

http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.1.201

JIWIT 2012-1-26

NEMO를 지원하는 프록시 모바일 IPv6 네트워크에서 비용효과적인 LMA 도메인간 핸드오버 기법의 성능분석

Performance Analysis of Cost-Effective Inter-LMA Domain Handover Scheme in PMIPv6 Networks with NEMO Supporting

이윤수*, 정종필**

Yunsu Yi, Jongpil Jeong

요 약 현재 다수의 단말이 이동시에 효율적이고 안정적으로 동작할 수 있는 다양한 기술들이 등장하고 있다. 최근 들어 PMIPv6(Proxy Mobile IPv6)에 대한 관심이 증가하고 있고 본 논문에서 제안한 이동성 지원 방식은 PMIPv6 네트워크에서 NEMO(Network Mobility)를 지원하는 방식을 기반으로 하고 있다. PMIPv6는 한 개의 도메인에서 이동성을 지원하는 방식인데, 실제 네트워크는 여러개의 도메인이 중첩되어 있는 구조로 구성되어 있다. 제안한 기술은 두 개 이상의 도메인에서 LMA(Local Mobility Anchor)간에 통신하는 단계를 LMA와 이동할 도메인의 MAG(Mobile Access Gateway)간에 통신함으로써 핸드오버 지연 및 시그널링 측면에서 성능 향상을 보여준다.

Abstract Now, there are many mobile nodes are efficient and stable when they move to operate with variety techniques have emerged. Recently, there is a growing interest about PMIPv6(Proxy Mobile IPv6) and, in this proposal of essay is the based on the way to mobility support system will stand on the basis from PMIPv6 network to NEMO(Network Mobility). PMIPv6 is mobility support system from single domain, it actual network is composed with nested in amultiple domain structural system. The proposed technique in the domain of two or more, the LMA(Local Mobility Anchor) communication between LMA(Local Mobility Anchor) and MAG(Mobile Access Gateway) of movable domain can increase performance by handover delay and signaling.

Key Words : PMIPv6, NEMO, LMA 도메인간 핸드오버

1. 서 론

현재 모바일 네트워크는 새로운 영역으로 이동할 경우에도 끊기지 않는 인터넷 연결을 원하고 있다. MIPv6(Mobile IPv6)^[1]는 IPv6 네트워크에서 IP 계층을 대표하는 프로토콜이다. 하지만 이동 단말과 AR(Access Router)사이의 시그널링으로 인한 무선구간에서 사용량이 증가하고 단말에 복잡한 표준사양을 구현해야 함으로

써 실질적으로 적용시키기에는 한계가 있다. 이런 문제점이 대두되자 IETF(Internet Engineering Task Force)의 NETLMM(Network-based Local Mobility Management) 워킹그룹이 신설되어 네트워크 기반 이동성 프로토콜에 대한 표준화가 진행 중이다.

네트워크 기반 이동성 프로토콜의 대표적으로는 NBS(NEMO Basic Support)^[2] 프로토콜이 있다. NBS에 MR(Mobile Router)은 AR(Access Router)역할을 수행

*준회원, 성균관대학교 정보통신대학원

**정회원, 성균관대학교 정보통신공학부

접수일자 2011.12.29, 수정완료 2012.1.30.

게재확정일자 2012.2.10

Received: 29 December 2011 / Revised: 30 January 2012 /

Accepted: 10 February 2012

**Corresponding Author: jjjeong@gmail.com

Dept. of Computer Engineering, SungKyunKwan University, Korea

한다. MN(Mobile Node)이 홈네트워크 안에 있다면 HA(Home Agent)에 의해 HoA (Home Address)라고 불리는 IP 주소를 부여 받게 된다. 이 IP는 동일한 도메인 안에서 새로운 영역으로 이동을 하더라도 동일한 주소를 유지한다. MR이 새로운 영역으로 이동할 경우, MR은 새로운 네트워크 프리픽스를 받게 되는데, 이를 기준으로 CoA(Care-of address)라 불리는 새로운 주소를 생성한다. 그리고 HA에 CoA가 포함된 BU (Binding Update) 메시지를 보냄으로써 HA와 연결을 유지한다. HA는 BU 메시지를 받았다는 응답으로써 MR에게 BA(Binding Acknowledgement) 메시지를 보낸다. MR의 영역안에 있는 MNN (Mobile Network Node)는 MR이 대신해서 시그널링을 수행하기 때문에 별다른 절차를 거치지 않게 된다. 하지만 NBS 역시 MIPv6와 마찬가지로 호스트 기반의 이동성 관리 프로토콜이다. 호스트 기반 프로토콜의 경우 MR의 이동시 그에 접해 있는 MNN이 시그널링을 수행하게 되고 그에 따른 성능 지연을 겪게 된다. 때문에 최근 네트워크 기반 프로토콜이 주목 받고 있다. 그에 대한 대표적인 프로토콜이 PMIPv6(Proxy Mobile IPv6)^{[3],[5]}이다.

본 논문에서는 PMIPv6 도메인에 NEMO 적용한 기법을 사용한다^[6]. 기존 PMIPv6에서 MN은 우선 MAG를 거쳐서 외부 노드와 통신을 하게 되는데 이 중간에 MR을 두게 된다. 하나의 MAG는 수많은 MN을 가지게 되는데 이를 다시 그룹핑할 수 있는 MR을 두어서 MN과 MAG 간의 불필요한 시그널링을 MR이 대신 수행하게 한다. 하지만 현재의 PMIPv6는 호스트의 전역 이동성을 지원하지 않는다. MR이 다른 도메인으로 이동할 경우 그에 따른 핸드오버 지연이 발생하게 된다.

실제 네트워크는 여러 개의 네트워크가 중첩되어 이루어져 있다. 그렇기 때문에 도메인간의 이동이 많을 것이다. PMIPv6 도메인은 LMA에 의해서 관리되어 있는데 PMIPv6 내부 장치들은 LMA를 통해서 외부 장치들과 통신을 하게 된다. PMIPv6 도메인간의 이동시에도 각 LMA간의 정보 교환을 통해서 핸드오버가 이루어지게 된다. 본 논문에서는 MR이 새로운 PMIPv6 도메인으로 이동시에 바로 MAG와 정보를 주고받음으로써 핸드오버 지연을 줄일 수 있음을 제안한다.^[4]

본 논문에서는 도메인간의 성능 비교를 하기위해서 NBS, Light-NEMO(NEMO를 지원하는 PMIPv6), 제안한 기법을 비교 및 분석하였다. 우선 도메인 안에서 시그

널링 비용, 패킷 터널링 비용, 핸드오버 지연에 대해 제시하고 도메인간에서 시그널링 비용, 패킷 터널링 비용, 핸드오버 지연에 대해 성능분석하였다. 분석 결과, 시그널링 비용, 핸드오버 지연에서 도메인안과 도메인간에서 NBS, Light-NEMO 보다 적은 비용이 들었다. 패킷 터널링 비용은 Light-NEMO와는 같지만 NBS 보다 적은 비용이 들었다.

본 논문은 2장에서는 관련있는 프로토콜에 대해서 설명한다. 그리고 3장에서는 제안한 기술에 대해서 설명하고 4장에서는 제안한 방안의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 도출하였다.

II. 관련연구

이 장에서는 본 논문에서 사용되는 프로토콜에 대한 설명 및 동작 방식에 대해 기술한다.

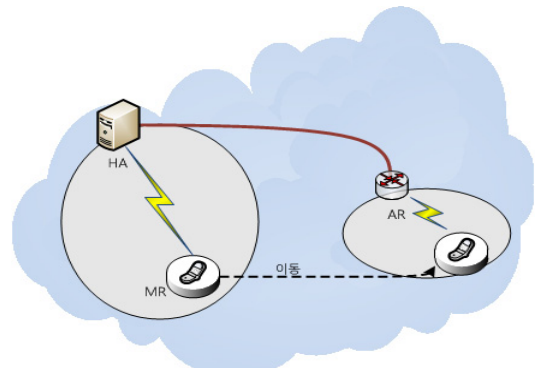


그림 1. NEMO에서 핸드오버
Fig. 1. Handover on NEMO

1. NEMO

NEMO(NEtwork Mobility)는 MNNs(Mobile network Nodes)에 네트워크 접속의 끊김 없는 서비스를 제공할 수 있게 해주는 기술이다. NEMO는 이동성에 관련된 동작을 MNNs에 속해 있는 각각의 단말들이 수행하는 것이 아니라 그 MNNs를 대표하는 라우터인 MR에게 전달하는 것이다. 기존 단말들이 직접 수행했던 시그널링을 MR이 대신 수행하기 때문에 망을 보다 효율적으로 사용할 수 있게 된다.^[2]

2. PMIPv6

PMIPv6(Proxy Mobile IPv6) 도메인에서 모바일 노드의 이동성 관리가 PMIPv6에 의해 관리되어진다. 도메인 안에서 단말들은 LMA와 MAG의 통제를 받게 된다. LMA는 모바일 노드에 대한 일종의 홈 에이전트 역할을 수행한다. 이것은 도메인 내부에서 게이트웨이 위치에 배치되고 홈 네트워크 프리픽스를 할당하고 그것을 모바일 노드에 보내주는 역할을 담당한다. MAG는 모바일 노드의 네트워크에 대한 연결 기능과 라우팅 기능을 담당한다. 모바일 노드가 해당 액세스 라우터에 접속하면, 대신해서 모바일 노드의 정보를 이용하여 LMA와 인증 및 연결 설정을 한다.^[8]

PMIPv6 도메인 안의 모바일 노드에 대한 핸드오버가 일어나게 되면 MAG는 모바일 노드에 대한 이벤트를 알아차리게 된다. 그렇게 되면 PMIPv6 도메인 안에 있는 인증 서버를 통해서 인증 절차를 거치게 된다. 그 다음 MAG는 모바일 노드를 대신하여 HNP가 포함된 PBU 메시지를 LMA에게 전달한다. LMA는 PBU 메시지를 받았다는 응답으로서 PBA 메시지를 MAG에게 전달한다. 이때, LMA의 바인딩 리스트에 모바일 노드에 관한 정보를 기록한다. LMA로부터 PBA를 받은 MAG는 HNP가 포함된 RA 메시지를 모바일 노드의 홈링크에 광고한다. 모바일 노드는 HNP가 포함된 RA 메시지를 이용해서 pHoA라고 불리는 IP 주소를 구성한다. 만일 PMIPv6 도메인 안에서 다른 영역으로 이동하더라도 HNP는 동일하기 때문에 IP 주소에는 변화가 없다. 즉, HNP를 이용하여 구성한 pHoA는 모바일 노드의 영구적인 주소로 사용된다.

3. NEMO를 지원하는 PMIPv6

NEMO를 지원하는 PMIPv6 도메인은 모바일 노드와 MAG 사이에 MR를 두어서 모바일 노드는 MR를 통해서 MAG와 통신을 하게 한다. PMIPv6 도메인 안에서 MR과 관련된 이동이 감지된다면, MAG는 MR에 대한 정보를 PBU 메시지를 통해 LMA에게 전달하게 되고 LMA는 그에 대한 HNP와 MNP가 포함된 PBA 메시지를 MAG에게 전달한다. 이후, MAG와 LMA간에 양방향 터널이 형성되고 이 터널을 통하여 MR은 외부 노드와 통신을 하게 된다. MAG는 HNP와 MNP가 포함된 RA 메시지를 MR에게 전달하고 MR은 HNP를 이용하여 전역 주소를 형성하고 MNP는 자신의 영역의 모바일 노드들에

게 브로드캐스트 방식으로 전달한다. 모바일 노드는 전달 받은 MNP를 이용하여 자신의 IP 주소를 생성한다.

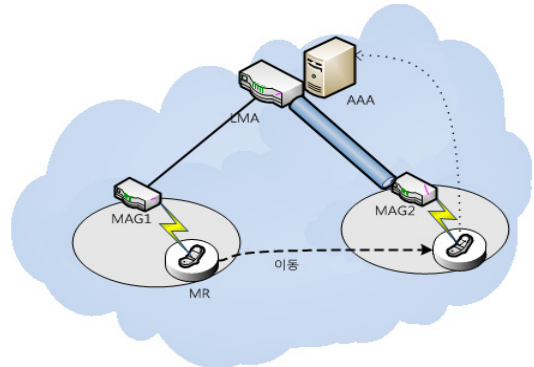


그림 2. NEMO를 지원하는 PMIPv6 도메인에서 핸드오버
Fig. 2. Handover Scheme in PMIPv6 Networks with NEMO Supporting

NEMO를 지원하는 PMIPv6 도메인에서 LMA는 MR의 HNP와 MNP를 포함한 바인딩 리스트를 가지고 있다. 그렇기 때문에 LMA는 다른 MAG로 이동한 MR에 대한 주소 재배치 및 기존 영역에서 기록을 삭제할 수 있게 된다. MR이 기존 MAG 영역에서 새로운 MAG 영역으로 이동을 할 경우 새로운 MAG는 PBU 메시지를 통해 LMA에게 전송한다. LMA는 기존에 등록된 HNP와 MNP 같은 정보를 이용해서 바인딩 리스트를 업데이트 하게 된다. 새로 생성된 MAG는 LMA에게 전달 받은 PBA 메시지를 통해 MR에 대한 리스트 정보를 업데이트 한다. HNP는 영구적인 주소이기 때문에 MR이 새로운 MAG로 이동을 하더라도 기존 정보를 계속 사용하게 된다.

III. Cost-Effective Inter-LMA Domain Handover Scheme in PMIPv6 Networks with NEMO Supporting

본 논문에서 제시한 기법은 두 개 이상의 도메인에서 MR의 이동에 따른 핸드오버 지연에 대한 성능 향상을 목표로 한다. PMIPv6에서 LMA는 하나의 도메인을 관리한다. 두 개의 도메인일 경우 각 각의 도메인에는 LMA를 가지고 있는데 네트워크 대역이 다르기 때문에 서로 통신되지 않는다. MR이 새로운 도메인으로 이동할 경우, LMA가 MR에 대한 정보를 얻고 그에 대한 바인딩

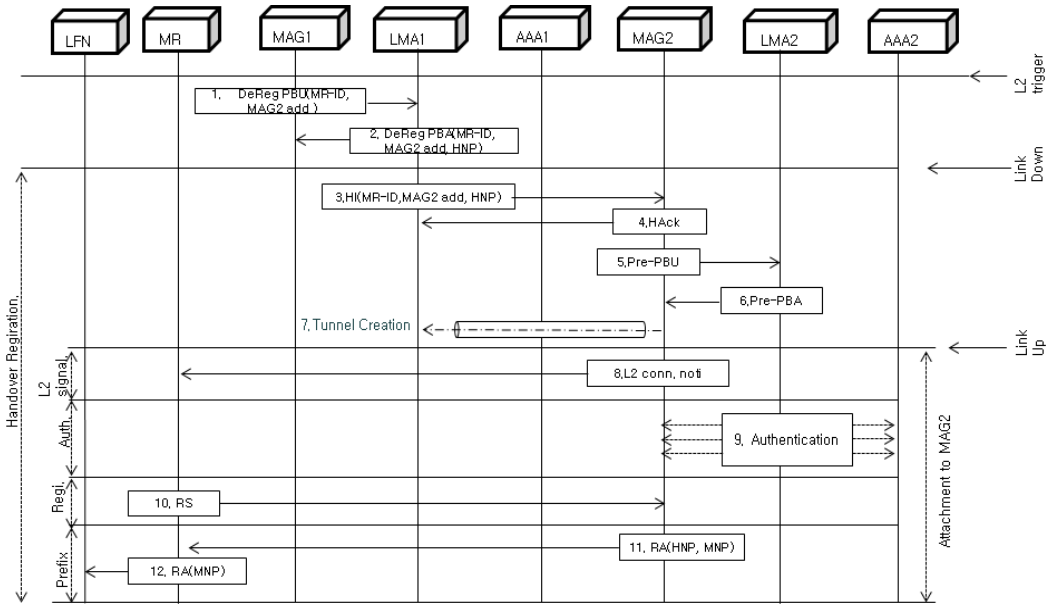


그림 3. NEMO를 지원하는 PMIPv6 도메인에서 다른 도메인으로 핸드오버
 Fig. 3. Handover procedure from a PMIPv6 domain to another domain

리스트 업데이트를 수행한 후에야 해당 영역의 MAG가 MR에 대해 알아차린다. 본 논문에서는 서로 다른 PMIPv6 도메인에서 MR이 새로운 PMIPv6으로 이동하고자 할 때, 통신 과정을 줄임으로써 핸드오버 지연에 대한 성능 향상을 제시한다. MR이 다른 PMIPv6 도메인의 MAG3으로 이동한다고 할 때, 새로운 도메인으로 이동시에 MAG3과 LMA 주소가 포함된 L2 trigger 과정으로 MAG2가 이에 대한 정보를 알게 된다고 가정한다. MAG1은 DeReg-PBU 메시지를 LMA1에게 전달하고 LMA1은 이 과정에서 MR이 이동할 PMIPv6 도메인 및 MAG3에 대한 IP 주소를 알게 된다. MR이 새로운 도메인으로 이동할 경우, LMA간의 정보를 주고받아야 하지만 본 논문에서 제안한 기술에서 LMA1은 MAG3에 대한 주소를 알기 때문에 LMA2를 거치지 않고 바로 MR에 대한 정보를 주고받는다. LMA1과 LMA2간의 통신과정을 LMA1과 MAG3가 대신하게 된다.

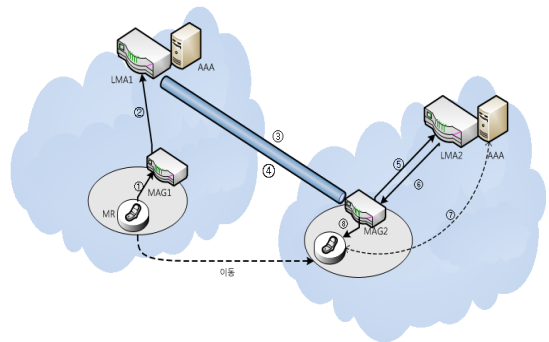


그림 5. 제안된 기법에서 핸드오버
 Fig. 5. Handover based on proposal scheme

NEMO를 지원하는 PMIPv6 도메인 영역 안에 있는 MR이 새로운 MAG2로 이동할 경우, 기본적인 데이터 통신은 LMA를 통하여 MAG2는 MR에 대한 정보 (MR-ID, HNP, MNP)를 얻게 된다. 본 논문에서는 제안한 기술에 앞서서 하나의 PMIPv6 도메인 안에서 MR이 이동할 경우 LMA를 거치지 않고 MAG끼리 통신을 제안한다. MR이 MAG2로 이동할 경우 L2 trigger가 발생한다고 가정하고, 이 때 MR은 MAG2에 대한 주소 정보를 얻게 되고 MAG2에 대한 주소를 MAG1에게 전달한다. MAG1은 LMA에게 MR-ID와 MAG2 주소가 포함된

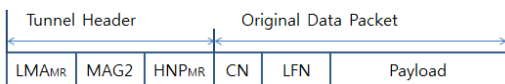


그림 4. LMA와 MAG2사이의 데이터 터널 패킷
 Fig. 4. Tunneled data packet from LMA to MAG2

DeReg-PBU 메시지를 보냄으로써, 기존 MAG1에 있는 MR의 정보를 삭제할 것을 요청한다. LMA는 DeReg-PBU 응답 메시지로써 MR-ID, HNP, MNP가 포함된 DeReg-PBA 메시지를 보내고 MAG2-MR에 대해 리스트에 업데이트 한다. L2 trigger에 의해 MAG1은 MR로부터 MAG2에 대한 주소를 알게 된다고 가정하고 MAG1은 MAG2에게 MR-ID, MAG2 주소, MR-HNP 정보가 담겨있는 HI(Handover Initialize)메시지를 보낸다. 이는 기존 LMA가 MAG2에게 보낸 PBA 메시지에 해당하는 단계와 유사하다. 그리고 MAG2는 수신에 대한 응답 메시지로써 Hack (Handover Ack) 메시지를 전송한다. 이 과정에서 MAG2는 MR에 대한 정보를 알게 된다. MAG2는 버퍼링 과정을 갖는다. 버퍼링을 통해서 MR이 새로운 도메인에 연결될 때까지 HI 메시지에 대한 정보를 보관하고 LMA2에게 사전에 MR에 대한 정보를 가지고 있는Pre-PBU 메시지를 보낸다. LMA2는 이에 대한 응답으로써 Pre-PBA 메시지로 응답한다.MR은 기존 MAG1에 대한 링크 다운이 되고 얼마지 않아 MAG2에서 링크 업이 된다. 그리고 MAG1과 MAG2 사이에 양방향 터널이 형성된다. 인증 서버를 통해 인증 절차를 거친 후, MR은 MAG2에 RS 메시지를 전송하고 MAG2는 MR에게 HNP, MNP가 포함된 RA 메시지를 전송한다. MR은 HNP를 이용하여 주소를 형성하고 MNP를 모바일 노드들에게 브로드캐스트 방식으로 광고한다.

본 논문에서는 하나의 PMIPv6 도메인에서 MAG간의 통신하는 방식을 발전시켜 두 개 도메인에서 LMA를 거치지 않고 통신하는 기법을 제안한다. LMA1의 MAG2안에 있는 MR이 LMA2의 MAG2으로 이동하고자 할 때, MR에는 L2 trigger가 발생한다고 가정한다. MAG2는 이 L2 이벤트를 통해서 MR-ID, LMA2에 대한 정보를 획득한다. MAG1에서는 MR에게서 전송받은 LMA2 주소, MAG2 주소, MR-ID가 포함된 DeReg-PBU 메시지를 LMA1에게 전송한다. LMA1은 DeReg-PBU 메시지를 받았다는 응답으로써 DeReg-PBA 메시지를 MAG1에게 전송하고 바인딩 리스트에서 MR에 대한 정보를 삭제한다. LMA1은 MAG2에 대한 주소를 알고 있다. LMA1에서 MR-ID, HNP가 포함된 HI(Handover Initialize)메시지를 MAG2에게 전송한다. MAG2는 HI를 받았다는 응답으로써 Hack(Handover Ack)메시지를 보낸다. MAG2은 MR-ID가 포함된 Pre-PBU 메시지를 LMA2에게 전송하고 LMA2-MR에 대한 정보를 바인딩 리스트에 등록

한다. LMA2는 PBU 메시지에 대한 응답으로써 MR-ID, HNP, MNP가 포함된 Pre-PBA를 MAG2에게 보낸다. MR에 대한 링크 업이 되고 도메인내의 인증서버로부터 인증절차 과정을 거친다. 인증을 받게 되면 MR은 MAG2에게 RS 메시지를 전송하고 MAG3은 MR에게 HNP, MNP가 포함된 RA 메시지를 보낸다. MR은 HNP를 이용하여 주소를 형성하고 MNP를 모바일 노드에게 브로드캐스트 방식으로 광고한다.

IV. 성능평가

이번 장에서는, NBS와 참고논문의 기술인 Light-NEMO, 본 논문에서 제안한 기법을 분석하여 비교하였다. 그리고 시그널링, 패킷 터널링 비용, 핸드오버 지연에 관하여 수치적인 결과를 제시하였다.

1. 실험에서 가정한 부분

실험에서 MR의 접근과 인증 관련하여서는 같은 값을 가졌다고 가정하였다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 IP 계층 트래픽 값과 핸드오버 지연 값만 알아보겠다.

- MR에 대한 세션 연결은 포아송 가정을 사용한다. 즉, MR의 연속적인 세션 연결 시간은 지수의 분포인 λs 를 사용한다
- E(S)는 MR의 세션 길이를 의미하며 고정된 패킷 사이즈의 개수에 의해 결정 된다.
- MR의 링크가 연결되는 시간의 밀도 분포를 의미하는 $1/\mu_L$ 을 사용한다. 그것에 대한 함수 밀도 함수는 $f_{L(t)}$ 을 사용한다. $f_{L(s)}^*$ 는 $f_{L(t)}$ 에 대한 라플라스 정리를 의미한다.

$$f_{L(s)}^* = \int_{t=0}^{\infty} e^{-st} f_L(t) dt$$

- N_n 은 MR이 이동하는 동안 연결되는 링크 수를 의미한다. $P_r[N_L = K] = a(K)$ 은 MR이 K개 링크를 세션이 유지될 동안 이동할 확률을 의미한다. $S\sigma$ 는 $\lambda s/\mu_L$ 을 포함하는 SMR을 의미한다. 세션은 $\alpha(0) = 1 - (1 - f_L^*(\lambda s))/S\sigma$ 이고($k \geq 1$) $1/S\sigma(1 - f_L^*(\lambda s))^2(f_L^*(\lambda s))^{k-1}$ 에 의해 주어진다. MR의 링크가 존재하는 시간을 $1/\mu_L$ 지수적 분포

로 가정한다.

- $f_{L(t)}$ 에 대한 라플라스 변환은

$$f_{L(s)}^* = e^{-st} \int_{t=0}^{\infty} \mu_L e^{-\mu_L t} dt \text{ 같이 표현한다.}$$

- D_P 는 패킷 서비스 지연을 의미하는데 패킷 서비스 지연은 엔티티($MR, AR/MAG, HA_{MR}/LMA_{MR}$)에 대한 프로세싱 지연과 전송 지연의 합을 의미한다. 패킷 서비스 지연에 M/M/1 큐잉 모델을 적용하겠다. 프로세싱 과정에는 패킷 손실은 없는 것으로 가정하겠다. $1/\mu_P$ 는 평균 패킷 전송 시간, λ_P 평균 도착률을 의미한다. D_P 는 $1/(1-p)u$ 에 의해 주어진다. (단, $p = \rho/\mu_P$)
- 확대 지연도 고려되어야 한다. 링크 D_a 에 대한 확대 지연은 엔티티 d 와 유선 링크 ψ 속도에 의한 물리적 거리에 의존한다. D_a 는 d/ψ 으로 주어진다. 무선 D_B 에 대한 확대 지연은 $1 \mu s$ 로 가정한다. 유선 링크는 메시지 전송 중에 실패가 거의 없고, 무선 링크에서 메시지 전송 중에 실패가 생길 것으로 여겨진다.

다음 표기법은 제안된 성능 분석에서 사용되어진다.

- H_{X-Y} : X와 Y 사이의 홉의 개수에 대한 평균
- S_{bu} : NBS에서 사용되는 BU 메시지 크기
- S_{ba} : NBS에서 사용되는 BA 메시지 크기
- S_{pbu} : 제안된 기술에서 사용되는 PBU 메시지 크기
- S_{pba} : 제안된 기술에서 사용되는 PBA 메시지 크기
- S_{hd} : 양방향 터널에서 요구하는 IPv6 헤더 크기
- τ : 터널링에 대한 중량
- n_f : 무선 링크에서 메시지 전송 실패 횟수
- P_f : 무선 링크 실패 확률
- n_t : MR의 영역에 속해 있는 LFNs 대한 총 개수
- n_n : MR의 영역에 속해 있는 활성화 된 LFNs 대한 총 개수
- T_{L2} : 2계층에 대한 핸드오버 지연
- T_{AU} : 인증 지연
- T_{WRS} : MR에서 MAG로 향한 RS 메시지 랜덤 지연
- T_w : 무선 구간에서 시그널링

- T_{RS} : MR에서 MAG로 향한 RS 메시지 도착 지연
- T_{RA} : MAG에서 MR로 향한 RA 메시지 도착 지연
- T_{DAD} : DAD 프로세스 과정에서 요구되는 지연
- $T_{LU}^{(NBS)}$: NBS의 핸드오버 등록과정에서 지연
- $T_P^{(NBS)}$: HA_{MR} 에서 MR까지 첫 패킷 도착 지연
- $T_{LU}^{(PRO)}$: 제안된 기술에서 핸드오버 등록과정에서 지연
- $T_P^{(PRO)}$: LMA_{MR} 에서 MR까지 첫 패킷 도착 지연

2. 비용 분석

시그널링 비용은 핸드오버 등록 과정에서 발생하는 이동에 대한 시그널링으로 주어진다. 반면에, 패킷 터널링 비용은 CN에서 MR로 보내지는 데이터 패킷에 의해 결정 되어진다.

$C_{LU}^{(NBS)}$ 는 시간당 NBS에 대한 시그널링 비용이다. NBS의 경우 Intra 도메인과 Inter 도메인에 대한 시그널링 비용이 동일하며 아래와 같이 계산되어진다.

$$\begin{aligned} C_{LU}^{(NBS)} &= [i \sum_{i=0}^{\infty} a(i)] \times LU^{(NBS)} \\ &= [\sum_{i=1}^{\infty} \frac{i}{S\sigma} (1 - f_L^*(\lambda s))^2 (f_L^*(\lambda s))^{i-1}] \times LU^{(NBS)} \end{aligned} \quad (1)$$

$LU^{(NBS)}$ 는 핸드오버 경우에 각 위치에 대한 업데이트 비용이다. NBS에서 MR은 링크 이동시에 HA에게 BU 메시지를 보냄으로써 현재 위치를 업데이트한다. $LU^{(NBS)}$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} LU^{(NBS)} &= \sum_{nf} Prob\{n_f \text{ failure and } 1 \text{ success}\} \\ &\times H_{MR-AR}(S_{bu} + S_{ba}) + H_{AR-HA_{MR}}(S_{bu} + S_{ba}) + T_w \\ &= \frac{P_f H_{MR-AR}(S_{bu} + S_{ba})}{1 - P_f} + H_{AR-HA_{MR}}(S_{bu} + S_{ba}) + T_w \end{aligned} \quad (2)$$

NBS에 대한 데이터 패킷 터널링은 HA_{MR} 과 MR 사이에 성립된다.

$C_{LU}^{(LM)}$ 는 Light-NEMO 기법에서 시간당 시그널링 비용을 의미한다. 계산은 다음과 같이 한다.

-도메인내의 경우

$$\begin{aligned}
 C_{LU}^{(LM)} &= [i \sum_{i=0}^{\infty} a(i)] \times LU^{(LM)} \\
 &= [\sum_{i=1}^{\infty} \frac{i}{S_{\sigma}} (1 - f^*_L(\lambda_s))^2 (f^*_L(\lambda_s))^{i-1}] \times LU^{(LM)}
 \end{aligned} \quad (3)$$

-도메인간의 경우

$$\begin{aligned}
 C_{LU}^{(LM)} &= [i \sum_{i=0}^{\infty} a(i)] \times LU^{(LM)} + H_{LMA1-LMA2} (Q_{req} + Q_{res}) \\
 &= [\sum_{i=1}^{\infty} \frac{i}{S_{\sigma}} (1 - f^*_L(\lambda_s))^2 (f^*_L(\lambda_s))^{i-1}] \times LU^{(LM)} \\
 &\quad + H_{LMA1-LMA2} (Q_{req} + Q_{res})
 \end{aligned} \quad (4)$$

$LU^{(LM)}$ 는 Light-NEMO 기술의 핸드오버 발생시 위치 업데이트이다. 제한한 기술에서, MR에 대한 위치 업데이트는 MAG에 의해 이루어진다. $LU^{(LM)}$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$LU^{(LM)} = 2 \times H_{MAG2-LMA_{MR}} (S_{pbu} + S_{pba}) + T_w \quad (5)$$

기존 MAG와 이동할 MAG에서 보내지는 위치 업데이트를 포함한다.

$C_{LU}^{(PRO)}$ 는 본 논문의 제안된 기법에서 시간당 시그널링 비용이다.

-도메인내의 경우

$$\begin{aligned}
 C_{LU}^{(PRO)} &= [i \sum_{i=0}^{\infty} a(i)] \times LU^{(PRO)} \\
 &= [\sum_{i=1}^{\infty} \frac{i}{S_{\sigma}} (1 - f^*_L(\lambda_s))^2 (f^*_L(\lambda_s))^{i-1}] \times LU^{(PRO)} \\
 &= T_w
 \end{aligned} \quad (6)$$

-도메인간의 경우:

$$\begin{aligned}
 C_{LU}^{(PRO)} &= [i \sum_{i=0}^{\infty} a(i)] \times LU^{(LM)} + H_{LMA1-MAG2} (Q_{req} + Q_{res}) \\
 &= T_w + H_{LMA1-MAG2} (Q_{req} + Q_{res})
 \end{aligned} \quad (7)$$

$LU^{(PRO)}$ 는 제안된 기법에서 위치 업데이트 비용이다. 제안된 기법에서는 HI, HACK 메시지 전송과정에서

MR에 대한 위치를 사전에 업데이트 하기 때문에 $LU^{(PRO)}$ 는 T_w 만 포함한다.

$$LU^{(PRO)} = T_w \quad (8)$$

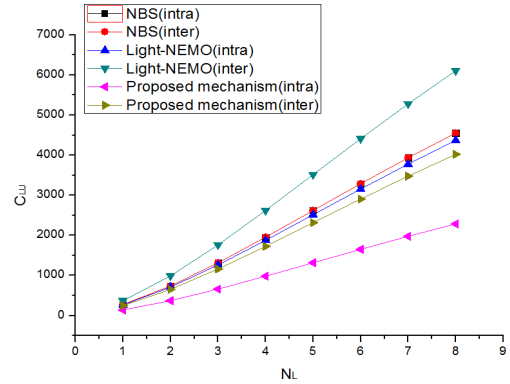


그림 6. N_L 에 따른 시그널링 비용

Fig. 6. Signaling cost versus N_L

$C_{PT}^{(NBS)}$ 는 NBS의 시간당 세션 과정에서 패킷 터널링 비용을 의미한다. 이는 다음과 같이 계산되어진다.

$$\begin{aligned}
 C_{PT}^{(NBS)} &= n_n [\sum_{n_f} n_f \text{prob}\{n_f \text{ failures and 1 success}\} \\
 &\quad \times H_{MR-AR} S_{hd} + H_{AR-HA_{MR}} S_{hd}] E(S) \\
 &= n_n [\frac{p_f H_{MR-AR} S_{hd}}{1 - p_f} + H_{AR-HA_{MR}} S_{hd}] E(S)
 \end{aligned} \quad (9)$$

실험에서 n_n 은 $[0, n_t]$ 의 범위로서 일정하다고 가정하겠다.

Light-NEMO 기술에서 LMA_{MR} 과 MAG 사이에 데이터 패킷 터널링이 성립한다. $C_{PT}^{(LM)}$ 는 Light-NEMO에서 시간당 패킷 터널링 비용이다. 다음과 같이 계산한다.

$$C_{PT}^{(LM)} = n_n H_{LMA1-LMA2} S_{hd} E(S) \quad (10)$$

$C_{PT}^{(PRO)}$ 는 제안된 기술에서 시간당 패킷 터널링 비용이다. 다음과 같이 계산한다.

$$C_{PT}^{(PRO)} = n_n H_{LMA1-MAG2} S_{hd} E(S) \quad (11)$$

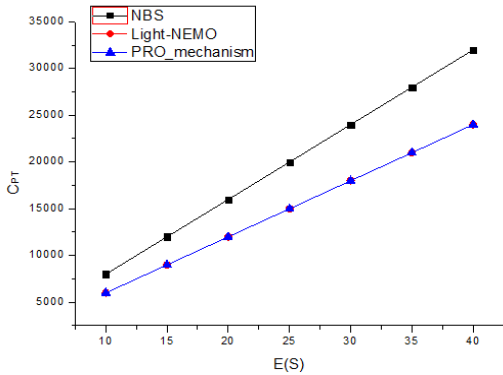


그림 7. E(S)에 따른 패킷 터널링 비용
Fig. 7. Packet tunneling cost versus E(s)

3. 핸드오버 지연 분석

핸드오버 지연은 네트워크 계층에서 핸드오버가 시작할 때부터 MR 영역의 LFN에게 처음으로 데이터 패킷을 수신할 때까지로 가정한다.

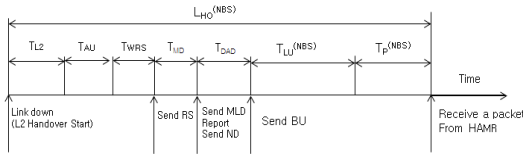


그림 8. NBS에서 핸드오버 처리 시간 다이어그램
Fig. 8. Handover timing diagram for the NBS handover procedure

그림8. NBS 핸드오버 과정에서 각 단계에서 걸리는 시간을 다이어그램으로 나타낸 것이다. $L_{HO}^{(NBS)}$ 는 NBS의 핸드오버 지연이다.

$$L_{HO}^{(NBS)} = T_{L2} + T_{AU} + T_{WRS} + T_{MD} + T_{DAD} + T_{LU}^{(NBS)} + T_P^{(NBS)} \quad (12)$$

T_{WRS} 는 $[0, \text{MAX_RTR_SOLICITATION_DELAY}]$ 사이에서 랜덤한 값을 의미한다. RS 메시지에 의해 이동이 시작하고 새로운 링크에서 RA 메시지 받고 완료된다. T_{MD} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{MD} = T_{RS} + T_{RA} \quad (13)$$

지연은 패킷 서비스 지연과 확장 지연을 포함하는데 T_{RS} 와 T_{RA} 를 요구한다. 모든 엔티티는 M/M/1 큐잉 모델에서 같은 값을 갖고 있다고 가정한다. 따라서 다음과 같이 나타낸다

$$T_{RS} = T_{RA} = \frac{P_f H_{MR-AR} (D_P + D_B)}{1 - P_f} \quad (14)$$

CoA는 RA 메시지에 포함된 네트워크 프리픽스를 이용해 어느 노드에서도 사용하지 않는 주소를 생성한다.

$T_{LU}^{(NBS)}$ 는 핸드오버 등록지연을 의미한다. MR과 HA HA_{MR} 사이에 BU 메시지와 BA 메시지 전송 과정에서 지연의 합을 의미한다. BA 메시지와 MR로 향하는 데이터 패킷은 HA_{MR} 에서 동시에 보내지는 경로 가정한다. 따라서, $T_{LU}^{(NBS)} + T_P^{(NBS)}$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$T_{LU}^{(NBS)} + T_P^{(NBS)} = \frac{P_f H_{MR-AR} (D_P + D_B)}{1 - P_f} + H_{AR-HA_{MR}} (D_P + D_a) + \max(T_{BA}, T_P^{(NBS)}) \quad (15)$$

T_{BA} 는 HA_{MR} 에서 MR로 향하는 BA 메시지의 도착 지연을 의미 한다.

$$T_{BA} = \frac{P_f H_{MR-AR} (D_P + D_B)}{1 - P_f} + H_{AR-HA_{MR}} (D_P + D_a)$$

$$T_P^{(NBS)} = \tau \left[\frac{P_f H_{MR-AR} (D_P + D_B)}{1 - P_f} + H_{AR-HA_{MR}} (D_P + D_a) \right] \quad (16)$$

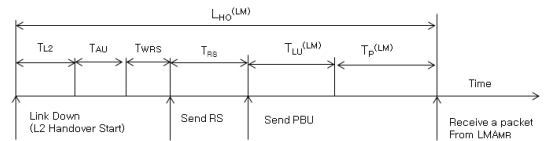


그림 9. Light-NEMO에서 핸드오버 처리 시간 다이어그램
Fig. 9. Handover timing diagram for the Light-NEMO handover procedure

그림9. Light-NEMO에서 Intra 도메인 핸드오버 과정에서 각 단계에서 걸리는 시간을 다이어그램으로 나타낸 것이다. $L_{HO}^{(LM)}$ 는 Light-NEMO 핸드오버 지연중 하나이다. NBS에서 사용되었던 분석 수식과 유사하다. 계산은 다음과 같이 나타낸다.

-도메인내의 경우

$$L_{HO}^{(LM)} = T_{L2} + T_{AU} + T_{WRS} + T_{RS} + T_{LU}^{(LM)} + T_P^{(LM)} \quad (17)$$

T_{RS} 계산은 다음과 같이 나타낸다.

$$T_{RS} = \frac{P_f H_{MR-MAG}(D_P + D_B)}{1 - P_f} \quad (18)$$

제안된 핸드오버 과정에서 MAG 는 MR 을 대신해 핸드오버 등록을 위한 PBU 메시지를 보낸다. LMA_{MR} 은 PBA 메시지와 데이터 패킷을 MR 에게 함께 보낸다. $T_{LU}^{(LM)} + T_P^{(LM)}$ 는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$T_{LU}^{(LM)} + T_P^{(LM)} = H_{MAG-LMA_{MR}}(D_P + D_a) + \max(T_{PBA}, T_P^{(LM)}) \quad (19)$$

T_{PBA} 는 LMA_{MR} 에서 MR 로 향하는 PBA 메시지에 대한 도착 지연이다. T_{PBA} 와 $T_P^{(LM)}$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$T_{PBA} = H_{MAG-LMA_{MR}}(D_P + D_a)$$

$$T_P^{(LM)} = \frac{P_f H_{MR-MAG}(D_P + D_B)}{1 - P_f} + \tau [H_{AR-HA_{MR}}(D_P + D_a)] \quad (20)$$

τ 는 제안된 기술에서 MAG 와 LMA_{MR} 사이의 터널에서만 영향을 준다.

-도메인간의 경우

$$L_{HO}^{(LM)} = T_{L2} + T_{AU_{LMA1-LMA2}} + T_{WRS} + T_{LU}^{(LM)} + T_P^{(LM)} \quad (21)$$

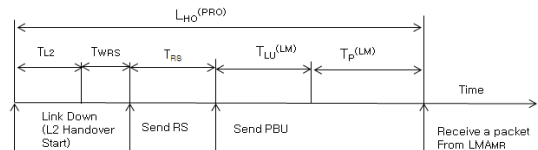


그림 10. Proposed Mechanism에서 핸드오버 처리 시간 다이어그램
Fig. 10. Handover timing diagram for the proposed handover procedure

그림10. 제안된 기법에서 Intra 도메인 핸드오버 과정에서 각 단계에 걸리는 시간을 다이어그램으로 나타낸

것이다. 수식은 다음과 같다.

$$L_{HO}^{(PRO)} = T_{L2} + T_{WRS} + T_{RS} + T_P^{(PRO)} \quad (22)$$

Inter 도메인 수식은 Intra 도메인과 같다.

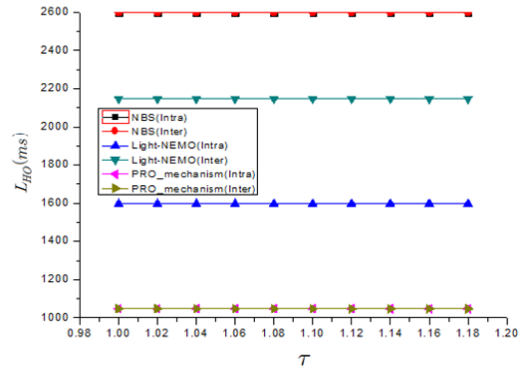


그림 11. τ 에 따른 네트워크 계층의 핸드오버 지연
Fig. 11. Network layer handover latency versus τ

4. 수치적 결과

다음 파라미터는 우리의 실험과정에서 디폴트 값으로 사용하겠다. $H_{MR-AR} = H_{MR-MAG} = 1$, $H_{AR-HA_{MR}} = H_{MAG-LMA_{MR}} = 3$, $H_{LMA1-LMA2} = 5$, $S_{bu} = 72$ bytes, $S_{ba} = 52$ bytes, $S_{pbu} = S_{pba} = 76$ bytes, $S_{hd} = 40$ bytes, $Q_{req} = Q_{res} = 38$ bytes, $\tau = [1.0, 1.5]$, $P_f = [0.1, 0.5]$, $n_t = 5$, $T_{L2} = 45.35$ ms, $T_{AU} = 550$ ms, $T_{AU_{LMA1-LMA2}} = 110$ ms

$MAX_RTR_SOLICITATION_DELAY = RetransTimer = 1000$ ms, $E(S) = 10$, $S_\sigma = [0.01, 10]$, $\lambda_P = 50$ packet/s, $\rho = 0.1$, $d = 1000$ m, $\psi = 2 \times 10^8$ m/s

각 시그널링 비용은 <그림 6>에서 주어진다. N_L 의 값은 P_f 가 0.1 혹은 0.5이 때 1부터 8가지로 가정하겠다. 수치적 결과로 봤을 때 제안한 기법은 위치 업데이트가 두 번 일어나기 때문에 시그널링 비용은 NBS에 비해 두 배가량 높은 것으로 판단된다.

그림7는 각 기술에 대한 패킷 터널링 비용을 나타낸다. 패킷 터널링 비용은 E(S)에 비례한다. 오직 NBS만 P_f 에 영향을 받는다. 제안된 기술은 NBS에 비해 패킷 터널링 비용이 적게 든다는 것을 확인할 수 있다.

그림 11에서는 제안된 기법과 비교 프로토콜과 비교하여 핸드오버 성능을 비교 하였다. 그래프에서 보면 NBS에서 MR은 재전송과 같은 높은 패킷 손실률을 보여 준다.

V. 결 론

이 논문에서는 NEMO를 지원하는 양 도메인 간에 MR이 이동하였을 경우, LMA간의 통신이 아닌 LMA와 MAG간에 통신을 하는 기법을 제안하였다. 기존에 하나의 도메인 내에서 핸드오버를 중점적으로 다루었다면 본 논문은 도메인간의 핸드오버 경우에 지연 및 시그널링 측면에서 성능 향상을 가져오는 것이 핵심이다. 이를 위해서 기존에 널리 알려진 NBS와 NEMO를 지원하는 PMIPv6와 비교를 통해서 제안 기법이 더 좋은 성능을 나타냄을 보여주었다. 앞으로 핸드오버에 대한 지연시간을 줄이 수 있도록 제안하는 방법을 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] D.Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, Mobility Support in IPv6 RFC 3775, Jun. 2004
 [2] V.Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P.Thubert, Network Mobility(NEMO) Basic Support Protocol RFC 3963, Jan. 2005
 [3] J.-H. Lee, Y.-H. Han, S. Gundavelli, and T.-M. Chung, "A comparative performance analysis on hierarchical mobile IPv6 and proxy mobile IPv6,

"Telecommun. Syst., vol. 41, no. 4,pp.279-292, Aug. 2009
 [4] J.-H. Lee, T. Ernst, and T.-M Chung, "Cost analysis of IP mobility management protocols for consumer mobile devices," IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 56, no. 2, pp.1010-1017, May 2010.
 [5] J.-H. Lee, T. Ernst, and T.-M Chung, "Lightweight NEMO within PMIPv6 for transportation systems" IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 5, no. 3, pp.101-112, May 2010.
 [6] S.Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil, Proxy Mobile IPv6 RFC 5213, Aug. 2008
 [7] H.-J. Lim, M. Kim, J.-H. Lee, and T.-M. Chung, "Route optimization in nested NEMO: Classification, evaluation and analysis from NEMO fringe stub perspective," IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 8, no. 11, pp. 1544-1572, Nov. 2009.
 [8] A. Muhanna, M. Khalil, S. Gundavelli, K. Chowdhury, and P. Yegani, Binding Revocation for IPv6 Mobility RFC 5846, Jun. 2010.
 [9] H. Kim and J.-H. Lee, "Diffie-Hellman key based authentication in proxy mobile IPv6," Mobile inf. Syst., vol. 6, no. 1, pp. 107-121, Apr. 2010
 [10] S. Thomson, T. Narten, and T. Jinmei, IPv6 Stateless Address Auto-configuration RFC 4862, Sep. 200

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0027030) 교신저자 : 정종필

저자 소개

이 윤 수(준회원)



• 2010: 한국항공대학교 컴퓨터공학부 (공학사)
 • 2011: 성균관대학교 정보통신대학원 (석사과정)
 <주관심분야 : Network Mobility, Network Security>

정 종 필(정회원)



• 1997: 성균관대학교(공학사)
 • 2003: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학석사)
 • 2008: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학박사)
 <주관심분야 : Mobility Management, Proxy Mobile IPv6, IEEE 802.16e, Seamless Handover, IPTV, NGN, Home Networking, IMS, Network Security>