 단위의 관점에서 설계되었으며, 네트워크 단위의 이동에 대해서는 표준문서에서 고려하고 있지 않다. HIP 자체적으로 네트워크 이동성을 지원하기 위한 방안으로 HIP-NEMO^[11], NeMHIP^[12], HIP-MR^[13] 등이 제안되었으나 이동성 지원에 관한 전체적인 표준화 흐름에 부합하지 못하므로 실질적 수준의 연구에서 그쳤다.

본 논문에서 제안하는 기법과 기존의 HIP 기반 연구와의 차별점은, 인터넷 관련 표준 기구 IETF를 중심으로 개발되고 있는 이동성 지원 표준인 NEMO-BS와 DMM과의 연동을 기본 원칙으로 한다는 점이다. 즉, HIP의 안전한 연결 설정 및 Rendezvous 확장 기능의 효과를 극대화하면서 기존 표준과의 연동을 강화함으로써 실제 인터넷 환경에 HIP을 적용할 수 있는 방안을 제안한다. 특히, 중첩 네트워크에서 NEMO-BS의 양방향 터널 특성으로 인해 HIP의 RVS 확장 기능이 제대로 활용될 수 없는 한계를 극복하기 위한 방안을 제안하며, NEMO-BS가 갖고 있는 양방향 터널의 비효율성을 HIP의 RVS와 DMM 기능을 활용하여 개선한다. 중첩 네트워크 내의 다수 단말의 위치자 등록 부담을 완화하기 위해 HIP의 제어 메시지 추가를 제안하며, 중첩 네트워크 내 이동 라우터 (Mobile Router, 이하 MR)간의 효율적인 경로 설정을 위한 제어 메시지를 추가로 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구의 이해를 돕기 위해 HIP, NEMO-BS, DMM에 대한 간략한 소개와, HIP 차원의 네트워크 이동성 지원 기법을 소개한다. III장에서는 본 연구에서 제안하는 HIP 기반의 네트워크 이동성 및 분산 이동성을 지원하는 기법을 제안하며, IV장에서 제안하는 기법의 성능을 타 기법과의 비교를 통해 평가한다. V장에서는 본 연구의 성과를 정리하며 앞으로의 연구 방향을 제시한다.

II. 관련 연구

2.1 Host Identity Protocol

HIP은 2008년에 IETF에서 실험문서로 등록되었으나^[14] 버전 2.0이 2015년에 표준으로 등록되었다^[15]. 제안 초기에 국방 네트워크에 적용되기 위한 방안이 논의되었으며^[16], 미국 Boeing사에서 OpenHIP으로 구현하기도 하였다. 2017년에 HIP 솔루션을 판매하는 TemperedNetworks라는 회사가 만들어졌고^[4], Secure Cloud를 실현하기 위한 방안으로 고려되고 있으며^[17], 열차 내 안전한 상호작용을 보장하기 위한 방안으로 고려되고 있다^[18].

HIP의 핵심 아이디어는 기존의 IP 주소가 식별자와 위치자의 기능을 동시에 수행함으로써 생기는 이동성 및 멀티호밍 지원의 한계를 극복하면서 동시에 안전한 연결 설정을 보장하는 것이다. 그림 1에 제시된 바와 같이, HIP은 연결 설정에 있어 I1, R1, I2, R2 이렇게 네 개의 메시지를 교환하는 4-way handshaking을 진행한다. 보안 연결 설정을 위한 퍼즐과 이에 대응하는 값을 교환하면서 IP의 Encapsulating Security Payload(ESP)를 위한 정보를 교환한다.

연결을 설정하고자 하는 측(Initiator)에서는 상대 단말(Responder)의 현재 위치자를 알지 못하더라도 식별자만을 사용해서 RVS를 통해 상대 단말과 연결을 설정할 수 있다. 모든 HIP 단말이 RVS에게 자신의 최신 위치자를 등록하기 때문에, 연결 설정을 원하는 단말이 RVS에게 전송한 I1은 RVS가 상대 단말의 현재 위치로 전달할 수 있다.

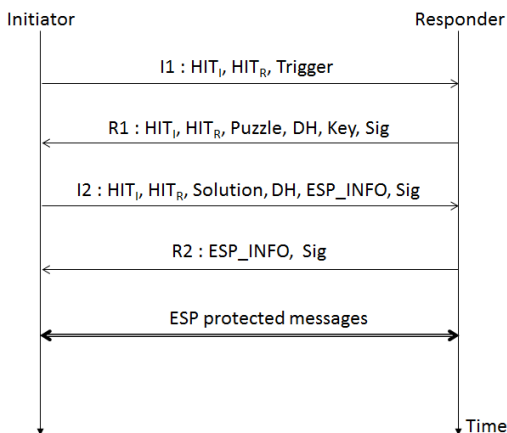


그림 1. HIP 4-way handshaking
Fig. 1. HIP 4-way handshaking

HIP은 단말 단위의 이동만을 고려하여 설계되었으나, 네트워크 단위의 이동성에 대한 관심이 높아지면서 HIP-NEMO와 NeMHIP, HIP-MR 등의 확장 방안이 제안되었다.

HIP-NEMO^[11]의 설계 시 고려사항은, 1) 이동 네트워크의 위치에 무관하게 네트워크 내의 단말들이 원하는 CN과의 데이터 교환이 가능해야 한다는 것이고, 2) HIP의 수정 없이 네트워크 이동성 지원의 가능해야 한다는 것이고, 3) 단말의 이동이 CN에게는 보이지 않아야 하고, CN과 이동 네트워크 내의 단말과의 데이터 전달 경로는 최적의 것이어야 한다는 것이다. HIP-NEMO의 가장 주된 개념은 mRVS이다. mRVS는 이동 네트워크 내의 단말들의 signalling overhead를 줄이기 위해 정의된 것이고 Rendezvous 서버 기능을 전달하기 위한 개체가 아니므로 각 MN들은 별도의 RVS를 가지고 있다. mRVS는 이동 네트워크 내 단말이 RVS 서비스에 접근하는 기본 접속점 역할을 담당하고, 이동 네트워크 내 단말에게 HIP signalling proxy의 역할을 담당한다. 중첩된 NEMO 등의 구조가 복잡한 NEMO 시나리오를 처리하기 위해 mRVS들 간에 협력 방안을 제안한다.

NeMHIP^[12]은 HIP-NEMO에서 MR과 CN 간에 안전한 연결이 설정되지 못한다는 문제점을 개선하기 위해 제안되었으며, 가장 중요한 특징은 종단 간 NeMHIP 연결 수립 시에 keying material 생성 과정에 있다. NeMHIP에서는 signalling과 데이터 교환을 위해 e2e keying material만 만들어지는 것이 아니라 MR과 CN 사이에도 만들어진다. 하나의 NeMHIP 메시지 교환을 통해 MR과 CN 사이에도 Security Association (이하 SA)가 만들어진다. MN이 MR에게 e2e key를 생성하기 위한 keying material index를 알려줌으로써, MR에 의해서 관리되는 e2e key 생성에서도 데이터 완전성과 기밀성을 보장할 수 있다. 보안성이라는 점에서 HIP-NEMO에 비해 크게 개선되었으나, 기존 이동성 지원 기법과는 호환되지 않으며, 모든 CN과의 SA를 유지하고 있어야 한다는 부담과 매 이동마다 HIP UPDATE를 처리해야 한다는 부담이 있다.

HIP-MR^[13]은 2009년에 IETF HIP 워킹 그룹에서 제안되었던 기법으로서, RFC로 최종 등록되지는 않았지만 자주 인용된다. HIP-MR에서 관심을 갖고 있는 환경은, 열차, 버스, 비행기 등 MN들의 네트워크가 이동하는 경우이다. HIP-MR에서는 HIP 기반 이동 네트워크가 HIP을 이해하는 MR을 이동성 관리에 활용하는 경우를 설명하고 있으며, HIP 호스트들이

이동성 관련해서 갱신해야 하는 기능을 모두 MR에게 이양한다. MN의 특성에 따라 반영구적으로 연결되는 노드와 이동 노드의 두 가지 상황으로 나눌 수 있고 각 과정에서 어떠한 처리가 이루어져야 하는지 정의하고 있다. HIP-MR은 본 논문에서 주목하는 네트워크 단위의 이동에 초점을 맞추고 있다는 점에서 유사하나, 이동성 지원 기능을 HIP-MR이 모두 담당하는 것으로서 기존 이동성 지원 기법과의 호환성은 고려하지 않고 있다.

2.2 Network Mobility Basic Support

NEMO-BS^[8]는 Mobile IPv6의 확장 개념으로 네트워크 내 여러 단말이 동시에 이동하는 경우에 발생하는 BU 처리 부담을 완화하기 위해 제안되었다. 네트워크의 MR을 이동 단말과 마찬가지로 취급하여 HA가 정의하고 MR과 HA 간에 양방향 터널을 구축하여 MR뿐만 아니라 이동 네트워크 내 단말과 CN 간에도 이 터널을 통해 패킷들이 송수신된다. 네트워크 접속점이 변경될 시에 MR만이 네트워크 접속점과 연결되는 주소를 새로 설정하고 이를 자신의 HA에게 등록한다. 이동 네트워크 내의 단말은 접속점의 변경을 인지하지 못하고, 기존에 사용하던 네트워크 주소가 변경되지 않는다. 이렇게 함으로써, 이동 네트워크 내 단말들은 자신의 HA에게 BU를 전송하지 않아도 새 위치로 패킷을 수신할 수 있다.

MR과 HA 간의 양방향 터널이 이동성 지원을 처리하는 부담을 감소시키는 효과가 있으나, 이동 네트워크 내에 다시 이동 네트워크가 중첩(nesting)되는 경우에는 매 MR마다 각 MR의 HA와 양방향 터널을 사용하므로 중첩되는 단계가 증가할수록 경로의 길이가 비례해서 증가하는 문제가 있다. 중첩 이동 네트워크에서의 경로 최적화를 위한 방안들이^[19,20] 다수 제안되었으나 연구실 수준의 연구에 그쳤다.

2.3 Distributed Mobility Management

기존의 Mobile IP에서는 이동 단말로 전송되는 패킷들은 우선 HA에게 전달되고 HA가 이동 단말 간에 구축된 터널을 사용해서 전달하는 방식을 취하고 있다. 이동 단말과 HA 간의 거리가 멀어지면 데이터 전달 경로의 효율성이 크게 떨어지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 제안된 것이 분산 이동성 관리 기법이다^[21].

호스트 기반 분산 이동성 관리 기법^[22] 등 여러 가지 방안들이 제안되었다. IETF의 DMM Working Group에서 논의되고 있는 부분적 분산 이동성 관리

기법은 PMIP^[23]을 기반으로 하고 있어 단말이 이동 후 새 위치를 등록하는 등의 처리가 AR에서 진행된다. 본 논문에서는 Mobile IPv6를 이해하는 단말로서 새 위치 정보 획득 시의 HA와의 상호작용은 Mobile IPv6와 동일하게 진행하는 것으로 간주한다. 다만, 분산 이동성 관리 기법의 원칙^[24]에 따라 단말이 이동해 가면서 HA를 새로 설정한다. 즉, 새로 연결되는 AR들이 새로운 HA로 설정된다. 새 위치에서 만들어지는 세션은 해당 AR로부터 획득한 CoA를 home address로 해서 연결을 설정하고, 해당 AR를 HA로 설정한다. 이동 후에도 세션이 지속된다면, 이 세션에 속한 패킷들은 이 AR과의 터널을 통해 수신하게 된다. 즉, 이동 단말이 이동해 가면서 새로운 세션을 만들게 되면 현재 위치에 최적화된 경로를 사용해서 데이터 전달이 가능해진다^[22].

III. 제안하는 기법

3.1 기술적 고려 사항

본 논문에서는 단말 단위의 이동보다는 단말이 그룹을 형성하여 이동하는 상황을 고려한다. 그룹을 이룬 단말 중의 하나가 MR의 역할을 수행하되 MR의 기능을 위해 설계된 단말이 담당한다고 가정한다. 그리고, 이동 네트워크가 여러 단계로 중첩된 환경을 고려한다.

그림 2가 본 논문에서 고려하는 네트워크 환경을 보여준다. HIP의 Rendezvous 서비스를 위한 장치가 네트워크 상에 설치되어 있고, HIP을 이해하는 단말들은 이 RVS의 주소를 알고 있다고 가정한다. Domain Name Service를 통해서도 알 수도 있고, HIP 시스템 환경 설정 정보에 의해 알 수 있다. MR이 여러 개의 단말들을 서비스하고 있으며 MR과 이동네트워크 내 단말들이 자유롭게 이동하고 인터넷 너머에 있는 CN₁ 등의 단말과 연결을 설정할 수 있다. 예를 들어, MR₀가 구성하고 있는 네트워크가 MR₁이 서비스하는 이동 네트워크 내로 이동이 가능하며, MR₀ 내 임의의 단말이 MR₁의 이동 네트워크로 이동할 수 있다.

단말이 이동했을 때 연결이 설정되어 있는 상대 단말에게 자신의 새로 설정된 주소를 알려주기 위한 이동성 지원을 위한 HIP 확장^[13]이 있으나, 본 논문에서는 기존 Mobile IPv6 기반의 이동성 지원 기법과 HIP의 공존을 고려하므로, 이 확장 기능은 고려하지 않는다. RVS를 활용한 등록 확장^[25]만 고려한다. 이러한 환경에서 기술적으로 중요하게 고려해야 할 것은 다

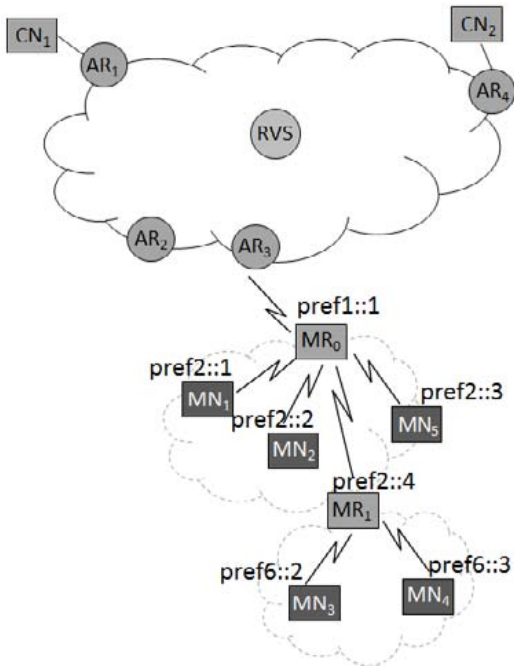


그림 2. 네트워크 환경
Fig. 2. Network Environment

음과 같다.

첫째, NEMO-BS에서는 MR이 이동 네트워크 내 단말들에 대해 네트워크 접속점이 변경된 사실을 숨겨 주므로 이동 네트워크 내 단말은 자신의 위치가 변경되었다는 사실을 인지할 수 없다. 즉, 이동한 단말의 현재 위치자를 RVS가 제공해 줄 수 있다고 하는 HIP의 기본 기능을 사용할 수 없는 상황이 된다. 단말이 아닌 주소 변경을 감지하는 장치에서 이에 대한 처리를 담당해야 한다.

둘째, NEMO-BS는 MR과 MR의 HA 간의 양방향 터널을 설정하고 이를 통해 패킷을 전달함으로써 중첩이 깊어지면 MN과 CN 사이 경로의 비효율성이 비례해서 증가한다. MR이 서비스하는 이동네트워크 내의 네트워크 주소는 네트워크의 이동에도 불구하고 변경되지 않는다. 그래서, 이동네트워크 내 단말의 주소를 그대로 사용하면 외부 네트워크에 있는 단말과의 패킷 교환 시 전달 경로가 최소 비용의 경로가 아닐 수 있다. 즉, 위치자가 변경된 것도 인지할 수 없고, RVS에게 위치에 부합하는 위치자 정보를 등록할 수 없다. 즉, RVS에게 경로를 최적화할 수 있는 정보를 제공할 수 있는 방법이 마련되어야 한다.

셋째, HIP에서 식별자인 Host Identity Tag (HIT)는 연결 설정 등의 제어를 위한 메시지에만 포함되고,

데이터 패킷 교환 과정에서는 연결 설정을 위한 handshaking을 마치고 나면 합의된 Security Parameter Index (SPI)를 사용해서 연결의 종단점을 식별한다. 데이터 패킷에는 HIT 정보가 포함되지 않는다. SPI는 IPv6 ESP 확장 헤더에 포함되는데 암호화되는 영역이므로, 수신자의 private key를 갖지 않은 MR에서는 SPI를 확인할 수 없다. 즉, HIP 세션을 구별할 수 있는 방법이 마련되어야 한다.

넷째, 이동성을 지원하는 기법 중에서 보안성에 대한 고려가 크다는 점이 HIP의 주요한 특징이고, HIP을 선택하게 되는 주요한 이유이다. 즉, 네트워크 이동성을 위한 HIP을 확장하면서, 새로운 공격자가 거짓된 위치자 정보를 삽입할 수 있는 여지를 제공해서는 안 된다. 각 HIP 메시지에 대해 생성자를 정확하게 인지할 수 있어야 하며 패킷 역시 안전하게 전달할 수 있어야 한다.

위에 기술한 네 가지 고려사항을 바탕으로 본 논문에서는 다음과 같은 기법을 제안한다.

첫째, MR은 자신이 새로운 네트워크 접속점에 연결되어 네트워크 주소가 변경된다는 사실을 인지할 수 있다. 따라서, 자신의 이동 네트워크 내에 있는 단말들이 어떤 것이 있는지 정보를 관리하고 있으면서, RVS로의 UPDATE 메시지 전송을 MR이 총괄적으로 수행한다. 이러한 정보를 관리하기 위해 HIP이 3.5 계층에 해당하지만 MR은 모두 HIP을 이해할 수 있어야 한다. 다만, RVS는 자신과 안전한 연결을 설정한 종단에서 전송되는 메시지만을 수용하므로, MR이 여러 단말들의 정보를 총괄적으로 갱신하기 위해서는 RVS와의 별도의 HIP 연결을 설정해야 하고 별도의 메시지를 정의해야 한다.

MR이 다른 MR의 이동 네트워크 내에 접속하면, 이동한 MR은 네트워크 주소 변경을 인지할 수 없으므로, 네트워크 주소 변경을 인지하는 MR이 자신의 CoA를 하위에 존재하는 이동 네트워크 내의 MR 및 모든 단말들에 대해 위치자로 등록한다. 즉, 중첩된 이동 네트워크의 가장 상위 MR의 현재 CoA를 위치자로 등록한다. NeMHIP^[12]에서도 이와 유사한 방안을 제시하고 있다.

중첩 네트워크의 경우, 상위 MR이 하위 MR에서 관리하는 모든 단말의 정보를 관리해야 한다면 부담이 클 수 있다. 자신의 바로 하위 MR의 주소와 해당 MR을 통해서 수신한 메시지에서 획득된 HIT들의 목록을 관리하는 방법을 적용한다. 그리고, 중첩 이동 네트워크의 경우, 각 MR은 자신의 이동 네트워크 내에 존재하는 단말들의 HIT 정보 외에 하위 이동 네트

워크 내에 존재하는 단말들의 HIT 정보를 관리함으로써 하위 이동 네트워크에 존재하지 않는 단말을 향하여 소모적인 패킷 전달이 일어나지 않도록 한다.

둘째, 단말 단위의 이동에 대해 제한되고 있는 DMM 기법을 NEMO-BS과 결합하여 네트워크 단위의 이동에서도 경로의 효율성을 향상시킨다. 즉, MR의 HA가 하나로 고정되어 있는 것이 아니라, 이동을 진행하면서 새롭게 접속하는 라우터를 자신의 새로운 HA로 설정한다^[22]. 새로운 라우터에 접속한 후에 만들어지는 연결은 모두 새 CoA를 사용하고, 이동 전에 만들어진 연결은 기존 주소를 사용해서 패킷 전달을 지속한다.

셋째, IPv6 헤더에 정의된 flow label를 MR에서의 세션 식별에 사용한다. IPv6 헤더는 라우터에서 읽고 처리하는 것이 가능하고, 20 비트가 할당되어 있어서 활성화된 세션들이 동시에 동일한 값을 확률이 크게 낮다. Flow label의 값은 CN 혹은 MN 등 종단에서 결정하는 것으로 한다. RVS에서 관장하면 전체 세션을 증개하므로 동일한 값을 발생시키지 않을 가능성이 가장 높으나, 세션의 종료를 인지할 수 없으므로 flow label 값의 재활용이 불가하다는 한계를 갖는다.

넷째, HIP은 연결의 종단점에서 상대를 식별하는 데에 HIT를 사용하고 종단점의 HIT에 기반한 HIP_SIGNATURE를 사용하므로^[26], 메시지 전달 과정에서 송신자 혹은 수신자의 주소가 변경되더라도 HIP 메시지를 해독하고 처리하는 것은 종단점에서 안전하게 진행할 수 있다. 특히, 데이터 패킷의 경우, 송신 단말이 ESP를 사용해서 전달하며 종단점을 HIT를 사용하여 식별하므로, 전달 과정에서 수신자 혹은 송신자의 IP 주소를 변경하는 것이 데이터의 무결성에 영향을 끼치지 않는다.

3.2 단말의 등록 과정

단말의 식별자 혹은 위치자 등록이 두 곳에서 일어난다. 식별자와 위치자 정보를 등록하는 것은 HIP RVS와 단말 간에 일어나며, 단말의 식별자 등록은 MR과 단말 간에 일어난다.

HIP 등록 확장^[25]에 정의된 바에 따라, 단말이 부팅 업되면 자신의 식별자와 현재 위치자, 즉 IP 주소를 RVS에게 등록하는 과정을 처리한다. 이 과정에서, 단말이 속한 이동 네트워크의 MR은 HIP 메시지를 엿들어서 자신의 이동 네트워크 내의 단말들의 식별자 정보를 획득한다. HIP 제어 메시지는 IPv6의 확장 헤더로 구현되기 때문에 중간 라우터에서 엿듣는 것이 가능하다.

HIP 메시지를 수신한 RVS는 송신자 HIT에 대응하는 위치자로 HIP 메시지의 송신자 주소를 기록하고, 추후에 해당 HIT로의 연결 설정을 요청하는 I1 메시지를 수신하면 해당 주소로 I1을 전달한다. 즉, 해당 HIT를 가진 단말이 속한 이동 네트워크의 최상의 MR에게 I1이 전달될 수 있게 된다.

그림 2의 환경을 예로 들어 설명하면, 다음과 같다. MN₄의 Home Network가 MR₁가 서비스하는 이동 네트워크이다. MN₄가 처음으로 RVS에 pref6::2의 주소를 등록하고자 I1 메시지를 전송하면, 전달과정에 있는 MR₁이 이 메시지를 수신하게 된다. MN₄의 HIT와 IP 주소 정보를 Serving Node Information (이하 SNI)라는 데이터베이스에 HIT와 IP 주소를 저장하고, I1 메시지의 송신자 주소를 자신의 CoA로 변경한다 (그림 3의 ①).

MR₁이 MR₀의 이동 네트워크에 속한 후 만들어지는 연결이므로, DMM에 따라, MR₀이 MR₁의 HA가 되어 MR₀로 바로 I1 메시지를 전달한다. MR₀에서도 마찬가지로 SNI에 MR₁의 HIT와 송신자 IP 주소를 저장하고, 송신자 주소를 MR₀의 CoA로 변경한다 (그림 3의 ②). 결과적으로 MR₁의 SNI에는 (MN₄의 HIT, MN₄의 IP 주소)가 저장되고, MR₀의 SNI에는 (MN₄의 HIT, MR₁의 IP 주소)가 저장된다.

I1을 수신한 RVS는 응답으로 R1 메시지를 송신할 것인데, 이 R1 메시지는 MR₀에게 전달될 것이고, MR₀는 R1 메시지에 기록된 HIT에 기반하여 SNI를 검색해서 MR₁에게 전달하게 되고, MR₁은 역시 R1 메시지 내의 HIT를 사용해서 자신의 SNI를 검색해서 R1 메시지의 수신자 주소를 MN₄의 주소로 변경한다. 결과적으로 MN₄에 CN₁이 전송한 R1이 전송된다. I2와 R2 메시지 전송 과정도 I1과 R1 메시지 전송 과정의 처리가 반복된다. R2 메시지까지 처리된 이후에

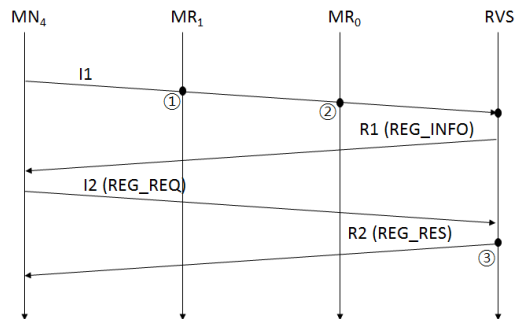


그림 3. HIP 단말의 RVS 서비스 등록 과정
Fig. 3. RVS service registration process of a HIP terminal

RVS에 저장되는 정보는 (MN₄의 HIT, MR₀의 IP 주소)이다 (그림 3의 ③). 즉, 이후에 MN₄로 향하는 I1 메시지는 MR₀으로 전송되고 MR₀에서의 추가적인 처리 후에 MN₄로 전달될 것이다.

3.3 네트워크 단위의 이동에 따른 위치자 정보 그룹 갱신

III.1에서 기술한 바와 같이, 여러 HIP 단말을 보유한 이동 네트워크가 이동해서 네트워크 접속점이 변경된 경우, MR만 해당 네트워크 주소에 맞추어 CoA를 재구성한다. 이동 네트워크 내 단말들은 주소 변경을 인지하지 못한다. 앞서 기술한 바와 같이, 이동 네트워크 내 단말의 위치자는 MR의 CoA로 등록하는 것으로 가정하므로, MR이 이동을 감지해서 자신의 CoA가 변경된 경우 이를 RVS에 등록해야 한다.

MR은 이미 자신의 이동 네트워크 내에 어떤 HIT를 가진 단말들이 위치하는지 인지하고 있으므로 이들을 대신해서 RVS의 정보를 갱신한다. HIP-NEMO, NeMHIP 등에서는 여러 단말들의 정보를 한 번의 메시지 전송으로 해결하기 위해 UPDATE 메시지의 확장판을 제안하고 있다. 본 논문에서도 유사한 방식의 메시지 확장을 제안한다. 본 논문에서는 이 메시지를 MUPDATE로 정의한다.

MUPDATE 메시지에는 전송 MR이 서비스하는 이동 네트워크 내 모든 단말의 HIT가 포함된다. 예를 들어, 그림 2의 MR₁에서 생성하는 MUPDATE는 MN₃와 MN₄의 HIT를 포함하게 되고, MR₀에서 생성하는 MUPDATE는 MN₁, MN₂, MN₃, MN₄, MN₅의 HIT를 모두 포함하게 된다. 이들 HIT에 대응하는 위치자로 MR의 IP 주소를 등록하는 것이므로 단말들의 위치자 정보가 필요하지 않다.

MR은 일반 단말들과 마찬가지로 RVS에 등록을 해서 HIP 세션을 만들고 이 세션을 사용하여 HIP MUPDATE 메시지를 전송해야 한다. 즉, MR이 부팅되면 HIP 등록 과정을 거쳐 HIP 세션을 만들고, 이후에 발생하는 변경 사항에 대해 이 세션을 활용해서 등록한다. 그런데, III.2에서 이동 단말의 HIP 메시지의 송신자 주소를 RVS로 가는 경로 상에 있는 MR에서 단계적으로 변경했던 것처럼, MR에서 발송하는 HIP MUPDATE 메시지에 대해서도 중첩 네트워크의 상위 MR에서 송신자 주소 변경 처리가 이루어지고, 각 상의 MR의 SNI에 신규 정보 등록 과정이 이루어진다.

3.4 연결 설정 과정

응용 계층에서의 연결 설정 요청은 식별자 즉 HIT

를 사용하여 이루어지고 HIP 계층에서 HIT와 IP 주소 간의 매핑 기능을 통해 해당 단말의 현재 위치로 제어 메시지들이 전달됨으로써 완결된다.

연결 설정을 원하는 노드에서 HIP RVS로 송신자와 수신자의 HIT를 포함한 I1 메시지를 전송하고 HIP RVS는 HIT를 추출하여 대응하는 IP 주소를 검색해 내서 해당 주소로 I1 메시지를 전달한다. 본 논문에서 고려하는 환경에서는, RVS에 등록되어 있는 IP 주소가 단말의 CoA일 수도 있고, 단말이 속해 있는 이동 네트워크의 MR의 CoA일 수도 있다.

수신 단말의 HIT에 대응하는 IP 주소가 MR의 CoA라면, I1 메시지가 우선 해당 MR에게 전달될 것이다. MR은 I1 메시지에 기록된 수신자 HIT를 사용하여 SNI에서 해당 단말에 도달하기 위한 다음 단계의 IP 주소를 검색하고 I1 메시지의 수신자 IP 주소로 설정한다. 이 과정은 해당 단말이 속한 이동네트워크의 MR에 도달할 때까지 반복된다.

그림 2의 환경을 예로 들어 설명하면, CN₁이 MN₄와의 연결을 설정하고자 할 때, MN₄의 HIT를 사용해서 RVS에게 I1 메시지를 전송할 것이다. RVS는 등록되어 있는 위치자로 I1 메시지를 전달할 것인데, 가정하는 시나리오 상에서는 MR₀의 IP 주소가 등록되어 있으므로, I1 메시지는 일단 MR₀에게 전달된다 (그림 4의 ①). MR₀는 I1 메시지 내의 HIT를 사용해서 SNI내의 대응하는 IP 주소를 검색하고 이를 I1의 수신자 주소로 변경해서 전달한다 (그림 4의 ②). MN₄의 HIT에 대응하는 IP 주소가 MR₁의 IP 주소이므로 I1 메시지가 MR₁은 MR₀와 마찬가지로 SNI를 검색하고 수신자 주소를 MN₄의 HIT에 대응하는 IP 주소로 변경해서 전송한다 (그림 4의 ③). 이때 IP 주소가 MN₄의 IP 주소이므로 최종적으로 I1 메시지가 MN₄에게 전달된다

R1 메시지는 단말 등록 과정에 기술된 바와 같이 MN₄, MR₁, MR₀을 거쳐 가면서 송신자의 주소가 MN₄, MR₁, MR₀의 IP 주소로 변경되어 가면 최종적으로 CN₁에게 전달된다 (그림 4의 ④,⑤). I2와 R2는 각각 I1과 R1이 전달되는 것과 마찬가지로 방법으로 전달된다.

CN₁에서 I2 메시지를 전송할 때, 해당 세션을 식별하기 위한 식별자로 flow label을 결정한다 (그림 4의 ⑥). Flow label은 III.1에서 기술한 바와 같이, MR₀, MR₁ 등 MR에서 이동 네트워크 내 단말로의 패킷 전달을 위해 수신자 주소 변경을 위해 참고할 정보이다. 세션 간에 유일성을 보장할 수 있도록 랜덤하게 설정해야 하므로, I2에서 flow label 값을 제안하고 이를

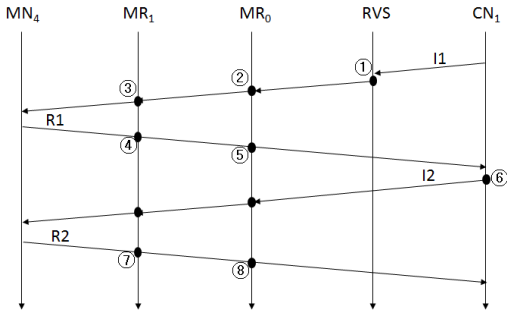


그림 4. 연결 설정 과정
Fig. 4. Session setup procedure

R2에서 응답하는 형식으로 진행된다. 각 MR들은 R2에 포함된 flow label 값을 SNI에 기록해서 (그림 4의 ⑦, ⑧) 해당 HIT를 가진 단말로의 데이터 패킷 전달 시에 활용한다.

3.5 연결 설정 후 데이터 전달

연결이 설정된 후에는 HIT가 포함되지 않은 상태에서 패킷들이 전달되므로, 이동 네트워크 내 단말로의 경로 상에 있는 MR에서 SNI 내의 정보를 참고해서 데이터 패킷의 송신자 주소 혹은 수신자 주소를 변경하며 데이터 전달을 지원한다. 연결 설정 과정에서 R2 메시지에 포함되었던 flow label이 데이터 패킷의 IPv6 헤더에 포함되므로 이를 사용하여 해당 패킷의 수신 단말을 식별한다.

연결이 설정된 후에 단말이 다른 네트워크로 이동하여 새로운 CoA를 확보하게 되면, RVS에게 UPDATE 메시지를 전송하여 자신의 새로운 위치자를 등록한다. UPDATE 메시지가 전달되는 과정에서, RVS로의 전달 경로에 존재하는 MR들에 의해 송신자 주소가 MR의 CoA로 변경된다. 초기에 RVS에게 등록하는 과정과 동일한 처리가 이루어진다.

RVS의 정보 갱신 외에도 DMM에 따른 처리가 병행되어야 한다. DMM에서는 이동 직전에 연결되어 있던 MR 혹은 AR이 이동 단말의 HA가 된다. 그러므로, 이동이 감지되면 이들 HA에게 BU를 전송하여 자신의 CoA를 등록한다. CN으로부터 MN으로 향하는 메시지는 MN의 이동 전 위치자를 향해서 전달되므로 HA에 해당하는 MR이나 AR에게 패킷이 전달될 것이고, 궁극적으로 단말의 CoA로 전달이 이루어질 것이다. 이 경로가 최적의 경로가 아닐 수 있으나, 기존의 NEMO-BS에 따라 만들어지는 경로에 비해서는 단순화된 경로이다.

중첩 네트워크의 경우, 데이터 패킷은 최상위 MR

에 우선 전달되고 단계적으로 하위 MR로 전달되어 최종적으로 단말에게 전달된다. 그러므로, 하위 MR에 있던 단말이 다른 곳으로 이동하게 되면, 단말이 존재하지 않는 MR까지의 불필요한 패킷 전달이 일어나게 된다. 이런 비용을 해소하기 위해 각 MR은 자신의 네트워크에 존재하던 단말이 타 네트워크로 이동했음을 BU 메시지 수신을 통해 감지하면 상위 MR에게 NEMOupdate 메시지를 전달하여 해당 단말의 IP 주소 변경을 통지한다. 이러한 정보 갱신은, 단말이나 MR의 이동에 모두 적용 가능하다. 다만, 자신의 이동 네트워크 내에 있던 MR의 이동을 감지했다면, MR의 이동 네트워크 내에 있던 단말들의 HIT 정보도 NEMOupdate 메시지에 포함해야 한다는 점이 다르다. NEMOupdate를 수신한 상위 MR은 자신의 SNI에서 해당하는 HIT들에 대해 IP 주소 정보를 갱신한다.

그림 2의 환경에서 MN4가 MR1의 이동 네트워크에서 AR2로 이동하는 상황을 가정하자. MN4는 AR2가 발송하는 RA 메시지 수신을 통해 새로운 네트워크에 연결되었음을 감지하고 자신의 CoA를 새롭게 설정한다. 그리고, MN4의 기존 HA인 MR1에게 BU를 전송하여 자신의 위치자가 변경되었음을 등록한다. 그림 5에서는 BU와 BACK의 전달경로가 간단하게 표현되어 있으나, NEMO-BS 및 호스트 기반 DMM을 기반 프로토콜로 고려하므로, MN4에서 MN4가 갖고 있는 네트워크 주소에 기반한 MR1의 주소로 발송한 BU는 MR1의 HA로 전달될 것이고, MR1의 현재 CoA에 반영된 MR1 네트워크 주소에 대응하는 MR0의 HA로 전달되어 궁극적으로 MR0를 거쳐 MR1에 전달될 것이다. 이 과정이 본 논문의 주요 관점이 아니므로 여기서는 간략하게 기술한다.

MR1은 MN4의 기존 세션의 데이터들이 MR1을 통해 전달되어 왔으므로 MR0로 하여금 MN4의 최신 위치로 데이터를 전달할 수 있도록 MN4의 위치자 정보를 갱신하는 메시지 NEMOupdate를 전송한다. (그림 5의 ①).

MN4는 자신의 위치자 정보가 변경되었으므로 RVS에 자신의 새 CoA를 등록하기 위한 처리가 이루어진다. MN4와 RVS와의 세션이 이미 설정되어 있다면 HIP UPDATE 메시지를 전송할 것이고, RVS와의 세션이 설정되어 있지 않다면 초기 단말 등록 과정에 해당하는 절차가 선행되어야 한다. 이 때, AR2는 MR이 아니므로 HIP을 이해하지 못한다. 즉, MN4가 전송하는 HIP 메시지들에 대해 변경이 발생하지 않고 원본 메시지들이 그대로 교환된다.

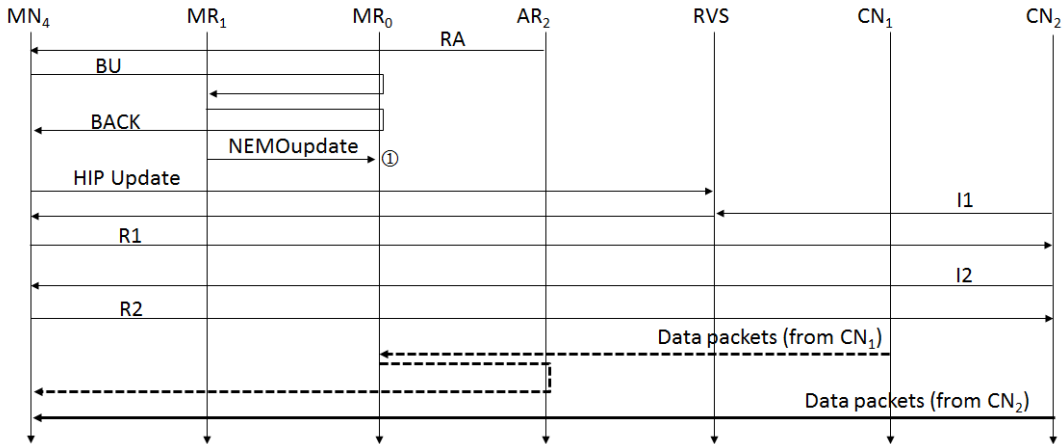


그림 5. 단말의 이동에 따른 위치자 갱신 및 데이터 전달, 세션 추가 설정 시나리오
 Fig. 5. Locator update, data delivery and an additional session setup procedure after movement of a terminal

AR₂로의 이동 전에 설정한 CN₁과의 연결에 대해서는, CN₁으로부터 MN₄로 향한 패킷은 기존대로 MR₀로 전달될 것이다. MR₀는 MR₁로부터 MN₄의 현재 IP 주소를 알려 주었으므로, AR₂쪽으로 패킷을 전달하여 궁극적으로 MN₄로 전송될 것이다 (그림 5의 점선). 그리고, AR₂로의 이동 후에 CN₂가 MN₄와의 연결을 만들기 위해 RVS에게 I1을 전달하면, RVS는 MN₄의 최신 CoA를 알고 있으므로 이를 MN₄에게 전달하여 HIP의 4-way handshaking 과정을 마치게 된다. 또한 데이터 패킷도 바로 AR₂를 거쳐 MN₄로 전달되게 된다 (그림 5의 실선). 즉, 동일한 MN₄와의 세션이지만 이동 전에 만들어진 세션과 이후에 만들어진 세션 사이의 경로에 차이가 발생한다.

3.6 Mobile Router (MR)의 기능 확장

앞서 제시한 절차들을 수행하기 위해 MR의 기능이 다음과 같이 개선되어야 한다. 첫째, MR이 HIP을 이해할 수 있어야 하며, RVS와의 연결을 갖고 있어야 한다. MR이 목적지가 아니지만 이동 네트워크의 내외부로 전송되기 위해 MR에 도달하는 패킷들 중에서 HIP 제어 메시지들을 엿볼 수 있고 해석해서 필요한 처리를 할 수 있어야 한다. 둘째, 이동 네트워크 내 단말들의 HIP UPDATE를 한꺼번에 수행하기 위한 MUPDATE라는 제어 메시지를 생성하여 RVS에게 전송할 수 있어야 한다. 셋째, NEMO-BS 외에 DMM을 이해하고 이에 맞춰 동작할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 현재까지 가장 많이 논의되고 있는 부분적 DMM을 가정하고 있으나 전 DMM (full DMM)을 적용하는 것도 가능하다.

넷째, 기존에 서비스하던 단말이 더 이상 자신의 서비스 영역 내에 존재하지 않게 되면, 최상위 MR의 SRI에서 해당 단말의 정보를 삭제하기 위한 NEMOupdate 메시지를 전송한다. 단말의 이동 여부는 해당 단말 혹은 해당 단말이 속한 이동 네트워크의 MR이 자신의 새 위치를 등록하기 위해 발송하는 Binding Update를 수신함으로써 파악할 수 있다. NEMOupdate 메시지의 사용에는 그림 5에 제시되어 있다.

HIP 메시지를 엿보기 하여 MR이 처리해야 하는 작업들은 다음과 같다. 첫째, 자신의 이동 네트워크 내에 어떤 단말들이 있는지 파악해서 HIT와 IP 주소 사이의 대응 정보를 관리하고 있어야 한다. 둘째, I1, R2 메시지에 포함된 flow label 필드를 분석하여 송신/수신자 HIT 값과 함께 정보를 관리해야 한다. 내외부로 전달되는 데이터 패킷들의 flow label 필드를 해석하여 자신의 이동 네트워크 내 단말의 주소로 수신자 혹은 송신자를 변경해야 하기 때문이다.

IV. 성능 분석

4.1 환경

본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 분석하기 위해 네트워크 이동성 지원을 위한 HIP의 확장판으로 제안된 NeMHIP, HIP+NEMO-BS, HIP+DMM 기법과의 성능을 비교한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 NDH라 칭한다.

NeMHIP은 II장에서 설명한 바와 같이, HIP의 이동성 확장 기능을 그대로 활용하며, 이에 네트워크 이

동 지원 기능을 추가한다. MR이 ‘이동 RVS’로서 이동 단말의 IP 주소 설정을 관장하고, CN과의 SA를 설정하고 관리한다. 그림 6에 제시된 바와 같이 이동에 따라 주소를 재설정하게 되면, 이동 단말의 주소 변경을 알리는 UPDATE 메시지를 이동 단말 대신에 이동 RVS가 CN에게 전달한다.

HIP+NEMO는 본 논문의 제안 기법과 비교하기 위해 설정한 개념으로, HIP과 NEMO-BS가 별다른 수정 없이 공존하는 상황을 가정한다. HIP의 이동성 확장 기능을 모두 사용하되, MR의 이동 네트워크에 포함된 단말은 주소 변경을 감지하지 못하므로, 자신의 현재 위치에 대응하는 IP 주소가 아닌 값을 위치자로 하여 연결을 설정하거나 데이터 패킷을 수신할 수 있다. 이 경우, MR과 MR의 HA 사이에 구축된 터널을 통해서 패킷을 교환해야 하며 중첩 네트워크의 경우 이러한 터널이 겹쳐져서 데이터 전달 경로의 길이가 크게 증가할 수 있다.

HIP+DMM도 본 논문의 제안 기법과 비교하기 위해 설정한 개념으로, HIP과 DMM이 별다른 수정 없이 공존하는 상황을 가정한다. 이동 전에 만들어진 연결에 대해서는 이동 전 네트워크의 HA를 거쳐서 패

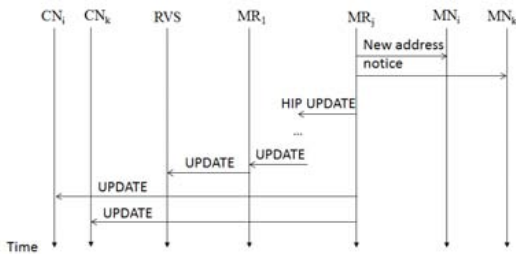


그림 6. 네트워크 단위의 이동 발생 시 NeMHIP의 제어 메시지 전달 과정
Fig. 6. The control message exchange sequence of NeMHIP in case of network level mobility

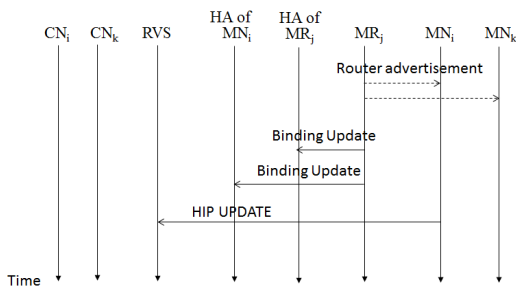


그림 7. 네트워크 단위의 이동 발생 시 HIP+NEMO 기법의 제어 메시지 전달 과정
Fig. 7. The control message exchange sequence of HIP+NEMO scheme in case of network level mobility

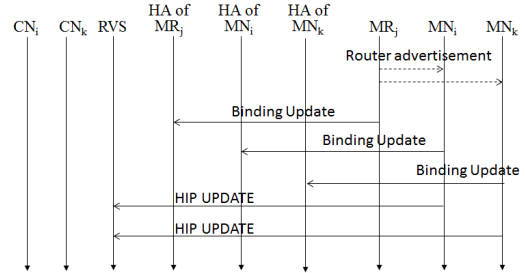


그림 8. 네트워크 단위의 이동 발생 시 HIP+DMM 기법의 제어 메시지 전달 과정
Fig. 8. The control message exchange sequence of HIP+DMM scheme in case of network level mobility

킷을 수신한다. NEMO-BS를 포함하지 않으므로 모든 MR은 자신의 네트워크 접속점이 바뀌면 이를 기반으로 해서 CoA를 새로 설정하고, 단말들에 대해서 이 네트워크 주소 변경을 공지하여 CoA를 새로 설정하도록 한다. 모든 단말들이 이 변화를 RVS에게 등록하고자 할 것이며, 이 HIP 메시지 전달을 위한 부담이 발생한다.

앞서 제시한 세 가지 기법과 본 논문에서 제안하는 기법에 대해 데이터 전달 경로의 홉 수, 각 단말이 발생하는 제어 메시지 수, MR이 발생하는 제어 메시지 수 등의 관점에서 비교한다. 기존의 기법들에 대비하여 본 논문에서 제안하는 기법을 통한 개선 효과를 명시적으로 확인하기 위해 이 세 가지 관점을 선정하였다.

각 기법들이 실제 구현해서 적용하거나 시뮬레이션을 하면 성능에 영향을 주는 요소들이 많아서 비교가 어려워지므로, 본 논문에서는 핵심 요소들을 추출하여 근사적으로 비교한다.

4.2 데이터 전달 경로의 길이

그림 9를 기본 시나리오로 하여 각 기법에 의해 설정되는 데이터 전달 경로의 효율성을 비교한다. MN₄가 속해 있는 MR₁의 이동 네트워크가 MR_A에서 MR₀로 이동했으며, 이동 전에 CN₁과 MN₄ 사이의 세션이 만들어 졌다고 할 때, 이동 후 CN₁과 MN₄ 사이의 데이터 전달 경로의 길이가 어떻게 변화하는지 살펴본다.

이동 후 CN₁과 MN₄ 사이의 데이터 전달 경로를 고려하면, 가장 최소 비용의 경로는, 다음과 같이 표현할 수 있다. $d()$ 은 최소 비용 경로를 의미한다.

$$d_{min}(CN_1, MN_4) = d(CN_1, AR_3) + d(AR_3, MR_0) + d(MR_0, MR_2) + d(MR_1, MN_4)$$

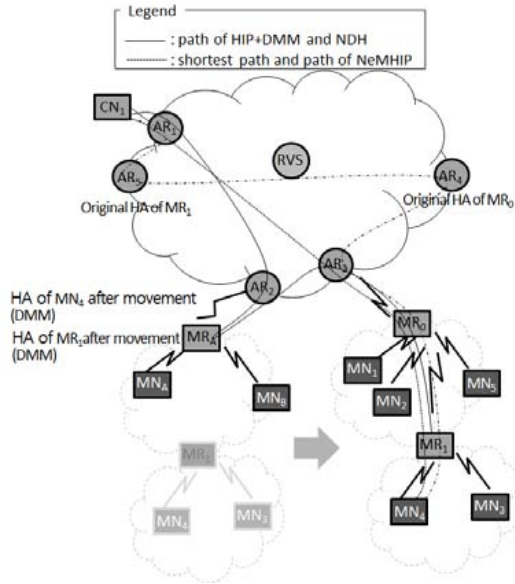


그림 9. 데이터 전달 경로 길이 모델링을 위한 네트워크 구성 및 이동 사례
 Fig. 9. A network configuration and movement example for data delivery path modeling

NeMHIP은 HIP의 mobility extension을 사용하여 CN에게 자신의 최신 위치자를 공지하므로 CN과 이동 단말 사이의 최소 비용의 경로 설정이 가능하여 $d_{NeMHIP}(CN_1, MN_4) = d_{min}(CN_1, MN_4)$ 이다.

HIP+DMM은 CN과 이동 단말 간의 데이터 전달이 이동 단말의 HA, 즉 MR_A 를 거쳐 MR_1 으로 전달되므로, 다음 수식과 같이 표현된다.

$$d_{HIP+DMM}(CN_1, MN_4) = d(CN_1, MR_A) + d(MR_A, AR_3) + d(AR_3, MR_0) + d(MR_0, MR_1) + d(MR_1, MN_4)$$

HIP+NEMO는 MR의 HA를 거쳐서 데이터 전달이 이루어지므로, 그림 9의 사례는 다음 식과 같이 표현된다.

$$d_{HIP+NEMO}(CN_1, MN_4) = d(CN_1, AR_5) + d(AR_5, AR_4) + d(AR_4, AR_3) + d(AR_3, MR_0) + d(MR_0, MR_1) + d(MR_1, MN_4)$$

본 논문에서 제시하는 NDH는, CN의 관점에서 세션 설정 시 최상위 MR, 즉 MR_A 의 주소를 목적지로 하여 세션이 만들어지므로, 이동 후의 데이터 전달 경로는 MR_A 를 거쳐 전달되므로 다음과 같다.

$$d_{NDH}(CN_1, MN_4) = d(CN_1, MR_A) + d(MR_A, AR_3) + d(AR_3, MR_0) + d(MR_0, MR_1) + d(MR_1, MN_4)$$

각 기법별로 임의의 CN과 MN 사이의 데이터 전달 경로의 길이를 보다 일반적인 수식으로 변형하여 표현하면, 다음의 수식들로 표현할 수 있다. CN과 MN의 세션은 이동 전에 만들어진 것으로, 세션이 만들어진 후 k 번 이동했다고 가정한다.

$$d_{NeMHIP} = d(CN, MR_0^0) + depth + 1 \quad (1)$$

여기서, depth는 이동 네트워크의 중첩정도를 가리키는 것으로 access router로부터 몇 개의 MR을 거쳐서 도달가능항가를 나타낸다. 그림 9에서 MR_1 이 관리하는 이동네트워크의 depth는 2이다. MR_i 는 중첩된 이동 네트워크에서 depth가 i 인 MR을 가리키고, MR_0 은 중첩된 이동네트워크에서 가장 access router에 가까운 MR을 의미한다. MR_0^0 는 현재 최상의 MR을 의미한다.

$$d_{HIP+DMM} = d(CN, HA_{MN}^k) + d(HA_{MN}^k, MR_0^0) + depth + 1 \quad (2)$$

여기서 HA_{MN}^k 는 세션이 만들어질 시기에 설정된 MN의 HA이다. 대부분의 경우, MN이 속한 이동네트워크의 MR이다.

$$d_{HIP+NEMO} = d(CN, HA_{MR_0}) + \sum_{i=1}^{depth} d(HA_{MR_{i-1}}, HA_{MR_i}) + d(HA_{depth}, MR_0^0) + depth + 1 \quad (3)$$

$$d_{NDH} = d(CN, MR_0^k) + d(MR_0^k, MR_0^0) + depth + 1 \quad (4)$$

여기서 MR_0^k 는 세션이 만들어질 당시의 이동네트워크의 최상위 MR을 의미한다.

그림 10은 이동 전에 만들어진 세션의 데이터 전달 경로가 이동이 반복됨에 따라 변화하는 정도를 CN과 MN사이의 최소비용 경로 대비 비율로 표시하고 있다. 데이터 전달 경로의 길이는 식 (1)~(4)에 근거하여 계산하였다. Depth가 3인 이동네트워크가 동일한 방향으로 이동하는 경우를 가정하고 있다. MR의 HA들 간의 평균 거리를 4로 가정하고, CN과 MN의 최소비용경로의 길이를 7로 가정한다. 이 값은 인터넷 상의 AS path의 평균 길이가 3.73라는 연구 결과^[27]를 참고

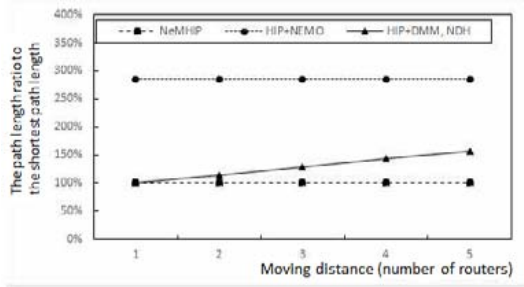


그림 10. 이동 거리에 따른 데이터 전달경로 길이 변화 비교
Fig. 10. A comparison of data delivery path as the mobile network keeps moving on

하여 설정한 값이다.

NeMHIP은 CN과의 최소비용 경로를 설정하므로 100%를 일정하게 유지한다. HIP+NEMO의 경우, 이동 네트워크의 중첩도를 3으로 가정하므로, 3개의 MR의 HA를 거치는 경로가 만들어지므로 비율이 타 기법에 비해 높다. 그러나, 이동이 진행되어도 MR과 MR의 HA간의 평균거리는 일정하게 유지되므로 비율은 일정한 값을 유지한다.

HIP+DMM과 NDH는 세션이 만들어지는 시점의 MR 혹은 AR이 HA가 되어 이동 후에도 데이터 전달 기능을 담당하므로, 이동이 지속되면 HA와 MN간의 거리가 순증가하게 되어 최소비용경로 대비 비율이 증가하게 된다. 하지만, HIP+NEMO의 절반에도 미치지 못하는 낮은 값을 유지한다.

4.3 단말이 발송하는 제어 메시지 수

이동 네트워크 내 단말들이 이동 후 발생하는 총량을 평가한다. 단말이 발생하는 제어 메시지는 Mobile IPv6, NEMO-BS, DMM, HIP에서 핸드오버 이후 위치자 변경 정보를 공지하는 과정에서 발생하는 메시지들을 가리킨다. 따라서, Mobile IPv6, NEMO-BS, DMM에 해당하는 BU 메시지의 수, N^{BU} 와 HIP UPDATE 메시지 수, N^U 로 구분하여 표현할 수 있다. 즉, 식 (5)와 같이 요약하여 표현할 수 있다.

$$N^{control} = N^{BU} + N^U \quad (5)$$

NeMHIP에서는 HIP의 이동성 확장만 사용하고 MR이 위치자 변경 정보 변경 공지를 모두 담당하므로 이동 단말에서 발생하는 제어 메시지는 하나도 없다. 즉, $N_{NeMHIP}^{control} = 0$ 이다.

HIP+NEMO에서는, MR들이 주소 변경을 감지할 수 있고, 이동 네트워크로 처음 이동해 들어온 이동

단말만이 주소 변경을 감지하여 BU 및 HIP UPDATE를 시도할 것이므로 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$N_{HIP+NEMO}^{control} = 2 \sum_{i=1}^{n_{MN}} I_{FM}(i) \quad (6)$$

여기서, n_{MN} 은 이동 네트워크 내 MN의 총 개수를 의미하고, $I_{FM}(i)$ 는 identity function으로서, 이동 네트워크에 처음 이동한 노드의 경우는 1이고 그렇지 않은 경우는 0이다. MR에서 발생하는 메시지는 4.4에서 고려한다.

HIP+DMM은 이동에 참여한 단말이나 MR이나 모두 주소 변경을 감지할 것이므로 BU와 HIP UPDATE 메시지를 발송할 것이다. 즉, 식 (7)과 같이 표시할 수 있다.

$$N_{HIP+DMM}^{control} = 2n_{MN} \quad (7)$$

NDH는, NEMO-BS를 기반으로 하여 이동을 감지한 일부 단말에 대해서만 BU와 UPDATE 메시지를 전송하므로, 단말에서 발생하는 제어 메시지의 수가 HIP+NEMO와 동일하므로 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$N_{NDH}^{control} = 2n_{MN} \quad (8)$$

그림 11은 수식 (6)~(8)에 근거하여 이동 네트워크 내 단말의 수 변화에 따라 이동네트워크 이동 시에 발생하는 단말들의 총 제어 메시지 수를 그래프로 나타낸 것이다. HIP+NEMO와 NDH의 경우에는, 이동 네

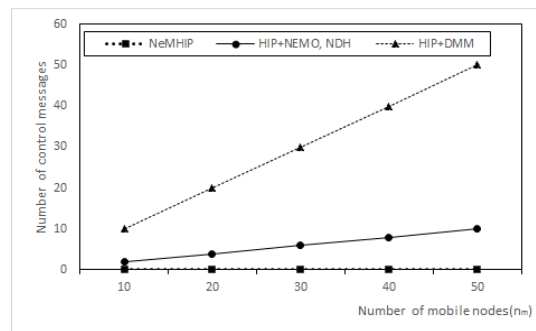


그림 11. 이동 네트워크 내 단말의 수에 따른 단말이 발생하는 제어메시지의 수 변화 비교
Fig. 11. A comparison of control message overhead incurred by the mobile nodes in the moving network

트위크 내 단말 중 10%만 신규로 진입하여 이동을 인 지할 수 있다고 가정한다. 단말이 생성하는 제어 메시 지의 부담만 고려하므로 이동 네트워크의 depth에 대 해서는 특별한 고려가 없다.

4.4 MR에서 발송하는 제어 메시지 수

MR이 발생하는 제어 메시지는 MR이 이동 단말로 서 Mobile IPv6, NEMO-BS, DMM, HIP에서 핸드오 버 이후 위치자 변경 정보를 공지하는 과정에서 발생 하는 메시지들과 NeMHIP과 NDH에서 HIP 확장으로 서 제안하는 위치자 정보 갱신 메시지를 가리킨다. MR이 이동 단말에게 변경된 위치자 정보를 공지하는 Announcement 메시지의 수, MR^{ann} , BU 메시지의 수, 그리고 MR^{BU} 와 HIP UPDATE 메시지 수, MR^U 로 구 분하여 표현할 수 있다. 즉, 식 (9)과 같이 표현할 수 있다.

$$MR^{control} = MR^{ann} + MR^{BU} + MR^U \quad (9)$$

NeMHIP은 각 단말에게 새 위치에 맞춰 설정된 주 소 정보를 일일이 공지해야 하고, 단말들의 UPDATE 메시지 대신에 MR이 통합한 UPDATE 메시지를 RVS에게 전송해야 한다. 그리고, 이동 네트워크 내에 있는 모든 이동 단말이 갖고 있는 세션에 대해 각 CN 에게 UPDATE 메시지를 전송해야 하고, 따라서, MR 에서 발생시키는 제어 메시지 수를 식 (10)과 같이 표 현할 수 있다.

$$MR_{NeMHIP}^{control} = n_m + n_{MR} + \sum_{i=1}^{n_m} s(i) \quad (10)$$

여기서, n_{MR} 은 이동에 관련한 MR의 개수이고, $s(i)$ 은 이동 단말 index가 i 인 단말이 갖고 있는 세션의 수이다.

HIP+NEMO는 MR이 네트워크 접속점 변경을 단 말들에게 공지하지 않으므로 $MR^{ann}=0$ 이고, 주소 변화 를 감지한 MR만 BU를 전송할 것이고, MR이 HIP 세 션에는 전혀 관여하지 않으므로, MR에서 발생시키는 제어 메시지의 수가 식 (11)과 같이 표현된다.

$$MR_{HIP+NEMO}^{control} = \sum_{j=1}^{n_{MR}} I_{FM}(j) \quad (11)$$

HIP+DMM은 이동 네트워크 내 모든 MR이 주소 변경을 감지하고 BU를 전송할 것이므로 식 (12)과 같 이 표현된다.

$$MR_{HIP+DMM}^{control} = n_{MR} \quad (12)$$

NDH는 단말에게 주소 변경을 공지하지 않으므로 MR^{ann} 이 0이다. NEMO-BS를 기반으로 하므로 주소 변경을 감지한 MR에서는 BU가 발생한다. 또한, MR 이 RVS와의 HIP 세션을 갖고 있으므로 RVS로 UPDATE 메시지를 전송한다. 그리고, 이동 네트워크 내 단말을 대신하여 RVS에게 UPDATE를 전송하므 로 식 (13)와 같이 표현된다.

$$MR_{NDH}^{control} = 2 \times \sum_{j=1}^{n_{MR}} I_{FM}(j) + n_{MR} \quad (13)$$

$\sum_{j=1}^{n_{MR}} I_{FM}(j)$ 이 n_{MR} 보다 작고, n_{MR} 이 n_m 보다 작으

므로, 네 가지 방법 중에서 NeMHIP의 $MR_{control}$ 이 가 장 크고, NDH의 경우가 그 다음으로 크다. HIP+NEMO의 경우가 MR들에서 발생하는 제어 메 시지의 수가 가장 작다.

그림 12는 수식 (11)~(13)에 기반하여 이동 네트워 크의 중첩도가 증가할 때 이동 네트워크가 이동함에 따라 해당 이동 네트워크의 MR이 발생하는 제어 메 시지의 양을 비교하고 있다. 이동 네트워크 내 10개의 이동 노드가 각각 3개의 세션을 유지하고 있는 상태 를 가정하고 있다.

각 세션의 CN에게 HIP UPDATE를 전송해야 하 는 NeMHIP이 가장 많은 MR 제어메시지를 발생하게 된다. HIP+NEMO는 이동 네트워크의 MR만 자신의 HA에게 Binding Update만을 전송하면 되므로 가장 적은 수의 제어 메시지를 발생하게 된다. NDH는 이

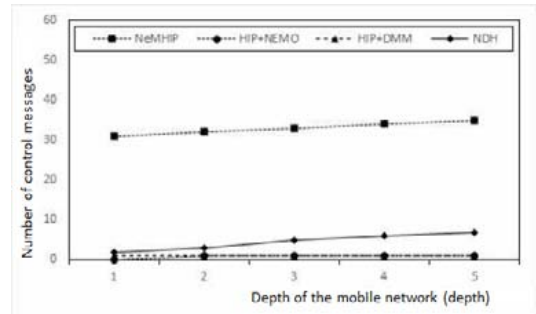


그림 12. 이동네트워크의 네트워크 중첩도 변화에 따른 MR 제어 메시지 변화 추이 비교
Fig. 12. A comparison of control message overhead incurred by the mobile routers as the nesting depth of the moving network increases

동 네트워크의 MR 외에도 AR에 접속하고 있는 최상위 MR에 이르기까지 HIP UPDATE 메시지를 전송해야 하므로 HIP+NEMO보다는 많은 양의 제어 메시지가 발생된다.

그럼 10, 11, 12에서 제시된 바를 종합하여 고려할 때, NDH가 가장 최저의 비용을 발생시키는 것은 아니지만, 가장 최저 비용의 기법보다 큰 차이를 보이지 않았으며, 가장 비용이 많은 기법에 대해서는 큰 차이를 보이고 있다. 즉, 종합적으로 볼 때, 네 가지 기법 중에 본 논문에서 제안하는 기법이 가장 비용이 낮은 기법이라고 할 수 있다.

V. 결론

HIP은 2000년대 초에 처음 표준화되었으나 최근 들어 HIPv2가 등록되며 HIP을 기반으로 한 상용성 서비스가 활성화되는 등 이동성을 지원하면서도 안전한 연결을 보장하는 장점이 다시 주목 받고 있다.

본 논문에서는 HIP이 위치자와 식별자 간의 구별 기능 외에 안전한 연결을 보장할 수 있다는 장점을 활용하고자 이동성 지원을 위한 표준들과의 연동 방안을 제시했다. 기존의 단말 단위의 이동만을 고려한 HIP은 네트워크 단위의 이동에서는 비효율적이며, 해당 표준과의 연동하는 경우 효율성이 크게 떨어진다. 그리고 중앙 집중적인 기존 이동성 지원 프로토콜의 한계를 극복하기 위한 기법과의 연동을 기반으로 하여 HIP의 장점을 극대화할 수 있는 방안을 제시했다. 기존 이동성 지원 표준들을 변형없이 사용하면서 이들과의 연동 효과를 높이기 위한 메시지를 정의하고 MR이 갖추어야 할 기능을 정의하였다.

제안하는 기법의 성능을 데이터 전달 경로의 효율성, 단말과 MR에서 발생하는 제어 메시지 수 등의 처리 부담 등의 세 가지 관점에서 분석하였는데, 성능 분석 결과, 이동 단말의 수가 늘어나고 이동 네트워크의 중첩성이 증가할 때, 본 논문에서 제시하는 기법이 타 기법에 비해 효율성 보장 및 안정적인 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있었다.

추후 본 논문에서 제안하는 기법을 HIP 구현 사례들에 실제 반영하여 구현함으로써, 실제적인 상황에서의 성능 개선 효과 및 안정성을 검증할 것이다.

References

- [1] A. Gurtov, M. Komu, and R. Moskowitz, "Host Identity Protocol," *The Internet Protocol J.*, vol. 12, no. 1, pp. 27-32, Mar. 2009.
- [2] *OpenHIP Project*, <http://openhip.sourceforge.net>.
- [3] *HIP for Linux*, <http://mkomu.kapsi.fi/hipl>.
- [4] *Tempered Networks*, <http://www.temperednetworks.com>
- [5] J. Laganier and L. Eggert, *Host Identity Protocol (HIP) Rendezvous Extension*, Internet Engineering Task Force, RFC5204, Apr. 2008.
- [6] T. Henderson, *Host Mobility with the Host Identity Protocol*, Internet Engineering Task Force RFC8046, Feb. 2015.
- [7] D. Johnson, et al., *Mobility Support in IPv6*, Internet Engineering Task Force, RFC 3775, Jun. 2004.
- [8] V. Devarapalli, et al., *Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol*, Internet Engineering Task Force RFC 3963, Jan. 2005.
- [9] D. Liu, "Distributed Mobility Management: Current Practices and Gap Analysis," Internet Engineering Task Force, RFC 7429, Jan. 2015.
- [10] Y. Kim, et al., "Standard Trends of Distributed Mobility Management," *Inf. and Commun.*, vol. 31, no. 9, pp. 3-8, Aug. 2014.
- [11] S. Novaczki, et al., "Design and evaluation of a novel HIP-based network mobility protocol," *J. Networks*, vol. 3, no. 1, pp. 10-24, Jan. 2008.
- [12] N. Toledo, et al., "Analytical efficiency evaluation of a network mobility management protocol for intelligent transportation systems," *EURASIP J. Wireless Commun. and Netw.*, 2012.
- [13] J. Melen, et al., *Host identity protocol-based mobile router*, Internet Engineering Task Force, draft-melen-hip-mr-02, May 2009.
- [14] R. Moskowitz, et al., *Host Identity Protocol*, Internet Engineering Task Force, RFC 5201, Apr. 2008.
- [15] R. Moskowitz, *Host Identity Protocol Version 2*

(HIPv2), Internet Engineering Task Force, RFC 7401, Apr. 2015.

[16] M. Sarela and P. Nikander, "Applying host identity protocol to tactical networks," in *Proc. IEEE MILCOM*, Monterey, US, Oct. 2004.

[17] L. Osmani, et al., "Secure cloud connectivity for scientific applications," *IEEE Trans. Service Computing*, vol. PP, no. 99, 2017.

[18] M. Liyanage, et al., "Performance and security evaluation of intra-vehicular communication architecture," in *Proc. IEEE ICC Workshop on Convergent Internet of Things*, pp. 302-308, Kuala Lumpur, Malaysia, May 2016.

[19] H. Cho, et al., "Route optimization using tree information option for nested mobile networks," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 24, no. 9, pp. 1717-1724, Sept. 2006.

[20] H. Lim, et al., "Hybrid centralized-distributed mobility management scheme in SDN-Based LTE/EPC networks," *J. KICS*, vol. 42, no. 4, pp. 768-779, Apr. 2017.

[21] C.-M. Huang, "A novel SIP-Based route optimization for network mobility," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 24, no. 9, pp. 1682-1691, Sept. 2006.

[22] F. Giust, et al., "Flat access and mobility architecture: an IPv6 distributed client mobility management solution," in *Proc. IEEE Conf. Comput. Commun. Wksp.*, pp. 361-366, Shanghai, China, Apr. 2011.

[23] S. Gundavelli, Ed., *Proxy Mobile IPv6*, Internet Engineering Task Force, RFC 5213, Aug. 2008.

[24] H. Chan, Ed., *Requirements for Distributed Mobility Management*, Internet Engineering Task Force, RFC 7333, Aug. 2014.

[25] J. Laganier, et al., *Host Identity Protocol (HIP) Registration Extension*, Internet Engineering Task Force, RFC 5203, Apr. 2008.

[26] P. Jokela, et al., *Using the Encapsulating Security Payload (ESP) Transport Format with the Host Identity Protocol (HIP)*, Internet Engineering Task Force, RFC 7402, Apr. 2015.

[27] C. Wang, et al., "Inferring the average as path

length of the Internet," in *Proc. IEEE Int. Conf. Network Infrastructure and Digital Content*, pp. 391-395, Beijing, China, Sept. 2016.

강 경 란 (Kyungran Kang)



1994년 2월 : KAIST 석사
 1999년 2월 : KAIST 박사
 2004년 3월~현재 : 아주대학교
 교수
 <관심분야> 멀티캐스트, 이동
 네트워크, 네트워크 코딩,
 전송네트워크

방 준 호 (June-ho Bang)



2010년 2월 : 아주대학교 학사
 2012년 8월 : 아주대학교 석사
 2012년 9월~현재 : 아주대학교
 박사과정
 <관심분야> 전송네트워크, 무
 선 네트워크, 철도제어망,
 QoS 최적화, 머신 러닝