

IPv4 망에서 Mobile Network 의 이동성 지원을 위한 Tunnel Agent CoA 등록

김진호*, 홍충선*, 정종렬**
*경희대학교 컴퓨터공학과
**한국전산원

e-mail : jhkim@networking.khu.ac.kr, cshong@khu.ac.kr, jjy@nca.or.kr

Tunnel Agent CoA Registration for Mobile Network Supporting in IPv4

Jin Ho Kim*, Choong Seon Hong*, Jong Lyul Jeong**
*Dept. of Computer Engineering, Kyung Hee University
**National Computerization Agency

요 약

현재 이동성을 지원하는 Mobile IPv4 와 Mobile IPv6 프로토콜은 서로 다른 버전의 네트워크에서는 호환이 불가능하게 설계되어있다. Mobile IPv6 프로토콜에서 확장되어 네트워크 이동성까지 지원되는 Network Mobility(NEMO) 프로토콜 역시 IPv6 네트워크 내에서만 이동성이 보장된다. 그러나 앞으로의 인터넷은 IPv4 와 IPv6 네트워크가 상당기간 공존할 것으로 예상되기 때문에 두 버전의 네트워크 사이에 이동성이 자연스럽게 지원되는 방안이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 다른 버전의 네트워크 사이에 NEMO 프로토콜에 대해 이동성을 지원하기 위한 방법을 제안한다. 우리는 Mobile Router(MR)가 IPv4 네트워크로 이동을 한 경우에도 Tunnel Agent(TA)를 통해 NEMO 터널을 유지함으로써 이동성을 관리할 수 있는 새로운 메커니즘을 제시한다.

1. 서론

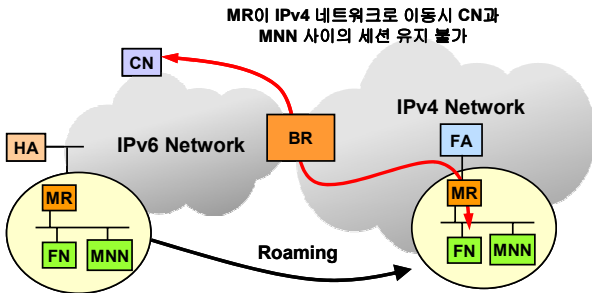
무선 통신 기술의 발달과 더불어 인터넷을 통해 모든 데이터를 주고 받으려는 경향은 사용자들에게 언제 어디서나 끊임 없이 인터넷에 접속하고자 하는 욕구를 증대시키고 있다. 이러한 요구사항에 대한 해결책으로서 단말의 IP 이동성 지원 방법에 대한 표준화 노력이 IETF WG(Internet Engineering Task Force Working Group)에서 이루어지고 있다. 특히 차세대 인터넷 프로토콜인 IPv6[1]망에 대한 이동성 지원인 Mobile IPv6[2]에 대한 표준안이 RFC3775 를 통해 제시되었다.

최근에는 단말 단위의 이동성에 더해 버스, 비행기, 자동차, 기차와 같이 한 개의 네트워크를 이룬 이동수단이 움직이는 경우에 대한 네트워크 이동성 지원 기술도 논의되고 있다. 네트워크 이동성 지원 방법에 대한 논의는 IETF 의 NEMO WG 에서 활발하게 논의 중이다. 먼저 기존의 단말 이동성 기술인 Mobile IPv6 를 확장하여 이동하는 네트워크 내부 단말들에 대해 끊임 없는 인터넷 접속을 제공할 수 있는 기본 프로토콜(NEMO Basic Protocol[3])을 RFC3963 에서 표준으로 제정하였다. 이후 경로 최적화 및 멀티호밍 등 기타 확장에 관련된 표준화를 실시하겠다는 계획을 가지고 있다. 네트워크 이동성의 가장 큰 특징은 이동성에 관련된 동작을 각각의 단말이 실행하는 것이 아닌 MR 이 전담한다는 점이다.

이를 통해 인터넷 접속 지점이 변경될 때마다 각각의 단말이 실행해야 할 시그널링들을 MR 의 단 한번의 시그널링으로 대체할 수 있어 망을 좀더 효율적으로 사용할 수 있다. 또한 IP 이동성을 지원하지 않는 보통의 IPv6 기기들에 대해서도 인터넷 접속 지점 변경에 구애 받지 않고 끊임 없는 인터넷 접속을 제공해 줄 수 있는 장점이 있다.

NEMO 프로토콜이 효과적으로 활용되기 위해서는 IPv6 의 도입이 반드시 필요하다. 그러나 기존의 IPv4 환경을 이용하지 못하는 IPv6 의 도입은 아무런 의미가 없다. 따라서 IPv4 와 IPv6 간의 전환기술들이 필수적이다. 이미 IETF NGTrans WG(Network Generation Transition Working Group)에서 고정된 호스트들에 대한 듀얼스택, 터널링, 변환기 등의 연동기술에 대한 몇 가지를 표준으로 제정하였다. 그러나 이 메커니즘들도 역시 이동성 지원에 대한 고려는 하지 않은 상태이다.

그림 1 에서 Mobile IPv6 와 NEMO 와 같이 이동성을 지원하는 프로토콜은 다른 버전의 네트워크와 서로 호환이 되지 않기 때문에 IPv4 네트워크로 이동 시 단말이나 Mobile Network Nodes(MNN)에 대한 세션 연결성이 보장 되지 않는다. 따라서 본 논문에서는 MR 을 포함한 Mobile Network 가 IPv4 네트워크로 이동하였을 경우에도 TA 를 통하여 NEMO 터널을 유지시킴으로써 세션연결을 보장시켜주는 방안을 제시한다.



(그림 1) MR 이 IPv4 네트워크로의 이동 시나리오

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 현재 이동성 프로토콜에 대한 전환 메커니즘을 소개하고, 3 장에서는 본 논문에서 제안한 TA 를 통해 2 장에서 소개한 메커니즘들 보다 좀 더 효율적으로 이동성을 지원하는 방법에 대해 자세히 살펴본다. 4 장에서는 성능을 측정하고, 마지막 5 장에서 결론과 향후 연구 계획을 기술한다.

2. 관련연구

2.1 듀얼스택 메커니즘

Mobile IPv4[4]와 Mobile IPv6 간의 연동을 위한 가장 간단한 메커니즘은 듀얼스택 구조[5]이다. 그러나 듀얼스택의 Mobile Node(MN)는 각 버전의 이동성 관리 프로토콜을 모두 구현해야 하고 운영을 하기 위한 부담이 필연적으로 증가한다. 또한, 다른 링크로 이동할 경우 단말은 IPv4 와 IPv6 네트워크의 연결성을 유지하기 위해서 두 배의 시그널링이 필요하다. 예를 들면, 단말의 이동 시 IPv4 네트워크에서 Registration Request[4], Registration Reply[4] 메시지와 IPv6 네트워크에서 Binding Update(BU)[2], Binding Acknowledgement(BA)[2] 메시지를 동시에 처리해야 하는 부담을 가지고 있다.

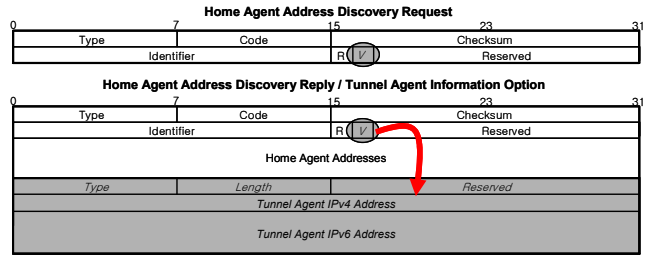
2.2 Doors 메커니즘

Doors 메커니즘[6]은 IPv4 와 IPv6 네트워크 사이에 Doors Router 라는 새로운 시스템을 추가시키고 UDP 헤더를 포함하여 Private IPv4 네트워크로 이동하는 경우도 가능할 수 있도록 설계되었다. 그러나 IPv4 네트워크로 이동 시 IPv4-IPv6-IPv6 의 터널 된 패킷 형태로 통신을 하게 되므로 터널 오버헤드가 추가적으로 발생하는 단점이 있다.

3. 제안사항

3.1 Tunnel Agent 의 Tunnel End Point 주소 획득

본 논문에서는 Home Agent(HA)가 이미 TA 의 IPv4/IPv6 주소를 알고 있다는 가정을 한다. 예를 들면, 자동으로 Tunnel End Point 주소를 얻어올 경우 DSTM[7]을 사용하여 현재 네트워크에서 TA 에 대한 IPv4/IPv6 주소를 얻어 온다. 만약에 DSTM 을 사용할 수 없으면 미리 설정된 주소를 사용할 수 있다. 그림 2 는 본 논문에서 Home Agent Address Discovery Request/Reply[3] 메시지에 "V" 플래그와 Tunnel Agent Information(TAI) 옵션을 새로 추가시킨 메시지 포맷이다. 만약 MR 이 IPv4 네트워크에 이동해서도 세션 유지를 TA 로부터 지원받고 싶다면, "V" 플래그를 설정하여 Anycast 주소[1]로 Home Agent Address Discovery Request Message 를 보낸다. 그러면, Tunnel End Point 주소를 알고 있는 HA 가 응답을 하게 되며, HA 는 "V" 플래그와 함께 TAI 옵션을 추가하여 Home Agent Address Discovery Reply Message 로 MR 에게 응답한다.



(그림 2) Home Agent Address Discovery Request/Reply +Tunnel Agent Information 옵션 메시지 포맷

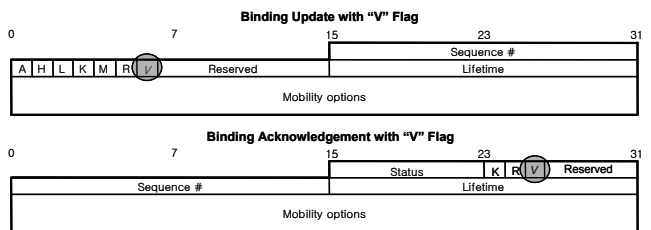
이때, TAI 옵션에는 TA 의 IPv4/IPv6 주소를 반드시 포함해야만 하며, MR 은 이 정보를 저장하고 있어야 한다.

3.2 IPv4 네트워크로의 이동 감지

MR 의 IPv6 네트워크 내에서 이동은 NEMO 표준에서 정의된 메커니즘을 사용하여 문제없이 MNN 에게 이동성을 지원한다. 만약에 MR 이 Home Agent Address Discovery Mechanism[3]을 통하여 TA 의 주소를 이미 알고 있다면, IPv4 네트워크로 이동을 지원 받을 수 있다. 본 논문에서 MR 은 듀얼스택으로 가정하였으며, Mobile IPv4 프로토콜 스택은 단지, IPv4 네트워크에서 이동 감지를 위해 IPv4 Care-of Address(CoA)를 구성할 수 있도록 가장 최소한의 기능만을 추가시켰다. 즉, Agent Advertisement[4] 메시지를 수신하고 IPv4 CoA 를 구성함으로써 IPv4 네트워크로의 이동을 감지할 수 있다.

3.3 Home Registration

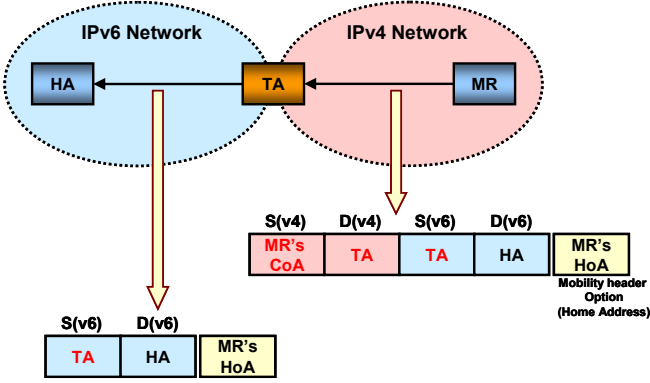
MR 을 포함한 Mobile Network 가 IPv4 네트워크로 이동을 감지하고 IPv4 CoA 를 구성하였다면, 다른 버전의 네트워크에 이동하였음을 알리기 위해 본 논문에서 새로 추가한 "V" 플래그가 설정 되어있는 BU 메시지를 자신의 HA 에게 보낸다. 그림 3 은 "V" 플래그가 추가된 BU 와 BA 메시지의 포맷을 나타낸다.



(그림 3) Binding Update/Acknowledgment 메시지 포맷

그림 4 는 Home Registration 에서 BU 메시지의 발신지/목적지 주소의 형태를 나타내고 있다. IPv4 로 이동한 MR 은 원래 BU 메시지의 소스 주소를 자신의 CoA 로 구성했지만, 본 논문에서는 이미 알고 있는 Tunnel End Point 의 IPv6 주소를 CoA 의 소스 주소로 정하고, HA 에게 송신하기 위해 IPv4 헤더를 인캡슐레이션 하여 보낸다. 이 때 BU 헤더의 IPv4 프로토콜 번호 필드는 IPv6 패킷임을 알리기 위해 41 번이어야 하며, 소스주소는 MR 의 IPv4 CoA 이고, 목적지 주소는 TA 의 IPv4 주소로 구성한다. TA 는 BU 메시지를 수신한 후 IPv4 헤더를 제거하고 HA 에게 전달한다. BU 를 수신한 HA 는 IPv4 로 이동한 MR 의 IPv6 CoA 주소를 BU 메시지의 소스주소인 TA 의 IPv6 주소로 설정하여 Binding Cache[3]를 업데이트 한다. Binding Cache 에서 MR 의 Home Address(HoA)에 대해 CoA 가 TA 의 IPv6 주소로 설정했기 때문에 MR 이 IPv4 네트워크에 있는 한 HA 는 MR 로 보내지는

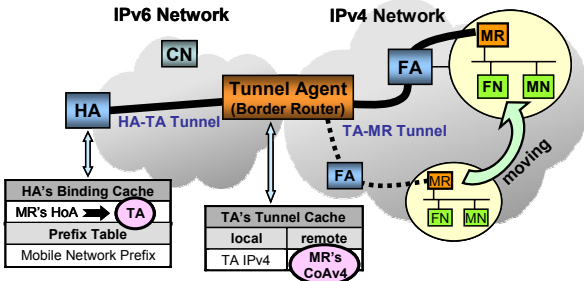
패킷에 대해서 항상 TA로 보낸다.



(그림 4) BU 메시지의 발신지/목적지 주소 형태

3.4 NEMO Tunnel Setup

BU와 BA 메시지를 성공적으로 송수신하였다면 NEMO 터널 설정을 한다. NEMO basic Protocol에서 Correspondent Node(CN)와의 통신을 할 때 항상 HA-MR 터널을 통해서만 패킷이 전송되게 된다. 따라서 NEMO 터널을 유지시켜주는 것이 가장 중요하다. IPv4 네트워크로 MR이 이동할 경우 HA-MR 터널은 계속 유지될 수 없기 때문에 TA가 중간에서 MR과의 터널이 유지될 수 있도록 터널 캐시를 관리하여야 한다. 듀얼스택 구조와 Doors 메커니즘에서는 MR이 IPv4 네트워크로 이동했을 경우 IPv4-IPv6-IPv6의 세 가지 IP 헤더를 포함한 터널이 생성되지만 본 논문에서는 IPv4 네트워크에서 MR의 또 다른 이동을 고려하여 좀 더 효율적인 TA-MR(IPv6 in IPv4) 터널을 설정한다. HA는 MR의 CoA가 TA의 주소로 설정되어있기 때문에 HA-TA 간의 IPv6-IPv6 터널을 설정하고 TA는 MR과의 IPv4-IPv6 터널을 설정함으로써 MR의 Home Registration 과정을 모두 마치게 된다.



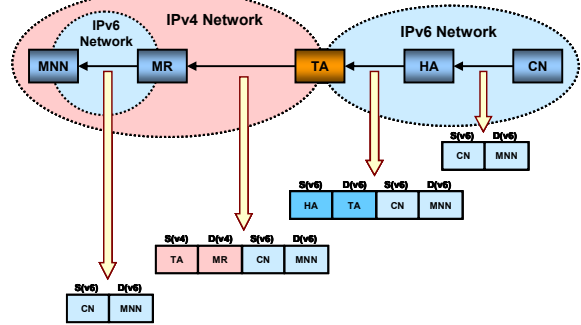
(그림 5) IPv4 네트워크 내에서 MR의 이동 시나리오

만약 그림 5 처럼 MR이 IPv4 네트워크 내에서 또 다른 링크로 이동을 할 경우에는 BU 메시지를 송신하고 TA는 이 메시지를 수신할 때, 단지 TA-MR(IPv4-IPv6)의 터널만을 다시 설정하면 된다. 따라서 HA-TA(IPv6-IPv6)의 터널은 변함이 없고, TA만이 Tunnel End Point를 변경함으로써 HA간의 추가적인 시그널링을 줄일 수 있다.

3.5 CN과의 통신

CN이 IPv4 네트워크로 이동한 MR의 MNN과 통신을 할 경우 그림 6과 같이 패킷이 전달되게 된다. 우선 CN이 MNN에게 패킷을 송신하면 HA는 그 패킷을 가로채어 자신의 Binding Cache를 보고 MR의 IPv6 CoA 즉, HA-TA간의 터널을 이용해 TA로 패킷을 전달한다. TA는 HA와의 터널을 통한 패킷을 수신하게 되면 TA-MR 터널의 Tunnel End Point인 MR의 IPv4 CoA에게로 패킷을 전달한다. 이 때, TA는 Mapping Table을 보고 IPv6와 IPv4 헤더를 변환하며, 이 과정은 NAT-PT[8]와 SIIT[9]의 헤더 변환 메커니즘과 같은

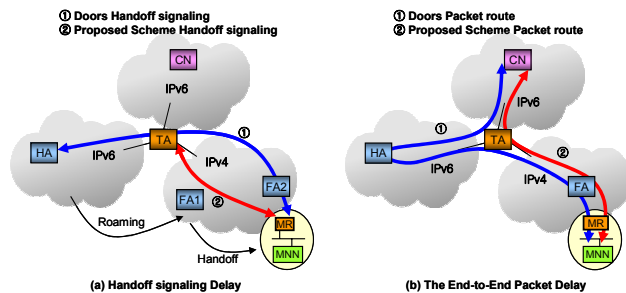
방법을 사용한다. MR은 TA-MR간의 터널을 통한 패킷을 수신하게 되면 IPv4 헤더를 디캡슐레이션 하고 최종적으로 해당 MNN에게 패킷을 전달하여 CN과의 통신을 한다. 반대로 MNN이 CN에게 보내는 패킷은 그림 6에서의 소스와 목적지 주소가 바뀐 형태이다.



(그림 6) CN과 MNN 간의 통신

4. 성능 측정

우리는 핸드오프 시그널링 딜레이(Delay)와 패킷 딜레이를 측정함으로써 제안한 방안이 효율적이라는 것을 보여준다. 그림 7은 딜레이의 측정을 위한 네트워크 토폴로지이다. 즉, (a)는 MR이 IPv6 네트워크를 떠나서 IPv4 네트워크로 이동(roaming)을 한 후, IPv4 네트워크에서의 핸드오프를 수행할 때의 시나리오를 나타낸다. 그리고 (b)는 IPv4 네트워크로 이동한 MR의 MNN이 HA가 속한 네트워크와 또 다른 IPv6 네트워크에 있는 CN과 MNN간의 통신하는 시나리오를 보여준다. 표 1은 성능 측정을 위해 각 기호에 대한 의미와 값을 나타낸다.



(그림 7) 딜레이 측정을 위한 네트워크 토폴로지

<표 1> 성능 측정을 위한 변수들

기호	의미	값
L_{CN-TA}	IP 헤더+CN과 TA 사이의 페이로드길이	
L_{TA-HA}	IP 헤더+TA와 HA 사이의 페이로드 길이	
L_{HA-TA}	IP 헤더+HA와 TA 사이의 페이로드 길이	
L_{TA-FA}	IP 헤더+TA와 FA 사이의 페이로드 길이	
L_{FA-MR}	IP 헤더+FA와 MR 사이의 페이로드 길이	
L_{MR-MNN}	IP 헤더+MR과 MNN사이의 페이로드 길이	
BW_{wired}	유선 링크의 Bandwidth	100Mb/s
$BW_{wireless}$	무선 링크의 Bandwidth	11 Mb/s
L_{wired}	전파지연시간+유선 링크레이어 지연시간	0.5 ms
$L_{wireless}$	전파지연시간+무선 링크레이어 지연시간	2 ms
H_{6-H}	HA(IPv6 네트워크)에 속해 있는 홉수	
H_{6-C}	CN(IPv6 네트워크)에 속해 있는 홉수	
H_{4-M}	MR(IPv4 네트워크)에 속해 있는 홉수	

4.1 Handoff Signaling Delay

HD 는 MR 이 IPv4 네트워크 내에서 HA 와 점점 멀어지는 상황에서 핸드오프 딜레이 값을 측정한다. 즉, IPv4 네트워크의 홉수를 늘리면서 핸드오프 딜레이를 계산하였다. (IPv6 네트워크의 홉수는 변함이 없다.)

- Doors 메커니즘은 IPv4 네트워크에서 핸드오프를 수행할 시, 자신의 HA 와 BU 메시지와 BA 메시지를 직접 주고 받아야 한다.

$$HD = 2\left(\frac{L_{FA-MR} \times H_{4-M}}{BW_{wired}}\right) + \frac{(L_{TA-HA} + L_{HA-TA}) \times H_{6-H}}{BW_{wired}} +$$

$$2\left(\frac{L_{FA-MR}}{BW_{wireless}}\right) + 4L_{wired} + 2L_{wireless}$$

- 제안한 방안은 핸드오프시 TA 가 BU/BA 메시지를 직접 처리한다. 따라서 HA 까지 BU 메시지를 전달해야 핸드오프과정을 끝낼 수 있는 doors 메커니즘보다 더욱 효율적이다.

$$HD = 2\left(\frac{L_{FA-MR} \times H_{4-M}}{BW_{wired}}\right) + 2\left(\frac{L_{FA-MR}}{BW_{wireless}}\right) + 2L_{wired} + 2L_{wireless}$$

그림 8 의 위 그래프는 핸드오프 시그널링 딜레이에 대한 결과를 보여준다. 제안한 방법이 IPv4 네트워크에서 이동시 더욱 빠른 핸드오프를 기대할 수 있다는 의미를 가지고 있다.

4.2 The End-to-End Packet Delay

PD 는 MR 이 IPv4 네트워크로 이동 시 IPv6 네트워크에 있는 CN 과 MNN 간의 통신을 하고 있을 때의 패킷 딜레이 값을 측정한다. 이때 페이로드 길이를 증가시키면서 CN 과 MNN 간의 패킷 딜레이를 계산하였다.

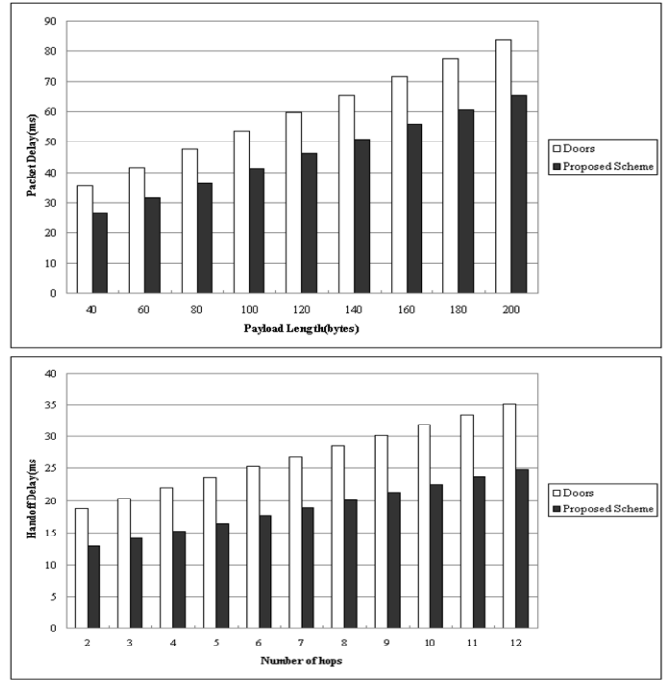
- Doors 메커니즘은 CN 과 통신할 때 패킷은 HA 를 통해서 전달되기 때문에 HA 가 속해 있는 IPv6 네트워크에서의 패킷 딜레이가 발생한다.

$$PD = \frac{L_{CN-TA} \times H_{6-C}}{BW_{wired}} + \frac{(L_{TA-HA} + L_{HA-TA}) \times H_{6-H}}{BW_{wired}} + \frac{L_{TA-FA} \times H_{4-M}}{BW_{wired}} + \frac{L_{FA-MR} + L_{MR-MNN}}{BW_{wireless}} + 4L_{wired} + 2L_{wireless}$$

- 제안한 방안은 TA 가 HA 에게 패킷을 전달하지 않고 TA-MR 의 터널을 통해 직접 MR 에게 패킷을 포워딩해준다. 따라서 패킷이 HA 까지 전달되지 않기 때문에 HA 가 속한 IPv6 네트워크에서의 패킷 딜레이 발생을 줄일 수 있다.

$$PD = \frac{L_{CN-TA} \times H_{6-C}}{BW_{wired}} + \frac{L_{TA-FA} \times H_{4-M}}{BW_{wired}} + \frac{L_{FA-MR} + L_{MR-MNN}}{BW_{wireless}} + 2L_{wired} + 2L_{wireless}$$

그림 8 의 아래 그래프는 end-to-end 패킷 딜레이에 대한 결과를 보여준다. Doors 메커니즘에 비교해서 제안한 방안이 페이로드 길이가 커질수록 패킷 딜레이가 더욱 적게 발생하는 것을 알 수 있다.



(그림 8) 성능측정 결과

5. 결론

본 논문에서는 IPv6 에서만 이동성이 지원되었던 NEMO 프로토콜에 대해서 TA 를 통하여 IPv4 네트워크로 이동했을 경우 심리스한 이동성을 지원하기 위한 효율적인 방법을 제시하였다. 즉, TA 는 이동성을 가지는 mobile node, mobile router 에게 IPv4/IPv6 간 전환을 지원한다. 우선 듀얼스택 메커니즘과 비교해 Mobile IPv4 프로토콜 스택을 최소화함으로써 다른 링크로 이동했을 때 시그널링 오버헤드를 줄였다. Doors 메커니즘에서의 터널 오버헤드 문제점에 대해서는 IPv4 네트워크로 패킷을 전달할 때 TA 를 이용하여 IPv4-IPv6 헤더를 사용함으로써 터널 오버헤드를 감소시켰다. 만약, IPv4 네트워크 내에서 또 다른 이동을 할 경우 TA 에게만 등록함으로써, HA 간의 추가적인 바인딩 메시지도 줄였다. 성능 측정 결과 제안된 메커니즘은 핸드오프와 패킷 지연 시간을 줄이는 결과를 보여주었다.

향후 과제로 본 논문에서 제시한 메커니즘을 테스트베드를 구축하여 실제 구현을 하고 검증할 계획이다.

참고문헌

- [1] S. Deering, R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2460, December 1998.
- [2] C. Perkins et al., "Mobility Support in IPv6", RFC3775, June 2004.
- [3] V. Devarapalli, et al., "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol", RFC3963, January 2005.
- [4] C. Perkins, et al., "IP Mobility Support for IPv4", RFC 3220, January 2002.
- [5] T. Soliman, G. Tsirtsis, "Dual Stack Mobile IPv6", draft-soliman-v4v6-mipv4-02, IETF, October 2004.
- [6] P. Thubert, P. Molteni, P. Wetterwald, "IPv4 traversal for MIPv6 based Mobile Routers", draft-thubert-nemo-traversal-01, IETF, May 2003.
- [7] J. Bound, et al., "Dual Stack IPv6 Dominant Transition Mechanism (DSTM)", draft-bound-dstm-exp-03, IETF, July 2005.
- [8] G. Tsirtsis, et al., "Network Address Translation Protocol Translation (NAT-PT)", RFC2766, February 2000.
- [9] E. Nordmark, "Stateless IP/ICMP Translation Algorithm (SIIT)", RFC2765, February 2000.