

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.5.121>

JIIBC 2013-5-15

프록시 모바일 IPv6 네트워크에서 안전한 스마트 이동성에 기반한 빠른 핸드오버 기법의 성능분석

Performance Analysis of Fast Handover Scheme Based on Secure Smart Mobility in PMIPv6 Networks

윤경원*, 정종필**

KyoungWon Yoon, Jongpil Jeong

요약 차세대 무선 네트워크에서의 무결점 전송 서비스는 이동단말(MN, Mobile Node)에게 광범위한 로밍을 효율적으로 제공하는 이동성관리가 매우 중요하게 되었다. MIPv6(Mobility IPv6)는 IETF(The Internet Engineering Task Force)에 의해 제안된 이동성관리 기법들 중 하나이고, IPv6기반에서 이동성관리 기법들은 다양한 형태로 발전되어왔다. F-PMIPv6(Fast Handover for Proxy MIPv6)는 PMIPv6(Proxy MIPv6)의 시스템 성능을 개선하기 위해 제안되었다. 그러나 F-PMIPv6은 항상 PMIPv6보다 더 뛰어날 수 없다. 그러므로 이동성 관리 기법을 이용하여 시스템의 용량과 확장성 향상의 가능성을 위해 PMIPv6과 F-PMIPv6중에 알맞은 프로토콜을 선택을 하는 것이 중요하다. 이 논문에서 PMIPv6과 F-PMIPv6의 적용범위를 분석하는 분석적인 모델을 개발한다. 이 모델을 기반으로 변화하는 이동성과 서비스 특성에 따른 사용자를 위해 MIPv6과 F-PMIPv6 사이에서 더 좋은 대안을 선택하는 안전한 스마트 이동성 지원(SSM) 기법을 설계 한다. F-PMIPv6을 적용했을 때, SSM는 가장 좋은 이동성 앵커 포인트와 시스템 성능의 최적화를 위한 지역적인 크기 선택을 한다. 수치화한 결과는 PMIPv6와 F-PMIPv6에 적용 가능한 몇 가지 키 파라미터의 영향을 설명한다. SSM는 PMIPv6와 F-PMIPv6보다 더 나은 결과를 입증시켰다.

Abstract Defect-free transfer service on the Next-generation wireless network extensive roaming mobile node (MN) to provide efficient mobility management has become very important. MIPv6(Mobility IPv6) is one of mobility management scheme proposed by IETF(Internet Engineering Task Force), and IPv6-based mobility management techniques have been developed in various forms. One of each management techniques, IPv6-based mobility management techniques for PMIPv6 (MIPv6) system to improve the performance of a variety of F-PMIPv6 (Fast Handover for Proxy MIPv6) is proposed. However, the F-PMIPv6 is cannot be excellent than PMIPv6 in all scenarios. Therefore, to select a proper mobility management scheme between PMIPv6 and F-PMIPv6 becomes an interesting issue, for its potentials in enhancing the capacity and scalability of the system. In this paper, we develop an analytical model to analyze the applicability of PMIPv6 and F-PMIPv6. Based on this model, we design an Secure Smart Mobility Support(SSM) scheme that selects the better alternative between PMIPv6 and F-PMIPv6 for a user according to its changing mobility and service characteristics. When F-PMIPv6 is adopted, SSM chooses the best mobility anchor point and regional size to optimize the system performance. Numerical results illustrate the impact of some key parameters on the applicability of PMIPv6 and F-PMIPv6. Finally, SSM has proven even better result than PMIPv6 and F-PMIPv6.

Key Words : Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6), Fast Handover for PMIPv6, Secure Smart Mobility (SSM)

*준회원, 성균관대학교 정보통신대학원(석사과정)

**정회원, 성균관대학교 정보통신대학(교신저자)

접수일자 : 2013년 9월 27일, 수정완료 : 2013년 10월 10일

게재확정일자 : 2013년 10월 11일

Received: 27 September, 2013 / Revised: 10 October, 2013 /

Accepted: 11 October, 2013

**Corresponding Author: jjjeong@skku.edu

College of Information and Communication Engineering,
Sungkyunkwan University, Korea

I. 서 론

Mobile IPv6[1]는 이동성관리를 지원하는 표준 프로토콜이다. 비록 핸드오버의 성능개선을 위하여 HMIPv6 [2] 나 FMIPv6[3] 과 같은 확장 기술이 나타나 표준화 되었지만, 이들의 핸드오버 지연 시간은 실시간 통신에서 만족스러운 결과를 제공하지 못한다. 또한 이러한 프로토콜은 MN(Mobile Node)상의 프로토콜 스택에 이동성관리를 위한 추가적인 지원이 필요하다. 따라서, IETF(The Internet Engineering Task Force)는 MIPv6의 이러한 문제를 해결하기 위한 PMIPv6 [4] 를 발표하였다.

MIPv6과 확장기술인 FMIPv6과 HMIPv6을 비교하면 PMIPv6는 핸드오버 지연시간을 줄여주었고 MN의 IP 이동성 신호와 관련한 참여를 요구하지 않았다. 또한 PMIPv6는 MN이 PMIPv6의 도메인에 여러 인터페이스를 통해 동시에 접속하고 이기중 간 핸드오버를 지원할 수 있도록 하였다. 그러나 PMIPv6의 핸드오버 지연 시간이 MIPv6와 이의 확장기술들보다는 줄어들었지만, Voice IP와 같은 실시간 통신에서의 요구조건에는 미치지 못한다. 게다가, 수직의 핸드오버 과정 중에 핸드오버 인터럽트 시간이 수평의 핸드오버 시간보다 더 길다. 이것은 MN의 새로운 인터페이스가 패킷을 받기 전에 DAD(Duplicate Address Detection)과정이 수행되어야 하기 때문이다. 따라서 최근 IETF MIPSHOP 워킹 그룹은 Fast Handover for PMIPv6(F-PMIPv6) [5]을 제안하여 PMIPv6에서의 핸드오버 성능을 개선시키고자 하였다.

PMIPv6는 단말에 MIPv6 기능이 구현되어 있지 않더라도 기존에 설정되어 있는 연결이 계속 유지될 수 있도록 해준다. 즉, 망에서 노드의 이동성을 관리하기 위한 네트워크 기반의 이동성 관리 기법이다. 그리고 PMIPv6는 다중 인터페이스를 지원한다. MAG(Mobile Access Gateway)들이 서로 다른 인터페이스를 가지고 있을 경우 핸드오버 고려가 필요하다. 그리고 PMIPv6는 항상 LMA(Local Mobility Anchor)를 거쳐야 한다. CN(Corresponding Node)과 MN(Mobile Node)가 동일한 지역에 있을 경우 패킷은 비효율적으로 LMA를 거쳐야 한다. 따라서 RO(Route Optimization)가 필요하다. RO를 적용할 경우 LMA의 병목현상을 해결할 수 있다. PMIPv6는 네트워크 기반이기 때문에 단말 만이 어느 인터페이스인지 알 수 있다. 즉, MAG와 추가적인 시그널링 절차가 필요하다. MN이 새로운 인터페이스를 통하여

접속하는 경우 MN이 핸드오버를 수행하기 위한 것인지, 멀티호밍을 위한 것인지 PMIPv6 도메인에서 알 수 없다. PMIPv6 도메인에서 MN이 많을 경우 LMA에게로 패킷이 집중되는 병목현상이 발생한다. 따라서 추가로 LMA를 두어 LMA간에 리다이렉션 기능을 제공하면 로드밸런싱과 망의 안정성 향상에 도움이 된다. 따라서 LMA가 리다이렉션을 위한 프로토콜 제정이 필요하다.

위의 문제를 해결하기 위해 SSM이라는 기법을 제안하고 이 기법은 두 가지 문제를 해결한다. 첫 번째는 이동성 변화와 서비스 특성에 따라 사용자의 PMIPv6와 F-PMIPv6 사이에 더 나은 대안을 선택한다. 두 번째는 F-PMIPv6를 선택하였을 때, SSM은 시스템 성능을 최적화하는 최선의 이동성 앵커 지점 및 지역 크기를 선택한다. 그리고 PMIPv6와 F-PMIPv6의 적용을 분석하고, 이를 통해 SSM은 두 프로토콜 중 더 나은 프로토콜을 선택한다. 본 논문은 두 가지 기능으로 참조분석 모델을 제안한다. 첫 번째는 인터넷 아키텍처를 MIP 네트워크로 모델링한다. 셀룰러 아키텍처를 기반으로 한 MIP 네트워크는 PCS에서 사용되어 진다. PCS와 인터넷 사이에 큰 차이점은 인터넷은 공간 지향적인 반면 PCS는 지역 중심적이다. 지역 중심적 네트워크에서 두 종단 사이의 거리는 그들의 물리적 공간에 의해 측정된다. 따라서 인터넷 아키텍처는 추상적 MIP 네트워크에 적합하다. 두 번째로 제안된 분석 모델은 등록과 패킷 전송 성능을 모두 고려한다. 한편, 다른 기존의 논문들은 크게 이동성 관리 제도의 등록 실적에 따라 통계로 지연 핸드오버를 선호한다. 그러나 패킷 전송 성능은 모바일 네트워크에서 지연에 민감한 서비스에 더 중요한 통계로 나타난다. 따라서 분석 연구에서 등록 과 패킷 전송 성능 모두를 고려하는 것이 중요하다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장은 PMIPv6와 F-PMIPv6의 핸드오버 기법에 관해 연구한다. 3장은 SSM 방식을 제안하고 보안 인증 절차를 설명한다. 4장에서는 수치와 분석결과를 정리하였고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 정리하였다.

II. 관련 연구

1. PMIPv6의 핸드오버

기존의 호스트 기반의 이동성 프로토콜에 있어서의

문제점들을 해결하기 위해 IETF NETLMM WG에서는 네트워크 기반 이동성 프로토콜인 Proxy Mobile IPv6가 제안되었다. PMIPv6의 특징은 이동 단말이 핸드오버 할 때 어떠한 IPv6 이동성 프로토콜에 관련된 시그널들에 관여하지 않고 네트워크에서 대신 처리한다는 것이다. 기존의 MIPv6에서 이동단말이 핸드오버 시 직접 자신의 위치를 등록할 필요가 있었는데 PMIPv6에서는 IPv6 스택만 가지고서 이동해도 인터넷 응용 서비스들을 받을 수 있게 되었다. 그림 1은 PMIPv6의 핸드오버 시 시그널링 절차를 보여준다. PMIPv6에서는 MAG에 MN을 대신 하여 이동성 관리를 해주는 MAG와 임의의 도메인 네트워크를 관리하는 LMA가 새롭게 요구된다.

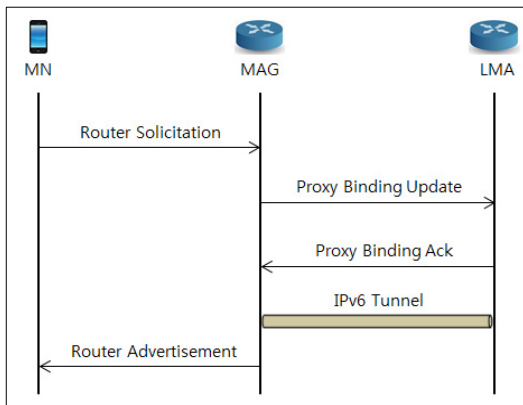


그림 1. PMIPv6의 핸드오버
Fig. 1. Handover of PMIPv6

MN이 새로운 MAG(New MAG : NMAG)로 이동하면 L2핸드오버 과정에서 자신의 MAC정보를 NMAG에 보내게 되고 이것을 AAA 인증 서버로 보냄으로서 이동노드에 대한 인증과정을 거치게 된다. 인증과정이 끝남으로서 MAG는 MN의 핸드오버에서 네트워크에 필요한 MN의 프로파일을 얻게 된다. 이후 MAG는 주기적으로 RA(Router Advertisement) 메시지를 MN에게 전송한다. MN이 현재 접속한 링크를 해당 단말의 홈네트워크로 만들기 위해서 RA 메시지에는 각 단말의 홈네트워크 프리픽스가 함께 들어간다. MAG에서는 이동 노드의 위치정보 등록을 위하여 Proxy Binding Update(PBU)메시지를 LMA에게 전달한다. PBU 메시지에는 이동노드의 ID, 이동노드에게 할당된 홈네트워크 프리픽스가 포함된다. 이 메시지를 통해 LMA는 자신의 바인딩 캐시 엔트리 안에 MN의 ID에 대한 정보들이 있는지 확인하고 없으면 MN

에 대한 정보를 새로 생성한다. 그 다음 LMA와 NMAG 간에 터널을 설정하고 MAG로 Proxy Binding Acknowledgement (PBAck) 메시지를 전송한다. 터널이 설정된 이후 CN으로부터 단말의 HoA로 전송되어지는 패킷은 LMA를 거쳐 MN에게 전달되어 진다. 하지만 AAA 서버의 위치와 이동단말이 현재 MAG망에서 새로운 MAG망으로 이동 시 지속적인 네트워크에서의 핸드오버로 인한 지연시간 발생은 패킷 손실과 네트워크 부하에 영향을 줄 수 있다.

2. F-PMIPv6의 핸드오버

PMIPv6에서의 MAG와 LMA간 핸드오버 처리 지연으로 인한 패킷 손실을 줄여주기 위하여 F-PMIPv6가 제안되었다. 이 방법은 기존의 FPMIPv6와 마찬가지로 이동 단말이 새로운 네트워크로 이동하기 전의 MAG (Previous MAG : PMAG)와 이동할 곳의 NMAG 사이에 터널을 설정하여 MN이 핸드오버 절차 중에 터널링 함으로서 패킷 손실을 줄이고자 제안되었다.

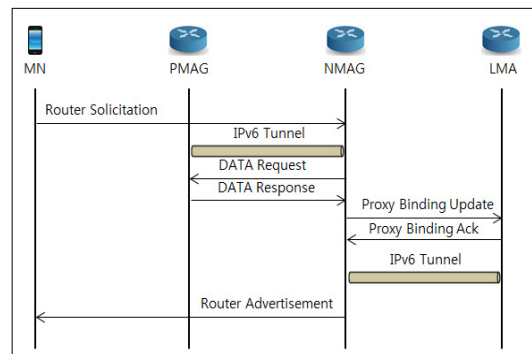


그림 2. F-PMIPv6의 핸드오버
Fig. 2. Handover of F-PMIPv6

그림2는 F-PMIPv6 기법의 핸드오버 절차를 보여주고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 터널링을 이용하여 링크가 단절되어 있는 동안 패킷을 PMAG - NMAG 간의 터널을 통하여 패킷을 계속적으로 손실없이 전송해 줄 수 있다. 하지만 이 방법은 LMA로의 BU 전송 없이 MAG 간에 터널링을 위한 시그널링만을 교환하기 때문에 지속적인 MN의 이동은 지속적인 망의 복잡성을 야기하게 된다. 또한 Routing Optimization (RO)를 위하여 MAG에서 LMA로 BU 전송을 해주게 되면 패킷의 순서 어긋남 현상을 야기시킬 수 있다.

3. 보안 인증 절차

보안 인증 절차의 주요 작업은 초기 등록 단계 및 인증 단계이다. 지역화된 이동성 도메인에 가입하려면 MN은 AAA 서버에 등록하고, 다음 MAG을 통해 인터넷에 접근할 수 있는 인증 절차를 수행한다.

가. 표기법

sv 는 AAA서버의 비밀 값을 나타낸다. ID_{MN} 는 MN의 공공ID를 나타낸다. ID_{AR} 은 MAG의 공공 ID를 나타낸다. $E_K(M)$ 은 대칭적인 암호방식으로 키 K 를 사용하여 나타낸 암호화된 메시지 M 을 나타낸다. $h()$ 는 공인 단방향 해쉬함수를 나타낸다. r_i 는 임의의 수를 나타낸다. PSK는 MAG과 AAA서버 사이에 공유된 보안 대칭 키를 나타낸다. \oplus 는 XOR 연산자를 나타낸다. 그리고 \parallel 는 문자열의 결합을 나타낸다.

나. 초기 등록 단계

MN은 지역화 이동성 도메인에 가입할 수 있기 전에 보안 채널을 통해 실행되는 초기 등록 절차를 수행해야 한다. 이 논문에서 다이어미터 프로토콜에 기반을 둔 MN과 AAA 서버 사이의 보안 채널이 있다고 가정한다. 이 시스템은 MN과 AAA사이에서 채널을 암호화하지 않는다면 Diffie-Hellman 방식을 수행할 수 있다. 그 절차의 단계는 다음과 같다.

1단계 : MN \rightarrow AAA : MN은 AAA서버로 공인 ID를 선택하여 보낸다. (ID_{MN} 은 지역화된 이동성 도메인에 유일하다.)

2단계 : MN의 인증을 받은 후 AAA서버는 다음과 같이 값(x, y, z, k 등)을 계산한다.

$$x = h(ID_{MN} \parallel sv) \quad (1)$$

$$y = h(sv) \quad (2)$$

$$z = h(ID_{AAA} \parallel sv) \quad (3)$$

$$k = E_{PSK}(ID_{AAA} \parallel sv) \quad (4)$$

3단계 : AAA \rightarrow MN : AAA는 ID_{AAA} 를 보낸다.

$x, y, z, k, h()$ 로 그리고 MN은 그 변조 방지 장치에 파라미터를 저장한다. 이 절차에 따라 AAA 서버와 MAG은 MN의 해지 목록을 유지해야 한다. 그들은 MN의 사용자 비밀번호 등의 인증 정보를 저장할 필요가 없다. 이러한 방법으로, stolen-verifier 공격을 방지할 수 있다. 이 sv

와 같은 AAA 서버의 비밀키를 알 수 없기 때문에 공인된 MN은 $ID_{AAA}, x, y, z, k, h()$ 와 같은 파라미터를 얻을 때 유효한 사용자를 만들 수 없다.

다. 인증 단계

MN은 지역화된 이동성 도메인에 가입하거나 다른 MAG에 연결되면 각 MAG과 인증 절차를 수행한다. 인증 프로세스는 인증 대기 시간을 줄이기 위해 AAA서버를 관련하지 않고 로컬 MAG에 의해 완료된다. 이 인증 단계는 F-PMIPv6 동안 수행된다. 절차의 단계는 다음과 같다.

1단계 : MN은 난수 r_1 을 생성한다. x 와 y 가 초기 등록 절차로부터 얻을 때, $h(y \parallel r_1) \oplus ID_{MN}$ 와 같은 일명 AID_{MN} 을 계산하고, $h(x \parallel r_1)$ 과 같은 인증벡터를 생성한다. MN 포맷은 z 가 초기 등록 절차로부터 얻을 때 $AID_{MN}, k, E_z(f \parallel r_1)$ 과 같은 인증 요청이다. 엘리어스가 임의의 수 r_1 을 기반으로 하기 때문에 MN은 항상 인증을 위한 다른 엘리어스를 사용한다.

2단계 : MN \rightarrow MAG : MN은 MAG로 $AID_{MN}, k, E_z(f \parallel r_1)$ 과 같은 인증 요청을 보낸다.

3단계 : MAG은 MN을 확인한다. : 인증 요청 영수증에 $AID_{MN}, k, E_z(f \parallel r_1)$ 는 암호해독 k 의 AAA 서버와 ID_{AAA} 와 sv 를 얻을 사전에 공유하는 대칭 키를 사용한다. 그러나 이러한 요청 k 의 잘못된 값이기 때문에 인증요청이 수정되었다면 PSK는 k 를 복호화 할 수 없다. 그 다음 MAG은 ID_{AAA} 와 sv 해싱에 의한 z 의 값을 계산한다. 이후 f 와 r_1 을 얻기 위하여 $E_z(f \parallel r_1)$ 을 복호화 한다. 그것은 $AID_{MN} \oplus h(y \parallel r_1)$ 와 같은 MN의 원래의 인증 y 의 값과 $h(ID_{MN} \parallel sv)$ 와 같은 x 의 값을 계산한다. 그런 다음, 이 인증벡터 f 의 값을 확인할 수 있다. 만약 $h(x \parallel r_1)$ 로 계산되어진 f 의 값이 복호화된 $E_z(f \parallel r_1)$ 의 값과 같다면 MN은 유효하다. MAG은 그 때 임의의 수 r_2 를 생성하고, $h(r_2 \parallel ID_{AR})$ 을 계산하고, 그리고 $h(r_1 \parallel r_2)$ 와 같은 세션 키 sk 를 생성한다. 만약 MN이 유효하지 않다면 MAG은 인증요청을 거부할 것이다. 따라서 상대방이 특정 기간 동안 메시지 수를 가로챌 수 있는 경우에도 그는 MN의 실제 ID를 얻을 수 없다. 그러나 MAG과 AAA서버는 모두 인증 목적을 위한

MN의 실제 ID를 계산할 수 있다.

4단계 : $MAG \rightarrow MN$: MAG은 MN으로 인증 응답 메시지를 보낸다.

5단계 : MN은 MAG이 진짜인지 여부를 확인한다. : 인증 응답 메시지를 받은 후 MN은 r_1 과 r_2 를 얻기 위해 z 를 사용하여 암호화된 메시지를 복호화하고 r_1 의 값을 체크하여 MAG의 적합성을 확인한다. 그런 다음 $h(r_2 || ID_{AR})$ 의 값을 체크하고 세션 키 sk 를 생성하기 위해 임의의 수 r_2 를 사용한다.

6단계 : MN은 MAG로 암호화된 메시지를 보낸다.

7단계 : MAG은 암호화된 메시지를 복호화하기 위해 세션 키 sk 를 사용하고 세션 재사용 공격 실행으로부터 효율 없는 MN을 방지하기 위해 임의의 수 r_2 를 확인한다.

III. 제안 기법

1. SSM 기법

3절에서는 SSM(Secure Smart Mobility)이라는 방식을 제안한다. SSM은 두 가지 이슈를 해결한다. 첫 번째로, 변화되는 이동성과 서비스 특징에 따라 사용자를 위한 PMIPv6와 F-PMIPv6 사이의 더 나은 대안을 선택한다. 두 번째로, F-PMIPv6이 채택될 때 SSM은 최적의 LMA와 시스템 성능을 좋게 만들기 위한 지역 크기를 선택한다. SSM의 구조는 그림 3에서 보여준다. LMA와 MAG 그리고 인증을 담당하는 AAA서버, MN으로 이루어져 있다. LMA와 MAG간에는 Proxy CoA를 이용하여 양방향 터널로 연결되어 있다. SSM은 하나의 MAG가 반드시 하나의 LMA에 속해 있을 필요가 없다.

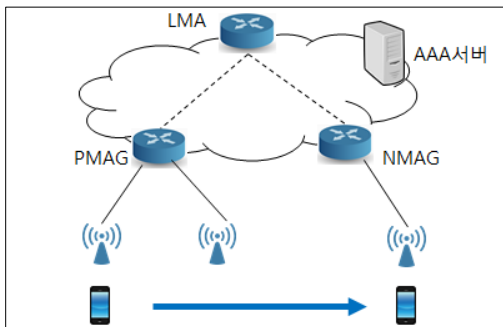


그림 3. SSM의 구조
Fig. 3. Structure of SSM

SSM은 MN의 추가적인 기능 수정 없이 한정된 도메인 내에서의 이동성을 지원하는 프로토콜이다. 그림 4에서의 SSM의 동작은 다음과 같다. 해당 도메인 내에서 이동하는 MN은 MN-ID를 이용하여 구별하게 되고, MN이 도메인 내에서 작동하게 되면 접속 인증을 하고 인증이 완료되면 MN은 HNP (Home Network Prefix)를 받는다.

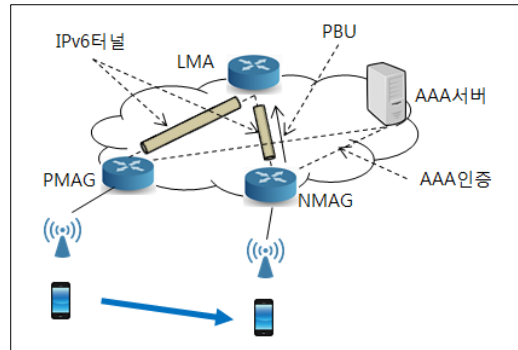


그림 4. SSM의 동작
Fig. 4. Operating of SSM

네트워크는 MN의 HNP를 항상 동일하게 유지시켜 MN이 도메인 내에 어디로 이동을 하더라도 하나의 Layer 3 안에 있는 것처럼 작동하게 하여 이동성을 지원한다.

LMA는 도메인에서 MN에 대한 일종의 홈 에이전트 역할을 한다. 도메인 내부에서 보통 게이트웨이 위치에 있으며 HNP를 할당하여 MN에 보내주는 역할을 한다. LMA는 자신이 관리하는 도메인 내부의 모든 단말들의 주소와 위치정보를 유지하여 연결을 보장한다. 도메인 외부에서 내부의 모바일 노드에 보내지는 패킷은 모두 LMA가 받도록 설계되며, 이것은 MAG와의 터널링을 통하여 MN에게 보내지게 된다. 반대로 도메인 내부에서 외부로 보내지는 패킷들은 MAG에서 터널링하여 LMA로 보내지며 LMA가 외부로 보내게 된다.

MAG는 MN이 직접적으로 접속하는 첫 번째 홉이 되며, MN을 대신하여 이동성 지원 시그널링을 수행한다. 또한 MAG는 MN의 네트워크에 대한 연결기능과 라우팅 기능을 담당한다. MN이 해당 MAG에 접속을 하면 MAG는 프록시하여 MN을 대신해서 MN의 정보를 이용하여 LMA와의 연결설정을 하고, LMA에서 온 패킷을 대신 받아 MN에게 전달한다. 정책 프로파일은 해당 MN을 서비스할 LMA의 주소와 주소설정 방법, MN의 HNP

정보, 서비스 정책 등과 같은 정보를 포함한다. 이것을 이용하여 MAG와 LMA는 MN에게 할당된 HNP정보를 알 수 있으며, 해당 MN의 인증을 할 수 있다.

SSM은 네트워크와 MN에 관련된 요소 모두를 고려한다. 지금까지의 네트워크 요소를 걱정하는 중요한 하나는 4장 성능분석 수식 29에서 A, B 그리고 δ 의 값에 영향을 미치는 LMA에 반영된다. 동적 LMA 발견은 특정 라우터 인터페이스를 통한 LMA에서 MN으로 전파할 라우터 광고의 LMA 옵션이 필요하다. LMA 옵션은 LMA에 부하를 반영하는데 사용되는 0에서 15까지의 *preferences*라고 하는 필드가 포함된다. 다른 중요한 네트워크 요소는 LMA와 도달 가능한 MAG 사이의 평균거리($l_{LMA \rightarrow MAG}$)이다. 참고로 $l_{LMA \rightarrow MAG}$ 는 LMA에서 수동으로 구성될 수 있고 그리고 MN에 제공하는 확장LMA 옵션에 포함될 수 있다. MN또는 LMA는 패킷이나 신호 전달을 하는 홉의 수를 얻기 위해 IP 헤더에 있는 TTL 필드를 사용할 수 있다. 그 다음 평균값은 C_T 를 계산하는데 사용할 수 있다. MN에 관련된 요소 중 가장 중요한 하나는 MAG에서 MN이 남아있는 평균 시간(T)과 평균 패킷 도착 비율(α)가 고려된다. 이러한 파라미터들은 정기적으로 통계 분석을 사용하여 각 MN에 의해 수집할 수 있다.

MN이 이동할 때 지역 크기를 K 라고 할 때, K 가 증가하는 경우 더 많은 평균 패킷 전송 비용이 발생하는 동안 F-PMIPv6은 평균등록을 더 많이 얻을 수 있다. 하지만 LMA의 병목현상 때문에 K 를 무한정 늘릴 수는 없다. LMA의 총 평균 패킷 처리 지연은 $\alpha \cdot (A\omega K + BlgK + \delta)$ 에 의해 발생되며 그 부하에 따라 달라진다[12]. 따라서 총 비용 C_T 를 최소화한 적절한 K 는 K_{opt} 로 나타내고 PMIPv6와 대조하여 F-PMIPv6의 전반적인 성능을 최적화한다.

$$\begin{aligned} \min C_i(K) \\ \text{s.t. } \alpha \cdot (A\omega K + BlgK + \delta) < \psi \\ K \in Z^+ \end{aligned} \quad (5)$$

ψ 는 LMA의 총 패킷 처리 지연을 제한한 상수이다.

[정의 1]: $C_{FPMIPv6}$ 라고 불리는 F-PMIPv6의 비용 함수는 평균 등록과 패킷 전달 지연의 관점에서 F-PMIPv6의 절대적인 성능을 나타낸다.

$$C_{FPMIPv6} = n_1 \cdot \frac{(m-1)D_{intra} + D_{inter}}{mT} + n_2 \cdot T_{PH} \quad (6)$$

[정리 1] $\alpha \cdot (A\omega K + BlgK + \delta) < \psi$ 의 제약으로 C_T 의 최소화 또한 $C_{FPMIPv6}$ 의 최소화로 K_{opt} 의 값은 F-PMIPv6이 상대적 성능뿐만 아니라 절대적 성능도 달성 할 수 있다.

$C_{FPMIPv6} = C_T + n_1 \cdot D + n_2 \cdot T_{PM}$ 이다. $n_1 \cdot D + n_2 \cdot T_{PM}$ 이 K 에 독립적이기 때문에 $C_{FPMIPv6}$ 는 $n_1 \cdot D + n_2 \cdot T_{PM}$ 의 간격으로 Y축으로 C_T 만큼 이동하는 것을 볼 수 있다. 그 결과 C_T 를 최소화하고 또한 $C_{FPMIPv6}$ 를 최소화하는 K 의 값은 $\alpha \cdot (A\omega K + BlgK + \delta) < \psi$ 의 제약 사항이다. 따라서 F-PMIPv6은 상대적 성능뿐만 아니라 절대적 성능도 달성 한다. 수식 5가 너무 계산 실용적으로 복잡해서 그것을 단순화 할 필요가 있다. K 가 임의적으로 클 수 없기 때문에 MN이 이동할 수 있는 MAG의 최대 수와 같은 최대값은 N 이라고 가정한다. K 가 증가함에 따라 다음 세 가지 경우가 발생한다.

case 1 : C_T 의 미분함수인 C_T' 가 C_T 에서 첫 번째로 파생되었던 곳에서 $C_T'(N) > 0$ 일 경우 $C_T(K)$ 는 감소하지 않고 증가한다. 이 경우에서 $C_T(1)$ 이 최소이다.
case 2 : $C_T'(K) < 0$ 일 때 $C_T(K)$ 는 증가하지 않고 감소한다. 이 경우 $C_T(K_{max})$ 가 최소 이다.

($K_{max} = \max K \in Z^+ : \alpha \cdot (A\omega K + BlgK + \delta) < \psi$)
case 3 : $C_T(K)$ 가 첫 번째 증가와 감소는 $C_T'(K)$ 일 경우 0 이상에서 0 이하로 변경된다. $K' = K : \min(C_T(K=1), C_T(K=K_{max}))$ 인 곳에서 이 경우 $C_T(K')$ 가 최소이다. 위의 분석은 다음과 같이 K_{opt} 에 대한 솔루션을 단순화한다.

$$K_{opt} = \begin{cases} 1 & C_T'(N) > 0 \\ K : \min(C_T(K=1), C_T(K=K_{max})) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

분명히 K_{opt} 는 F-PMIPv6의 성능을 최적화할 수 있다. 그러나 $C_T(K_{opt}) > 0$ 는 F-PMIPv6의 최적화 된

성능이 여전히 PMIPv6보다 좋지 않다는 것을 의미한다. 따라서 $C_T(K_{opt}) > 0$ 일 경우 PMIPv6는 최적의 대안이다. 그렇지 않으면 LMA는 많은 MAG가 있을 때, F-PMIPv6가 더 알맞다. $C_{FPMIPv6}$ 는 F-PMIPv6의 절대적 성능을 나타내고 K_{opt} 는 C_T 를 최소화하고 $C_{FPMIPv6}$ 또한 최소화하기 때문에 $C_T(K_{opt})$ 최소화와 함께 LMA는 최적의 지역 이동성 관리 엔티티로 지정되어야 하며 K_{opt} 는 최적의 지역 크기여야 한다.

SSM 기법은 PMIPv6와 F-PMIPv6 중 알맞은 선택을 하기 위해 C_T 의 값에 영향을 미친다. C_T 값에 대한 파라미터 값은 각 MN에 의해 수집할 수 있으며 MAG는 각 파라미터 값을 AAA서버로 전송을 한다. AAA서버는 AAA인증의 역할과 동시에 C_T 에 대한 값을 계산하고 알맞은 프로토콜을 선택할 수 있도록 하는 서버의 역할을 수행한다. MAG는 주기적으로 MN 과 LMA에 대한 등록 지연 및 패킷 전송 지연에 대한 파라미터 값을 AAA서버로 전달한다. AAA서버는 해당 파라미터 값으로 C_T 를 계산하고 자신의 데이터베이스 테이블에 C_T 의 값을 저장한다. MN이 핸드오버를 할 때 MAG는 AAA서버로 C_T 의 값을 요청하고 AAA서버는 C_T 의 값이 0보다 클 경우에는 $SSM = PMIPv6$ 데이터를 전송하고 0보다 작을 경우에는 $SSM = FPMIPv6$ 데이터를 전송한다.

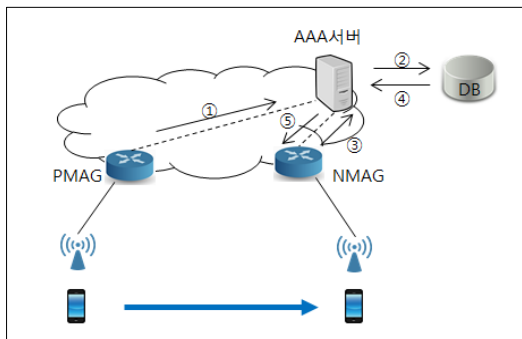


그림 5. AAA서버에서 C_T 관리 동작
Fig. 5. C_T Management Operating in AAA Server

그림 5에서 AAA서버에서 C_T 의 관리 동작 방식을 나타내고 각 과정에 방식은 다음과 같다.

- ① MAG에서 AAA서버로 주기적으로 파라미터 값을

전송한다.

- ② AAA서버에서 자신의 데이터베이스 테이블에 각 파라미터 값을 계산하여 저장한다.
- ③ MN이 핸드오버 할 경우 MAG는 AAA서버로 C_T 의 값에 의한 SSM값을 요청한다.
- ④ AAA서버는 자신의 데이터베이스를 참조하여 MN에 대한 SSM값을 확인한다.
- ⑤ AAA서버에서 계산된 SSM값을 MAG로 전달한다.

AAA서버로부터 PMIPv6값을 받게 되면 MAG는 PMIPv6로 동작하게 되고 FPMIPv6 값을 받게 되면 MAG는 PMAG에 MN의 데이터를 요청하게 되고 F-PMIPv6로 동작하게 된다.

위 과정을 통하여 SSM 기법이 동작하게 되며 핸드오버 과정에서 PMIPv6와 F-PMIPv6 중 알맞은 프로토콜을 선택하게 된다.

IV. 성능 평가

1. PMIPv6와 F-PMIPv6의 비용 분석

등록 성능을 비교하고 다음과 같은 정의를 한다.

평균 등록 이익 D_R 은 PMIPv6 대신 F-PMIPv6 사용을 통해 저장된 평균 등록 시간으로 정의된다.

D_R 이 양수일 경우 PMIPv6의 평균 등록 지연은 F-PMIPv6보다 짧은 것을 의미한다. 핸드오버 지연 시간에 영향을 주지 않기 때문에 MN은 CN 또는 LMA 분석에서 자신의 바인딩 기록을 리플레시하여 전송하는 정기적인 바인딩 업데이트를 고려하지 않는다. 이 하위 섹션의 주요 기호는 표 1에 표시된다.

D_R 계산에서 업링크와 다운링크의 신호 전달 지연은 단순성에 대해 동일하다고 가정한다. PMIPv6에 등록은 홈 등록을 포함하고 있다. 그러나 F-PMIPv6에서는 MN은 다른 지역으로 로밍할 때의 홈 등록 뿐만 아니라 지역 내에서 로밍할 때의 지역 등록을 포함한다.

그런 이유로 D_{RM} , D_{intra} , D_{inter} 는 수식 8-10으로 계산될 수 있다.

$$D_{RM} = \frac{MinInt + MaxInt}{2} + 2D_{MAG} + 2D_{LMA1 \rightarrow MAG} + D_{LMA2} + \ln(D_{LMA1} + 2D_{LMA2 \rightarrow LMA1} + D_{LMA1}) \quad (8)$$

$$D_{intra} = \frac{MinInt + MaxInt}{2} \quad (9)$$

$$+ 2D_{MAG} + 2D_{LMA1} + 2D_{LMA1 \rightarrow MAG}$$

$$D_{inter} = D_{intra} + D_{LMA1} + D_{LMA2} + 2D_{LMA2 \rightarrow LMA1} \quad (10)$$

$$D_R = \frac{(D_{FPT} - D_{PT})}{mT} \quad (13)$$

$$= \frac{((m-1)D_{intra} + D_{inter} - mD_{RM})}{mT}$$

표 1. 등록 성능 분석을 위한 주요기호

Table 1. Main symbols in registration performance

기호	정의
D_{RM}	PMIPv6의 평균 등록 지연
D_{LMA1}	핸드오버 전의 LMA를 통한 전송 등록 신호의 평균 지연
D_{LMA2}	핸드오버 이후의 LMA를 통한 전송 등록 신호의 평균 지연
D_{MAG}	MAG를 통한 전송 등록 신호의 평균 지연
D_{intra}	intra-LMA 핸드오버 동안 F-PMIPv6에서 등록 프로세스의 평균 지연
D_{inter}	inter-LMA 핸드오버 동안 F-PMIPv6에서 등록 프로세스의 평균 지연
$D_{LMA1 \rightarrow MAG}$	LMA과 MAG 사이의 등록 신호 전달의 평균 지연
$D_{LMA2 \rightarrow LMA1}$	핸드오버 이후의 LMA와 기존의 LMA 사이의 등록 신호 전달의 평균 지연
$D_{MAG \rightarrow MN}$	MAG와 MN 사이의 등록 신호 전달의 평균 지연
$l_{LMA \rightarrow MAG}$	LMA과 도달가능한 MAG사이의 평균 거리
$l_{MAG \rightarrow MN}$	MN과 MAG 사이의 평균 거리
μ	유선링크의 단위거리 신호 전송 비용
$\frac{MinInt + MaxInt}{2}$	RA(Router Advertisement) 전송에 따른 평균 지연

이동하는 MN에 필요한 핸드오버의 수 m ($m \geq 1$) 은 MN이 m 번째 핸드오버에서 새로운 지역으로 이동한다. 따라서 MN은 F-PMIPv6과 PMIPv6에서 m 의 핸드오버에 소비되는 총 평균지연 D_{FPT} 와 D_{PT} 는 수식 11과 12에 의해 주어진다.

$$D_{FPT} = (m-1)D_{intra} + D_{inter} \quad (11)$$

$$D_{PT} = mD_{RM} \quad (12)$$

정의 1에서 D_R 은 아래와 같이 계산할 수 있다.

유선 링크의 평균 신호 전송 지연은 신호가 이동하는 홉의 수에 측정거리에 비례한다고 가정한다. 유선 링크의 단위거리 신호 전송 비용을 μ 라고 하고, 이는 단위거리 전파 지연과 각 홉의 큐잉 지연이 포함되어 있다. 무선 대역폭은 보통 작기 때문에 무선 링크의 평균 신호 전달지연을 $a > 1$ 일 때 $\theta \cdot \mu$ 라고 가정한다. 평균 신호 전달 지연이 코어 네트워크와 액세스 네트워크에서 다르다는 것은 주목할 만하다. 분석을 단순화하기 위해 μ 는 신호의 코어 네트워크와 액세스 네트워크에서 신호 전송의 평균 수준을 반영한다. 따라서 D_R 은 수식 14로 변경할 수 있다.

$$D_R = \frac{\mu(2\theta + 2ml_{LMA \rightarrow MAG})}{mT} \quad (14)$$

$$- \frac{2((MinInt + MaxInt)/2)(m-1) + mD_M}{mT}$$

수식 14에 비추어 MN과 MAG 사이의 거리와 LMA와 MAG 사이의 거리로 높은 평균 등록 이익은 F-PMIPv6에서 얻을 수 있었다. 정의 1을 기반으로 $D_R < 0$ 일 때 F-PMIPv6에서 높은 평균 등록 이익을 얻을 수 있다. 수식 13과 수식 14에 의하면 $D_R < 0$ 을 만들기 위해 m 은 아래의 식을 만족해야 한다.

$$m > \frac{D_{inter} - D_{intra}}{D_{RM} - D_{intra}} \quad (15)$$

$$= \frac{2\mu(\theta + (MinInt + MaxInt)/2) + D_L}{2\mu(l_{LMA \rightarrow MAG} - (MinInt + MaxInt)/2) + D_L - D_M}$$

사실 m 은 지역크기에 밀접한 관계가 있다. F-PMIPv6에서 각 MN은 다른 LMA 사이를 랜덤하게 이동하고 지역크기는 K 라고 가정한다.

[정리 2] MN이 항상 지역 내에서 로밍할 때, F-PMIPv6은 등록 등의 측면에서 PMIPv6의 성능을 능가하고 평균 등록 이익은 $|2\mu \cdot (l_{LMA \rightarrow MAG} - (MinInt + MaxInt)/2)|$ 로

확인 된다. MN이 지역 내에서 로밍할 때 $K \geq N$ 이다. 만약 F-PMIPv6이 채택된다면, intra-LMA와 inter-LMA 핸드오버의 수는 각각 $m-1$ 과 0이 될 것이다. 그러나 PMIPv6가 채택된다면, 핸드오버의 수는 $m-1$ 일 것이다. 따라서 D_R 은 아래와 같이 계산된다.

$$D_R = \frac{(m-1)D_{intra} - (m-1)D}{m-1} = 2\mu(l_{LMA \rightarrow MAG} - (MinInt + MaxInt)/2) + D_M \quad (16)$$

$l_{LMA \rightarrow MAG} - (MinInt + MaxInt)/2 < 0$ 는 일반적으로, MAG와 MN의 평균 등록 신호 처리 지연 시간 사이에 큰 차이는 없다. 이 경우 D_R 은 $2\mu \cdot (l_{LMA \rightarrow MAG} - (MinInt + MaxInt)/2)$ 로 단순화할 수 있다.

$2\mu \cdot (l_{LMA \rightarrow MAG} - (MinInt + MaxInt)/2) < 0$ 이기 때문에 F-PMIPv6은 등록 등의 측면에서 PMIPv6의 성능을 증가한다. 또한 평균 등록 이익은 $|2\mu \cdot (l_{LMA \rightarrow MAG} - l_{MAG \rightarrow MN})|$ 에 대한 것이다.

[정리 3] MN이 다른 지역 사이에서 로밍할 때, D_R 은 지역 크기 K 에 관계가 있으며, 그들의 관계는 수식 17에 의해 정리된다. 또한 수식 18이 만족하는 경우에만 F-PMIPv6은 평균 등록 이익을 얻을 수 있다.

$$D_R = \frac{(2\mu \cdot \theta + D_H) \cdot (2N-2K-1) + 2\mu \cdot l_{LMA \rightarrow MAG} \cdot (1-2K)}{(2N-2) \cdot T} + \frac{4\mu \cdot (N-1) \cdot \frac{MinInt + MaxInt}{2} + 2D_M(N-1)(D_M - D_L)}{(2N-2) \cdot T} \quad (17)$$

$$\frac{2N-2}{2N-2K-1} > \frac{2\mu(\theta + l_{LMA \rightarrow MAG}) + D_L}{2\mu(l_{LMA \rightarrow MAG} - \frac{MinInt + MaxInt}{2}) + D_L - D_M} \quad (18)$$

MN이 다른 지역사이를 로밍할 때 $K < N$ 이다. 이 경우, 상태 i 가 LMA_i ($i = 1, 2, \dots, N$)을 입력하는 MN을 나타낼 때, 그림 5와 같이 다른 MAG을 통해 로밍하는 MN의 움직임은 마르코프 체인으로 모델링 할 수 있다. 그림 6에서처럼 MN은 각 방향으로 1/2의 동일한 확률로

두 방향(경계 MAG 제외)으로 이동할 수 있다는 것을 추정할 수 있다.

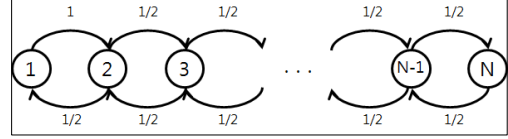


그림 6. 상태 전환 다이어그램
Fig. 6. State transition diagram

상태 i 의 정상상태 확률로 π ($i = 1, 2, \dots, N$)을 정의한다. 그림 2에 따르면 마르코프 체인의 균형 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{cases} \pi_1 = \pi_2 \times 1/2 \\ \pi_2 = \pi_1 + \pi_3 \times 1/2 \\ \pi_i = (\pi_{i-1} + \pi_{i+1}) \times 1/2 & i = 3, 4, \dots, N-2 \\ \pi_{N-1} = \pi_{N-2} \times 1/2 + \pi_N \end{cases} \quad (19)$$

식 19는 아래와 같이 반복적으로 재작성 될 수 있다.

$$\begin{cases} \pi_1 = 0.5 \times \pi_2 \\ \pi_2 = \pi_{i+1} \\ \pi_N = 0.5 \times \pi_{N-1} \end{cases} \quad i = 3, 4, \dots, N-2 \quad (20)$$

$\sum_{i=1}^{\infty} \pi_i = 1$ 과 같은 사실로 인해 정상 상태 확률은 다음과 같이 도출 할 수 있다.

$$\begin{cases} \pi_1 = \pi_N = 1/(2 \times (N-1)) \\ \pi_i = 1/(N-1) & i = 2, 3, \dots, N-1 \end{cases} \quad (21)$$

따라서 MN이 지역 내에서 로밍하는 것에 대한 확률이 주어진다.

$$P_{intra} = \sum_{i=1}^K \pi_i = \frac{2K-1}{2N-2} \quad K < N \quad (22)$$

따라서, 이 지역에서 로밍하는 확률은 $P_{inter} = 1 - P_{intra}$ 이다. m 만큼 핸드오버 한 이후에 지역에서 이동하는 확률 (P_{out}^m)은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_{out}^m = P_{intra}^{m-1} \times P_{inter} = \left(\frac{2K-1}{2N-2}\right)^{m-1} \times \left(1 - \frac{2K-1}{2N-2}\right) \quad (23)$$

따라서 이 지역의 밖에서 이동하는 MN에 의해 필요한 핸드오버 시간은 다음과 같이 예상된다.

$$E(m) = \sum_{m=1}^{\infty} m P_{out}^m = \frac{2N-2}{2N-2K-1} \quad (24)$$

식 24로 인해 수식 14와 15은 각각 수식 17과 18로 변환할 수 있다. 분명히 D_R 은 수식 17에 따라 지역 크기에 있다. 큰 K 는 그 이상은 평균 등록 이익이다. 또한, 수식 18을 만족하는 경우에만 F-PMIPv6의 평균 등록 이익을 얻을 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

패킷 전송 성능을 비교하고 다음과 같은 정의를 한다.

[정의 2] 평균 패킷 전송 비용 T_P 는 CN으로부터 MN으로 패킷을 전달하기 위해 PMIPv6 대신에 F-PMIPv6을 사용한 평균 소비 시간으로 정의한다.

표 2. 패킷 전송 성능 분석 주요 기호
Table 2. Main symbols in packet delivery performance analyses

기호	정의
T_{PM}	PMIPv6의 평균 패킷 전송 지연
α	평균 패킷 도착 비율
$T_{CN \rightarrow LMA}$	CN에서 LMA로 패킷 전송의 평균 지연
$T_{LMA \rightarrow MAG}$	LMA에서 MAG로 패킷 전송의 평균 지연
T_{PF}	PMIPv6의 평균 패킷 전송 지연
T_L	LMA의 평균 패킷 처리 지연
T_M	MAG의 평균 패킷 처리 지연
$l_{LMA \rightarrow MAG}$	LMA와 MAG 사이의 평균 거리

T_P 를 분석할 수 있는 주요 기호는 표 2에 정리되었다. PMIPv6와 F-PMIPv6에서 패킷은 두 가지 모드로 전송될 수 있다. 하나의 모드는 MAG를 통해 패킷을 전달하는 것이다. 이 모드에서 MAG는 MN을 대신하여 모든 패킷을 수신하고 MN에게 전달할 것이다. 다른 모드는 MN에 직접 패킷을 전달하는 것이다. 다음과 같은 분석에서 첫 번째 모드를 사용하여 패킷 평균 전송 비용을 모델링하지만 방식은 두 번째 모드로 적용한다. RFC5213과 RFC5949에 따르면 PMIPv6와 F-PMIPv6에서 CN에서 MN으로 패킷을 전달하는 것의 평균 지연은 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{PM} = \alpha \cdot (T_L + T_{CN \rightarrow LMA} + T_{LMA \rightarrow MAG} + T_{MAG \rightarrow MN}) \quad (25)$$

$$T_{PF} = \alpha \cdot (T_L + T_M + T_{CN \rightarrow LMA} + T_{LMA \rightarrow MAG} + T_{MAG \rightarrow MN}) \quad (26)$$

정의 2에 따르면 평균 패킷 전송 비용은 다음과 같다.

$$T_P = T_{PF} - T_{PM} = \alpha \cdot (T_M + T_{CN \rightarrow LMA} + T_{MAG \rightarrow MN} - T_{LMA \rightarrow MAG}) \quad (27)$$

이전 논문^[3]에서 제안된 것과 유사한 방식으로 LMA (T_M)의 평균 처리 지연을 수립한다.

지역에서 MN의 평균수가 ωK 이기 때문에 MAG는 MN의 평균 ω 를 제공할 수 있다고 가정한다. 따라서 LMA에서 바인딩 캐시를 찾는 것의 복잡성은 ωK 에 비례한다. 또한, IP 라우팅 테이블 조회는 일반적으로 가장 긴 프리픽스에 일치시키는 것을 기반으로 하고 있기 때문에 패트리샤 트리를 사용하여 구현한다. IP라우팅 테이블 조회의 복잡성은 라우팅 테이블의 길이의 로그에 비례한다. LMA에서 패킷 인캡슐레이션의 평균 지연은 δ 이다. 그래서 A와 B가 명확한 계수일 때, T_M 은 수식 28을 사용하여 계산될 수 있다.

$$T_M = A\omega K + BlgK + \delta \quad (28)$$

유선 링크의 평균 패킷 전송 지연은 패킷이 비례상수 η 와 함께 이동되는 홉의 수에 비례한다고 가정한다. 그런 다음 수식 27은 수식 29로 변환할 수 있다.

$$T_P = \alpha \cdot (A\omega K + BgK + \delta + \eta(l_{CN \rightarrow LMA} + l_{LMA \rightarrow MAG} - (MinInt + MaxInt)/2)) \quad (29)$$

$$l_{CN \rightarrow LMA} + l_{LMA \rightarrow MAG} \geq \frac{MinInt + MaxInt}{2}$$

로부터 식 29는 평균 패킷 전송 비용 T_P 는 명확하다는 결론이 나온다. 정의 2에 따르면 $T_P > 0$ 은 F-PMIPv6의 평균 패킷 전송 지연은 PMIPv6보다 더 크다는 것을 의미한다. 이것은 지역 내에서 LMA의 전개는 삼각 라우팅 문제의 결과라는 사실을 기반으로 둔다. 패킷 전달 경로는 PMIPv6에서 외부 네트워크 -> MN에서 F-PMIPv6에서의 외부네트워크 -> LMA -> MN으로 변경된다. PMIPv6와 대조적으로 F-PMIPv6의 전반적인 성능을 비교하고, 다음과 같은 정의를 제시한다.

[정의 3] C_T 로 표현된 총 비용 함수는 등록과 패킷 전송 모두의 관점에서 PMIPv6와 대조적으로 F-PMIPv6의 전반적인 성능을 나타낸다. 이 수식 30에 의해 정의되는 n_1 과 n_2 는 계수이다.

$$C_T = n_1 \cdot D_R + n_2 \cdot T_P \quad (30)$$

정의 3에 따르면 F-PMIPv6과 PMIPv6의 적용을 반영할 수 있다. $C_T < 0$ 일 때 F-PMIPv6은 PMIPv6보다 더 적용될 것이고, 그렇지 않으면 F-PMIPv6이 더 적합하다.

2. PMIPv6와 F-PMIPv6의 비용 분석

이 장에서는 F-PMIPv6와 PMIPv6 사이의 선택에 대한 몇 가지 주요 파라미터의 영향을 보여주는 수치 분석을 사용한다. SSM과 PMIPv6와 F-PMIPv6를 비교한다. 이 장에서 사용되는 파라미터의 값은 표 3에 나열되어 있다.

표 3. 성능 분석에 사용되는 파라미터 값
Table 3. Parameters used in performance analyses

μ	0.008	n_1	10
η	0.008	n_2	1
θ	2	D_{LMA1}	0.008
ω	15	D_{MAG}	0.008
N	30	A	0.00003
D_{LMA2}	0.005	$MinInt$	1
B	0.00007	$MaxInt$	5
δ	0.00005	T_L	0.008
$l_{CN \rightarrow LMA}$	18	ψ	0.015

PMIPv6 또는 F-PMIPv6에서 등록 지연은 핸드오프 지연에서 직접적인 결과이다. 이것은 네트워크에서 서비스의 질을 평가하기 위한 중요한 통계이다. 핸드오버 지연의 중요성으로 인해 $n_1 > n_2$ 로 설정한다.

MN들은 일반적으로 1초에 한번 이상으로 자주 인터넷에 접속할 지점을 변경하지 않는다고 가정한다. 그래서 $T \geq 1$ 이다. IP 헤더의 TTL 필드는 일반적으로 32 또는 64이다. 즉, 패킷이 통과 될 수 있는 홉 수의 제한은 32 또는 64이다. $l_{CN \rightarrow LMA} = 25$ 이고 $l_{LMA \rightarrow MAG} = 10$ 이라고 한다.

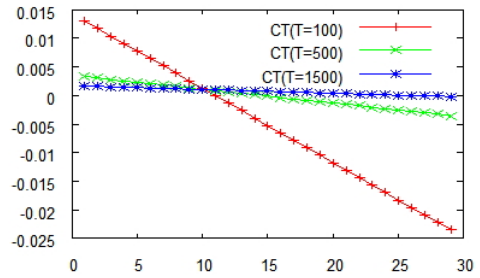


그림 7. c_T 에서 T 의 영향

Fig. 7. Impact of T on c_T

C_T 에서 T 에 영향을 주는 것은 그림 7에 설명되어 있다. 이 시나리오에서 $\alpha = 0.05$, $l_{LMA \rightarrow MAG} = 6$ 이다. 그림 7에서 $K \leq 9$ 이면 C_T 는 0보다 크고, T 의 감소와 함께 증가한다. 그러나 $K > 9$ 이면 C_T 는 0 이하이고 그리고 T 의 감소와 함께 감소된다. T 는 MN의 이동속도를 반영하기 때문이다. 큰 T 는 더 느리게 MN이 이동하고, 반대의 경우도 마찬가지이다. 지역 크기가 작을 때 ($K \leq 9$), MN은 빠르게 이동하고, MN이 지역 밖으로 빠르게 이동하는 비율은 높다. F-PMIPv6에서 이중 등록으로 인하여 긴 등록 지연이 이어질 것이다. 이 경우 F-PMIPv6는 평균 등록이익을 낼 수 없다. 그리고 MN이 빠르게 이동하고 F-PMIPv6의 등록 성능이 더 악화된다. 한편, K 가 충분히 큰 경우($K > 9$), MN이 지역 밖으로 이동하는 확률은 MN이 빠르게 이동하더라도 낮다. 다른 단어로 대부분의 이동성은 마이크로 이동성에 속한다. 이 경우 F-PMIPv6는 평균 등록 이익을 낼 수 있다.

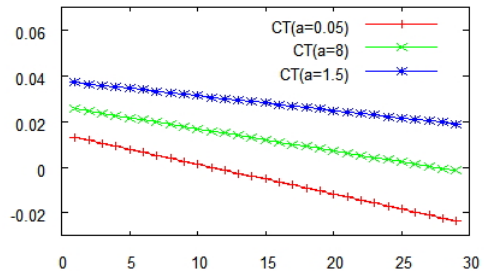


그림 8. c_T 에서 α 의 영향

Fig. 8. Impact of α on c_T

그림 8은 C_T 에서 α 의 영향을 나타낸다. 이 시나리오에서 $T = 100$, $l_{LMA \rightarrow MAG} = 6$ 이다. 그림 8에서는

α 가 증가할수록 C_T 가 증가하는 것을 보여준다. 이것은 평균 패킷 전달 비용이 α 가 증가할수록 증가할 것이라는 사실 때문에 C_T 의 증가로 이어진다.

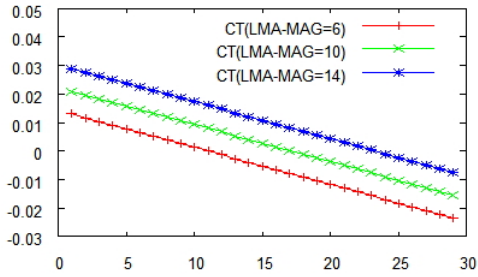


그림 9. c_T 에서 $l_{LMA \rightarrow MAG}$ 의 영향

Fig. 9. Impact of $l_{LMA \rightarrow MAG}$ on c_T

그림 9에서는 C_T 에서 LMA와 MAG 사이의 거리 ($l_{LMA \rightarrow MAG}$)의 영향을 나타낸다. 이 시나리오에서 $\alpha = 0.05$, $T = 100$ 이다. 두 그림으로 $l_{LMA \rightarrow MAG}$ 의 증가와 같이 C_T 가 증가하는 것을 볼 수 있다. $l_{LMA \rightarrow MAG}$ 이 증가할 때, F-PMIPv6에서 평균 등록 지연과 평균 패킷 전송 지연 둘 다 증가하기 때문에, C_T 의 증가를 야기한다. 그림9에서 아무리 C_T 가 변해도, $C_T < 0$ 일 때, F-PMIPv6는 더 좋은 대안이다. 그렇지 않으면 솔루션 같은 PMIPv6를 사용하는 MN에 알맞다.

그림 10과 그림 11을 SSM 성과와 비교하면 F-PMIPv6와 PMIPv6는 통계 같은 비용을 사용한다. 비용은 등록 지연과 패킷 전송 지연의 결합이다. 즉, F-PMIPv6의 비용은 수식 2에서 K 가 5와 10일 때, SSM의 비용은 $K = K_{opt}$ 일 때의 값이다. PMIPv6의 비용은 $n_1 \cdot D + n_2 \cdot T_{PM}$ 로 계산될 수 있다.

그림 10과 그림 11은 T 와 α 의 비용이 어떻게 변하는지 나타낸다. 이 시나리오에서 $l_{CH} = 8$ 이고 LMA의 로드는 작다. 게다가 그림 11에서 $T = 50$ 인 동안 그림 10에서 $\alpha = 0.05$ 이다. 이 장에서 SSM의 비용을 최소화하고 K_{opt} 가 시스템의 성능을 높이는 것을 확실히 보여준다.

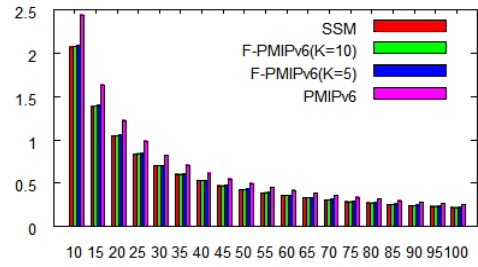


그림 10. Cost vs. T

Fig. 10. Cost vs. T

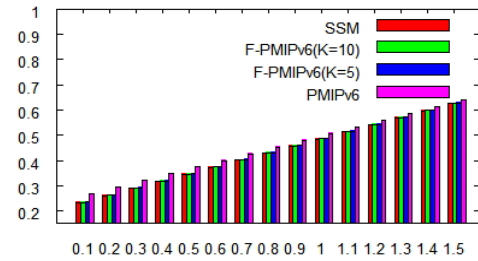


그림 11. Cost vs. α

Fig. 11. Cost vs. α

V. 결론

PMIPv6와 F-PMIPv6는 둘 다 IPv6 네트워크를 위한 이동성 관리 솔루션이다. 그러나 F-PMIP는 PMIPv6의 확장이며, 모든 상황에서 PMIPv6보다 뛰어나지 않다. 이 논문에서 PMIPv6에 개선된 프로토콜인 F-PMIPv6의 성능을 나타내는 분석적인 모델을 제안하였다. 분석적인 모델을 기반으로 SSM이라고 불리는 기법은 어떤 프로토콜이 가장 적절한지, 그리고 어떤 MAG가 적절한지 결정한다. 수식화 된 결과는 PMIPv6와 F-PMIPv6의 애플리케이션 범위를 기반으로 몇몇의 키 파라미터의 영향을 설명한다. SSM 기법을 이용하여 PMIPv6와 F-PMIPv6 중 알맞은 프로토콜을 선택하고 일반적인 PMIPv6와 F-PMIPv6를 사용했을 경우 보다 SSM 기법을 사용할 경우가 성능적으로 우수함을 확인 할 수 있다.

References

- [1] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", IETF RFC 3775, June 2004.

- [2] Soliman, H. Castelluccia, C. El-Malki, K. and Bellier, L., "Hierarchical mobile IPv6 mobility management", IETF RFC 4140, August 2005.
- [3] Koodli, G., "Fast handovers for mobile IPv6", IETF RFC 4068, July 2005.
- [4] Gundavelli, S. Leung, K. Devarapalli, V. Chowdhury, K. and Patil, B., "Proxy Mobile IPv6", IETF RFC 5213, August 2008.
- [5] Chuang, M. C. and Lee, J. F., "FH-PMIPv6: A fast handoff scheme in Proxy Mobile IPv6 networks", Consumer Electronics, Communications and Networks, pp.1297-1300, May 2011.
- [6] Guan, J. Zhou, H. Yan, Z. Qin, Y. and Zhang, H., "Implementation and analysis of proxy MIPv6", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 11, pp477-490, April 2011.
- [7] R.Koodli, "Mobile IPv6 Fast Handovers", IETF RFC 5668, July 2009.
- [8] N. Neumann, J. Lei, X. Fu, G. Zhang, "I-PMIPv6 : An Inter-Domain Mbility Extension for Proxy-Mobile IP", IWCMC' 09, Jun 2009.
- [9] H. Yokota, K. Chowdhury and R. Koodli, "Fast handovers for Proxy Mobile IPv6", RFC 5949, September 2010.
- [10] G. Kim, "Low latency cross layer handover scheme in proxy mobile IPv6 domain", NEW2AN 2008, pp.110-121, September 2008.
- [11] Soonghwan Ro, Jinkyu Choe, "A Study on Inter-Domain Support in Proxy Mobile IPv6", Journal of Korean institute of Information Technology, vol 9, issue 2, pp199-206, Feb 2012.
- [12] Jung-Doo Koo, Gi-Sung Lee, "Mobile IPv6(MIPv6) Binding Update Protocol for Micro and Pico Cell Environments", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, v.8, no. 6, pp.1519-1523, December 2007.
- [13] Hyunwoo Ko, Jongpil Jeong, "dMMS: A Novel Distributed Dynamic Mobility Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Proxy Mobile IPv6 Networks", Journal of Korea of the Institute of Internet Broadcasting and Communication" v.12, no. 4, August 2012.
- [14] Sewon Yoo, Jongpil Jeong, "Analytical Approach of Fast Inter-Domain Handover Scheme in Proxy Mobile IPv6 Networks with Multicasting Support", Journal of Korea Information Processing Society, v.19-C, no. 2, pp.153-166, April 2012.
- [15] Sunghee Han, Jongpil Jeong, "Intelligent Hierarchical Mobility Support Scheme in F-PMIPv6 Networks", Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences", 13-04, v.38A, no. 04, pp.337-349, April 2013.

※ 이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2010-0024695), 교신저자 : 정종필

저자 소개

윤 경 원(준회원)



- 2011년 : 동서대학교 정보네트워크 공학(공학사)
 - 2011년~현재 : 성균관대학교 정보통신대학원 석사과정
- <주관심분야 : 네트워크 보안, 모바일 컴퓨팅, 인터넷 보안 등>

정 종 필(정회원)



- 2008년 : 성균관대학교 정보통신대학(공학박사)
- 2009년 : 성균관대학교 컨버전스연구소 연구교수
- 2010년~현재 : 성균관대학교 산학협력 중점교수

<주관심분야 : 모바일컴퓨팅, 센서이동성, 차량 모바일 네트워크, 스마트기기 보안, 네트워크 보안, IT융합, 인터랙션사이언스 등>