

# Proxy Mobile IPv6 네트워크에서 포인터 포워딩을 이용한 이동성 관리기법

이 명 규<sup>†</sup> · 김 형 현<sup>\*\*</sup> · 박 석 천<sup>\*\*\*</sup> · 양 영 규<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

Proxy Mobile IPv6(PMIPv6)는 이동노드가 핸드오버 및 위치등록과 관련된 신호절차를 수행하지 않고 네트워크 기반으로 이동성을 관리할 수 있도록 설계된 프로토콜이다. 기존의 PMIPv6에서 이동노드가 이동 할 때마다 Mobile Access Gateway(MAG)는 원거리에 위치한 Local Mobility Anchor(LMA)에 위치등록을 수행해야 하며, 이러한 위치등록절차는 LMA에 부하를 증가시킬 뿐 아니라, 네트워크로 전달되는 전체 트래픽이 증가하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 Proxy Mobile IPv6 네트워크에서 포인터 포워딩을 이용한 이동성 관리기법을 제안하였다. 제안기법에서는 MAG가 LMA에 등록하는 대신 포인터 포워딩을 이용하여 이웃한 MAG에 등록함으로써 위치등록비용을 감소할 수 있다. 제안기법의 성능을 분석하기 위하여 내재적 마코프 체인(Imbedded Markov chain) 모델을 이용한 비용 계산식을 구하였으며, 수학적 비용 분석 결과를 통하여 제안기법이 기존의 PMIPv6 보다 우수한 성능을 제공할 수 있음을 알 수 있다.

키워드 : Proxy Mobile IPv6, 위치관리기법, 포인터 포워딩

## A New Mobility Management Scheme Using Pointer Forwarding in Proxy Mobile IPv6 Networks

Myung-Kyu Yi<sup>†</sup> · Hyung Heon Kim<sup>\*\*</sup> · Seok Cheon Park<sup>\*\*\*</sup> · Young Kyu Yang<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Proxy mobile IPv6 (PMIPv6) protocol is a network-based mobility management protocol to support mobility for IPv6 nodes without host involvement. In PMIPv6, the Mobile Access Gateway (MAG) incurs a high signaling cost to update the location of a mobile node to the remote Local Mobility Anchor (LMA) if it moves frequently. This increases network overhead on the LMA, wastes network resources, and lengthens the delay time. Therefore, we propose a new mobility management scheme for minimizing signaling cost using the pointer forwarding. Our proposal can reduce signaling costs by registration with the neighbor MAG instead of the remote LMA using the pointer forwarding. The cost analysis using imbedded Markov chain presented in this paper shows that our proposal can achieve performance superior that of PMIPv6 scheme.

Keywords : Proxy Mobile IPv6, Location Management, Pointer Forwarding

## 1. 서 론

최근, 무선통신기술 발전 및 이동 단말기의 보급으로, 사용자는 필요한 정보검색 및 음성 통신과 같은 실시간 데이터의 전송을 위해 언제 어디서나 자유롭게 네트워크에 접속

할 수 있는 정보통신 환경을 요구하고 있다. 차세대 무선통신 환경에서 이동 통신망은 기존의 IP망과 연계되고 통합될 것이며, All-IP 기반의 유무선이 통합된 형태의 네트워크 환경이 될 것으로 예상되고 있다. IP 이동성 관리 기술은 이러한 All-IP 기반의 차세대 유무선 통합망 구축을 위한 핵심 기술이며, 국제 인터넷 표준화 기구(Internet Engineering Task Force, 이하 IETF)는 단말기 기반의 IP 이동성 제공기술인 Mobile IPv6(MIPv6)[1]에 대한 표준화 작업을 진행 중이다. MIPv6기술은 IP계층 상위의 프로토콜에 투명하게 동작하며, 활성화된 TCP 연결과 UDP 포트 바인딩의 끊김 없이 IPv6를 지원하는 이동단말의 이동성 관리 기술이다. 이동통신의 양대 표준 기구인 3GPP와 3GPP2의 표준에서는 이동

※ 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D00873)

† 정 회 원: 경원대학교 컴퓨터미디어전공 연구교수(교신저자)

\*\* 준 회 원: 경원대학교 전자계산학과 석사

\*\*\* 중신회원: 경원대학교 컴퓨터공학과 정교수

\*\*\*\* 중신회원: 경원대학교 컴퓨터미디어전공 교수

논문접수: 2009년 8월 24일

수정일: 1차 2009년 9월 23일

심사완료: 2009년 10월 27일

인터넷 환경의 표준으로 MIPv6를 채택하였다. 이는 MIPv6 기술이 갖는 특징들 즉, 이동통신의 최대 약점이라고 할 수 있는 정보보호 기능의 안정적인 제공, 충분한 주소공간의 확보로 인한 각종 전자제품의 효율적인 네트워크화, 플러그 앤 플레이 방식의 자동 네트워킹 방식 지원 그리고 최적화된 라우팅 패스 설정을 통한 효율적인 네트워킹 제공 등의 장점 때문이라 볼 수 있다.[2-4]

MIPv6에서 이동노드(Mobile Node, 이하 MN)가 이동할 때마다, 새로운 터널을 생성해야 하며, 이로 인해 패킷 지연, 패킷손실, 그리고 과도한 위치등록과 같은 문제가 발생한다. 또한, MIPv6는 이동노드의 프로토콜 스택 수정을 필요로 하며, 실제 네트워크에의 적용 및 확산을 어렵게 하는 요인이 된다. MIPv6 기능이 구현되어 있지 않은 단말이 다른 망으로 이동을 할 때마다 기존의 연결을 종료하고 새로 개설해야 하는 문제가 발생한다. 따라서, IETF NetLMM(Network-based Localized Mobility Management) 워킹그룹에서는 MIPv6의 문제점을 해결하기 위해 Proxy Mobile IPv6(PMIPv6)[5]가 제안되었다. PMIPv6에서는 MN에 전송되는 모든 데이터는 Local Mobility Anchor(LMA)와 Mobile Access Gateway(MAG)를 통해 전달된다. MN이 이동할 때마다 MAG는 원거리에 위치한 LMA에 위치등록을 수행해야 하며, 이러한 위치등록절차는 LMA에 부하를 증가시킬 뿐 아니라, 네트워크로 전달되는 전체 트래픽이 증가하게 된다. 또한, (그림 1)과 같이 LMA와 MAG의 거리가 멀수록 위치등록절차에 따른 지연은 더 길어지게 된다. 따라서, 본 논문에서는 MN이 이동할 때 마다, 일반적으로 원거리에 위치한 LMA에 등록하지 않고, 포인터 포워딩[6]을 이용하여

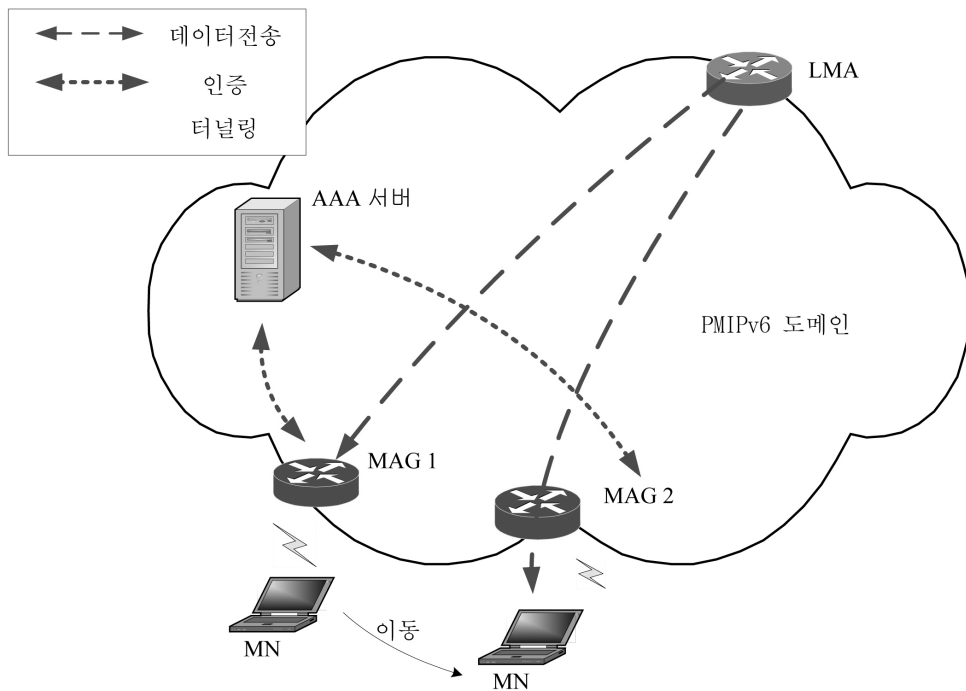
이웃한 MAG에 등록함으로써 위치등록비용을 감소할 수 있는 이동성 관리 기법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 PMIPv6에 대한 관련 연구를 기술한다. 3장은 제안 기법을 위한 시스템 모델에 대하여 설명한다. 4장은 제안 기법에 대하여 설명하고, 5장에서는 제안 기법의 성능을 평가하기 위한 수학적 모델을 제시하고 이 모델에 따른 비용을 산출한 후, 제안 기법의 성능을 PMIPv6의 성능과 함께 비교분석한다. 마지막으로 6장에서는 본 논문에 대한 결론에 대해 논의한다.

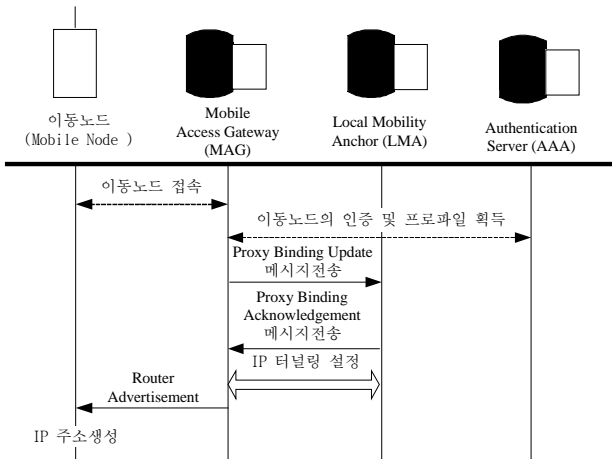
## 2. 기존 관련 연구 및 문제점 분석

PMIPv6는 MN이 핸드오버 및 위치등록과 관련된 신호절차를 수행하지 않고 네트워크 기반으로 이동성을 관리할 수 있도록 설계된 프로토콜이다. 따라서, MN의 부하를 줄이고, 이동성 관리 지연 시간을 줄일 수 있는 장점을 가진다. PMIPv6에서는 새로운 구성요소로서 Local Mobility Anchor(LMA)와 Mobile Access Gateway(MAG)를 채택하고 있다. LMA는 PMIPv6 도메인에서 이루어지는 모든 이동성 절차를 관리하며, MN에 대한 일종의 홈 에이전트(Home Agent, 이하 HA)역할을 수행한다. MAG는 LMA와 MN 사이에 위치하며, MN을 대신하여 이동성 관련 신호절차를 수행한다. 또한, MAG는 MN의 네트워크에 대한 연결 기능과 라우팅 기능을 담당한다.

PMIPv6의 동작절차는 (그림 2)과 같다. MN이 네트워크에 접속하게 되면, L2 접속인증을 수행하게 되며, 이 과정에서 MN의 식별자를 MAG에 전달한다. MAG는 MN의 식별자를



(그림 1) Proxy Mobile IP의 위치등록 및 패킷전송절차



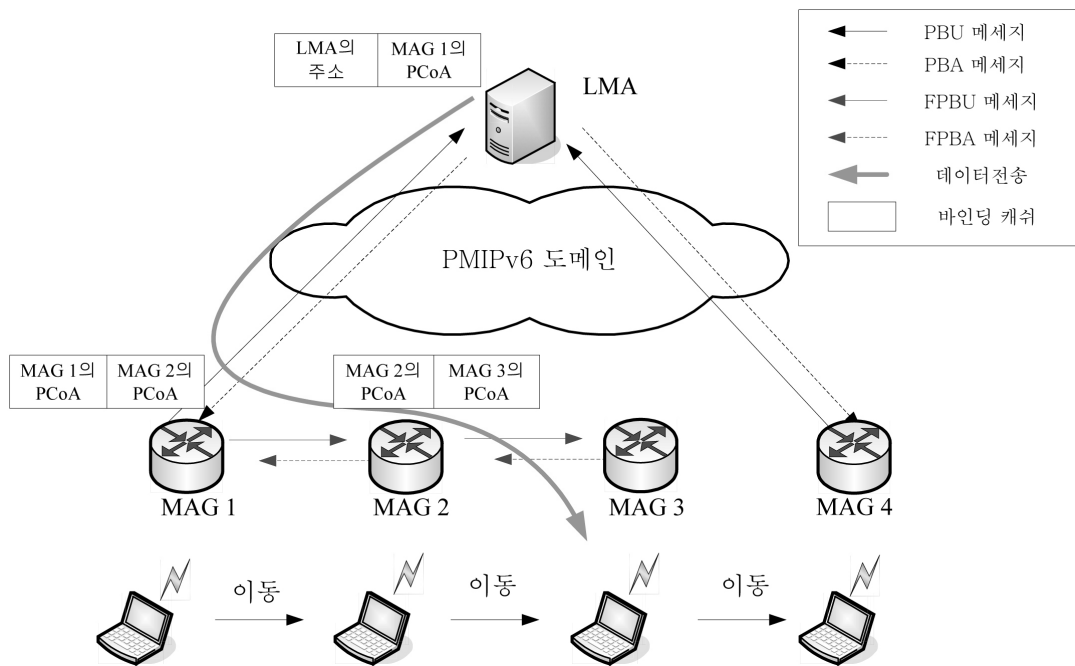
(그림 2) PMIPv6의 동작절차

이용하여 AAA(Authentication, Authorization, Accounting) 서버와 인증과정을 수행한 후 해당 MN의 프로파일을 얻게 된다. 이후, MAG는 LMA에게 프록시 바인딩 업데이트(Proxy Binding Update, 이하 PBU) 메시지를 전송하여 MN의 위치 등록 과정을 수행한다. LMA는 바인딩 캐쉬 엔트리(Binding Cache Entry, 이하 BCE)에 MN의 식별자에 해당되는 정보가 있는지 검사하게 된 후, 해당 MN에 대한 정보가 없다면 BCE에 새롭게 추가한다. 이후 LMA는 MAG에게 프록시 바인딩 승인(Proxy Binding Acknowledgement, 이하 PBA) 메시지를 전송하고, LMA와 MAG간의 양방향 터널을 생성한다. PBA 메시지를 수신받은 MAG는 LMA가 할당해준 홈 네트워크 프리픽스(Home Network Prefix, 이하 HNP)와 IP 주소 정보가 포함된 라우터 광고(Router Advertisement, 이

하 RA)메시지를 MN에게 전송한다. 기본적으로 PMIPv6에서의 모든 메시지는 LMA를 통해 전달된다. 따라서, MN이 이동할 때 마다 MAG는 원거리에 위치한 LMA에 위치등록을 수행해야 하며, 이러한 위치등록절차는 LMA에 부하를 증가시킬 뿐 아니라, 네트워크로 전달되는 전체 트래픽이 증가하게 된다. 또한, LMA와 MAG의 거리가 멀수록 위치 등록절차에 따른 지연은 더 길어지게 된다.

따라서, 본 논문에서는 Proxy Mobile IPv6 네트워크에서 포인터 포워딩[6]을 이용한 이동성 관리기법을 제안하고자 한다. 포인터 포워딩 기법은 일반적으로 이동성 관리에서 많이 활용되는 기법으로, 이동성에 비해 통신이 적은 이동노드에 대해 효과적으로 적용될 수 있다. 하지만, 이러한 포인터 포워딩 기법을 MIPv6에 적용하려면 이동노드의 프로토콜 스택 수정을 필요로 하며, 이동노드의 특성상 전력소모의 문제를 고려해야 한다. 따라서, 이동노드가 이동성 관리와 관련된 동작에 관여하지 않는 PMIPv6 환경과, 실제 통신하는 시간이 많지 않은 이동 사용자들의 통신 패턴[7], 마지막으로 이동성이 잦은 마이크로 이동성(micro-mobility) 기반의 PMIPv6 특성을 감안할 때, PMIPv6 환경에서 포인터 포워딩 기법의 적용은 매우 중요하고 필수적이다.

제안기법에서 MN이 최초 PMIPv6 도메인에 진입하였을 경우 기존의 PMIPv6와 동일하게 LMA에 위치등록과정을 수행한다. 하지만, 이후 MN이 이동 할 때마다 MAG는 원거리에 위치한 LMA에 등록하지 않고, 포인터 포워딩을 이용하여 근거리에 위치한 MAG에 등록함으로써 위치등록비용을 감소할 수 있다(그림 3). 하지만, 상대노드(Correspondent Node, 이하 CN)가 MN에게 패킷을 전송할 경우 포인터 포워딩을 따라 순회하게 되므로 터널링 비용이 증가하게 된



(그림 3)  $K_{max}=2$  일때, 위치등록과정 및 패킷전송과정

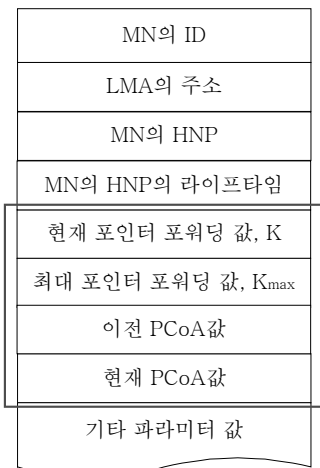
다. 따라서, 포인터 포워딩 길이는 최대 포인터 포워딩 값  $K_{max}$  으로 제한되어야 한다.

### 3. 시스템 구성

본 장에서는 제안된 기법을 위해 수정되어야 할 시스템 자료구조 및 메시지 포맷에 대해서 설명하고 있다.

#### 3.1 수정된 AAA 서버의 policy store

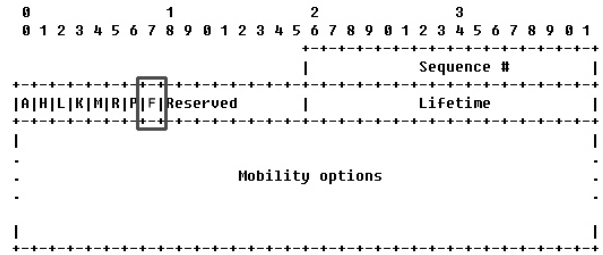
MN의 프로파일은 MN의 이동성 관리를 위해서 필수적인 파라미터 값들로 구성되어 있으며, 일반적으로 AAA서버의 policy store에 저장된다. IETF PMIPv6 표준[5]에 의하면, policy store 자세한 구현 및 획득절차는 따로 정의하지 않으며, MN의 식별자, LMA의 주소와 같은 필수적인 항목만 요구하고 있다. 또한, 선택적으로 MN의 HNP와 HNP의 라이프타임, 그 외 지원되는 주소구성절차에 대한 것을 포함시킬 수 있다고 명시되어 있다. 본 논문에서는 제안하는 기법을 위해 (그림 4)와 같이 추가적인 항목들을 정의하고자 한다. 포인터 포워딩 값  $K$ 는 MAG에서 생성한 포인터 포워딩 길이를 의미한다. 하지만, 포인터 포워딩 길이를 무한적으로 허용하게 되면 패킷전송 시에 심각한 터널링 비용을 초과하게 되므로, 최대 포인터 포워딩 값  $K_{max}$  를 정의한다. 만약  $K$ 값이  $K_{max}$ 를 초과하게 되면, MAG는 포인터 포워딩을 생성하는 대신, LMA에 등록과정을 수행하고  $K$ 값을 0으로 초기화 한다. 또한, MAG의 현재 Proxy Care-of Address (이하, PCoA)와 이전 PCoA를 저장한다.



(그림 4) 수정된 AA 서버의 policy store 자료구조

#### 3.2 수정된 PBU 메시지 형식

제안기법을 위하여 본 논문은 기존의 PBU 메시지에 (그림 5)와 같이 포인터 포워딩(Pointer Forwarding, 이하 'F')와 같은 여분의 비트를 추가한다. 만약, 'F'비트가 설정된 경우, 이 메시지를 받은 MAG은 새로운 BCE를 생성하며, 이전 PCoA와 현재 PCoA간의 양방향 터널링, 즉 포인터 포워딩을 설정한다.



(그림 5) 수정된 Proxy Binding Update 메시지

딩을 설정한다. 또한, MN으로 전송되는 모든 패킷은 포인터 포워딩을 따라 전송하게 된다.

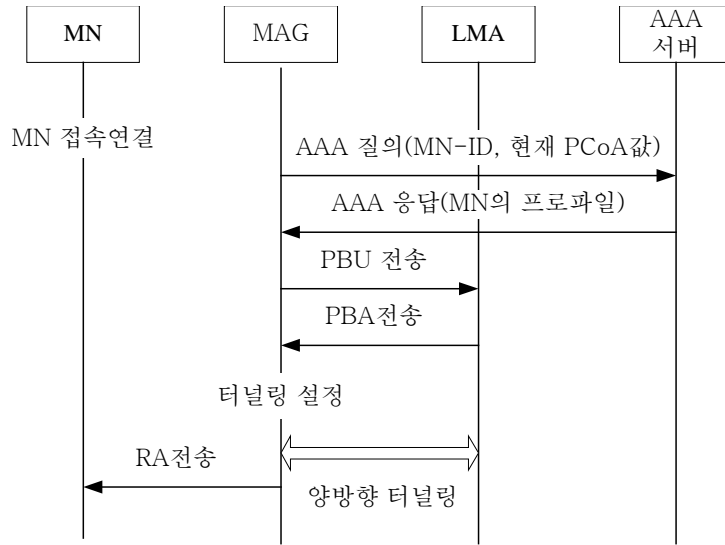
### 4. 제안기법

본 장에서는 제안된 기법의 위치등록절차와 패킷전송절차를 기술한다.

#### 4.1 위치등록절차

먼저, MN이 이동하기 전의 MAG를 pMAG MN이 이동한 후의 MAG를 nMAG라 표기하자. MN이 액세스 네트워크(Access Network, 이하 AN)에 처음 접속하게 되면, MN의 식별자와 현재의 MAG의 주소인 PCoA를 이용하여 AAA서버에게 인증을 요청하게 된다. 만약, 포인터 포워딩 값  $K$ 가 0 혹은 포인터 포워딩 값  $K$ 값이 최대허용 포인터 포워딩 값  $K_{max}$ 보다 크면, (그림 6)과 같이 제안된 위치등록절차는 다음과 같다.

- 1) AAA서버는 현재의 PCoA를 저장하고, policy store의 정보들을 이용하여 MN의 인증과정을 수행 한 후  $K$  값을 하나 증가시킨다. 만약, 포인터 포워딩 값  $K$ 가 최대허용 포인터 포워딩 값  $K_{max}$ 보다 크면  $K$ 값을 0으로 설정한다.
- 2) AAA서버에서 인증절차가 성공적으로 이루어지게 되면, MN의 프로파일을 전송한다. MN의 프로파일에는 MN의 식별자와 MN의 HNP, 그리고 LMA의 주소와 같은 주소구성정보가 포함된다.
- 3) MAG는 LMA에게 PBU 메시지를 전송하며, PBU를 수신한 LMA는 해당 MN에 대한 바인딩 캐쉬 엔트리 (Binding Cache Entry, 이하 BCE)를 생성한후, MN의 HNP를 포함되어 있는 PBA 메시지를 MAG에게 전송한다.
- 4) MAG는 PBA 정보를 이용하여 LMA와 MAG간의 양방향 터널을 생성한다. 또한, PBA에 포함되어 있는 MN의 HNP와 AAA서버로부터 받은 MN의 HNP를 비교한다. 만약, 두 개의 HNP가 다를 경우 AAA서버에 PBA에 포함되어 있는 MN의 HNP를 업데이트한다.
- 5) MAG는 MN의 HNP를 할당하는 RA 메시지를 MN에게 전송한다.



(그림 6)  $K=0$  혹은  $K > K_{max}$  일 때 제안된 위치등록절차

만약, 포인터 포워딩 값  $K$ 이  $0 < K \leq K_{max}$ 에 있을 경우, (그림 7)과 같이 다음의 위치등록절차를 수행한다.

- 1) AAA서버는 nMAG PCoA를 저장하고, policy store의 정보들을 이용하여 MN의 인증과정을 수행 한 후  $K$  값을 하나 증가시킨다.
- 2) AAA서버에서 인증절차가 성공적으로 이루어지게 되면, MN의 프로파일을 전송한다. MN의 프로파일에는 MN의 식별자와 pMAG의 PCoA 그리고 MN의 HNP와 같은 주소구성정보가 포함되어있다.
- 3) nMAG는 pMAG의 PCoA를 이용하여 pMAG에게 'F' 비트가 설정된 PBU 메시지를 전송한다.
- 4) PBU 메시지를 수신한 pMAG는 해당 MN에 대한 BCE

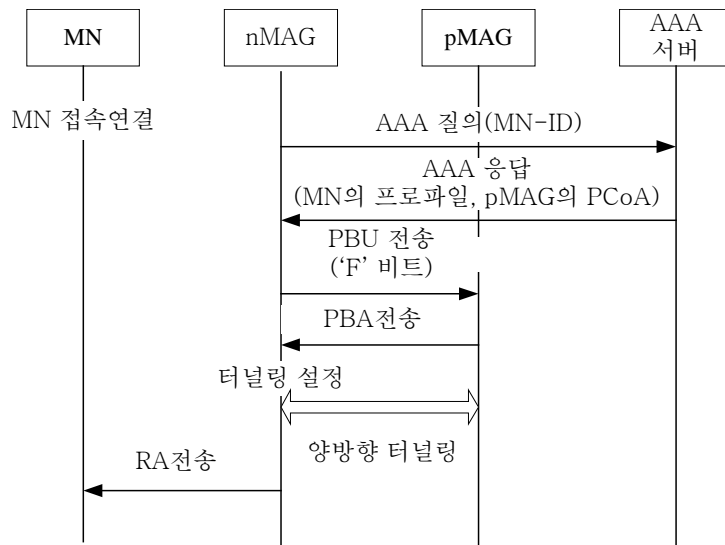
를 생성하고, pMAG와 nMAG간의 양방향 터널을 생성한다.

5) 이후, pMAG는 PBA메시지를 nMAG에게 전송한다.

6) nMAG는 MN의 HNP를 할당하는 RA 메시지를 MN에게 전송한다.

#### 4.2 패킷전송절차

CN이 MN에게 패킷을 전송하는 과정은 기존의 PMIPv6 방법과 유사하다. 다만, 포인터 포워딩이 설정되어 있을 경우 포인터 포워딩을 따라서 순회하게 된다. (그림 3)과 같이 MN이 최초 MAG 1에 접속한 후 MAG 2와 MAG 3로 이동했다고 가정한다. 이 경우 CN이 MN으로 패킷을 전송하면, MN에게 전송되는 패킷은 LMA에서 바인딩 캐쉬정보를 이용하여 MAG 1으로 전송된다. 이후 MAG 1에서는 설정된



(그림 7)  $0 < K \leq K_{max}$  일때 제안된 위치등록절차

포인터 포워딩 정보를 이용하여 MAG 2에 터널링 과정을 수행하고 되고, MAG 2는 다시 MAG 3로 터널링 과정 통해 전송하게 된다.

### 5. 성능 평가

#### 5.1 비용 계산식

본 장에서는 기존기법 PMIPv6와 제안기법의 성능을 비교하기 위한 비용 계산식을 구하고자 한다. 제안기법을 FPMIPv6라 표기한다. PMIPv6의 위치등록 및 패킷전송비용을 구하기 위해서 <표 1>과 같은 비용 계산식을 위한 매개 변수를 정의한다. FPMIPv6에서는 위치등록 비용은 감소하지

<표 1> 비용 계산식을 위한 매개 변수

매개 변수	설 명
$C_T^P$	PMIPv6에서 총 통신비용
$C_T^{PF}$	FPMIPv6에서의 총 통신비용
$U$	PMIPv6에서 위치등록비용
$U'$	FPMIPv6에서 위치등록비용
$F$	PMIPv6에서 패킷전송비용
$F'$	FPMIPv6에서 패킷전송비용
$\gamma$	MN이 서브넷 경계를 지나갈 교차율
$\mu$	MN이 PMIPv6 도메인 경계를 지나갈 교차율
$\lambda$	MN이 서브넷 경계를 지나 동일 PMIPv6 도메인에 머무를 교차율
$D_s$	서브넷 영역의 지름
$D_m$	PMIPv6 도메인의 지름
$V$	MN의 평균속도
$P_k$	MN이 상태 $k$ 에 있을 평행상태확률(equilibrium state probability)
$P_0$	MN이 상태 0에 있을 평행상태확률(equilibrium state probability)
$\delta_U$	위치등록을 위한 비례상수
$\delta_D$	패킷전송을 위한 비례상수
$w$	무선구간을 위한 비례상수
$l_{nm}$	MN과 MAG간의 평균 거리 ( 네트워크의 홉(hop)의 수)
$l_{ml}$	MAG와 LMA간의 평균 거리 ( 네트워크의 홉(hop)의 수)
$l_{mm}$	MAG와 MAG간의 평균 거리 ( 네트워크의 홉(hop)의 수)
$l_{ma}$	MAG와 AAA 서버간의 평균 거리 ( 네트워크의 홉(hop)의 수)
$l_d$	CN과 LMA간의 평균 거리 ( 네트워크의 홉(hop)의 수)
$l_{nh}$	MN과 HA간의 평균 거리 ( 네트워크의 홉(hop)의 수)
$\lambda_\alpha$	MN의 평균 세션 도착률
$\delta_T$	패킷전송 시 터널링 비용을 위한 비례상수

만, CN이 MN에게 패킷을 전송하는 경우 이웃한 MAG를 패킷이 순회하는 시간과 MAG에서 터널링 소요시간의 합만큼 패킷전달지연이 늘어나게 된다. 따라서, 비용계산식은 위치등록비용과 패킷전달지연을 반영한 패킷전송비용으로 구성한다[8].

#### 5.1.1 PMIPv6의 위치등록 및 패킷전송비용

유동체 흐름(fluid flow) 모델에서 MN의 이동방향은 서브넷이나 PMIPv6 도메인을 단일분포를 따라  $[0, 2\pi]$  사이를 이동한다고 가정한다.

$\gamma$ 을 MN이 서브넷 경계를 지나갈 교차율이라고,  $\mu$ 를 PMIPv6 도메인 영역 경계를 지나갈 교차율이라고 정의하자. 또한  $V$ 를 MN의 평균속도라 가정하면,  $\gamma$ 과  $\mu$ 를 각각 (1)과 (2)식과 같이 정리할 수 있다[9].

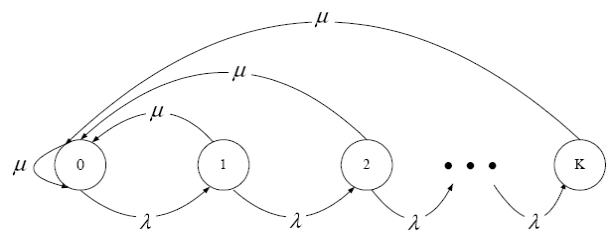
$$\gamma = \frac{4V}{\pi\sqrt{D_s}} \tag{1}$$

$$\mu = \frac{4V}{\pi\sqrt{D_m}} \tag{2}$$

(1)식과 (2)식에 의하여 MN이 서브넷 경계들을 지나 동일 PMIPv6 도메인에 머무를 교차율  $\lambda$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\lambda = \gamma - \pi \tag{3}$$

파라미터  $\gamma$ 과  $\mu$ 은 마코프 프로세스로 볼 수 있다[9]. 따라서, MN의 위치등록비용은 (그림 8)과 같이 내재점 마코프 체인(Imbedded Markov chain) 모델을 사용하여 비용을 계산할 수 있다. 동일한 PMIPv6 도메인 내에서  $K$ 개의 서브넷을 가지는 마코프 체인의 시스템 상태로 표현한다. 상태  $k$ 는 동일한 PMIPv6 도메인에서  $K$ 개의 서브넷을 지난 상태를 표시한다. 따라서, 상태전이확률  $\lambda$ 는 동일한 PMIPv6 도메인에서 MN이 이웃한 서브넷으로 이동한 전이확률을 표현하며, 상태전이확률  $\mu$ 는 MN이 이웃한 서브넷으로 이동하여 PMIPv6 도메인을 벗어난 전이확률을 표현한다. 따라서,  $P_0$ 를 MN이 상태 0에 있을 평행상태확률(equilibrium state probability)이라고 정의하면, MN이 상태  $k$ 에 있을 평행상태확률(equilibrium state probability)  $P_k$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.



(그림 8) 내재점 마코프 체인(Imbedded Markov chain) 모델

$$P_k = \left( \frac{\lambda}{\lambda + \pi} \right)^k P_0 \quad (4)$$

확률법칙에 의해서,  $P_0$ 는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{\pi}{\pi + \lambda} \\ P_k &= (1 - P_0)^k P_0 \end{aligned} \quad (5)$$

비용 계산식을 단순화하기 위해서, MN와 MAG, LMA, AAA서버, CN과 같은 이동성 에이전트와 호스트간의 전송 비용은 거리에 비례한다고 가정한다[8]. 또한, 서브넷마다 MAG는 하나씩 존재한다고 가정한다. (그림 2)와 같이 PMIPv6에서 위치등록절차 및 (4)와 (5)식 그리고 비례상수  $\delta_U$ 를 이용하여, PMIPv6의 위치등록비용  $U$ 에 대한 식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} U &= P_0 \cdot l_{nh} \cdot \delta_U + \\ &\sum_{i=1}^{\infty} i \cdot P_i \cdot (l_{nm} \cdot \omega + 2l_{ma} + 2l_{ml}) \delta_U \end{aligned} \quad (6)$$

PMIPv6에서는 CN이 MN에게 패킷을 전송하면, LMA와 MAG의 터널링 과정을 거쳐 MN에게 전송된다. 따라서, 패킷전송을 위한 비례상수  $\delta_D$ , 터널링 과정을 위한 비례상수  $\delta_T$ , 그리고 MN의 세션 도착률  $\lambda_\alpha$ 를 이용하여, PMIPv6의 패킷전송비용  $F$ 에 대한 식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F = (l_d + l_{ml} + \omega \cdot l_{nm}) \delta_D + \lambda_\alpha \cdot \delta_T \quad (7)$$

따라서, (6)과 (7)식을 이용하여  $C_T^P$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_T^P = U + F \quad (8)$$

### 5.1.2 FPMIPv6의 위치등록 및 패킷전송비용

FPMIPv6에서 MN은 처음 PMIPv6 도메인에 진입할 경우 LMA에 등록과정을 수행한다. 이후, MN이 이동할 경우 LMA에 위치등록을 수행하지 않고 이웃한 MAG에 등록과정을 수행한다. 따라서,  $i$ 번째 서브넷을 이동한 경우,  $\left\lfloor \frac{i}{K_{max}} \right\rfloor$  번 LMA에 위치등록과정을 수행하며,  $i - \left\lfloor \frac{i}{K_{max}} \right\rfloor$  개의 포인터 포워딩이 생성된다. 따라서, FPMIPv6의 위치등록비용  $U'$ 에 대한 식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} U' &= P_0 \cdot l_{nh} \cdot \delta_U + \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot P_i (l_{nm} \cdot \omega + 2l_{ma} + \\ &(i - \left\lfloor \frac{i}{K_{max}} \right\rfloor) l_{mm} + \left\lfloor \frac{i}{K_{max}} \right\rfloor l_{ml}) \delta_U \end{aligned} \quad (9)$$

FPMIPv6의 패킷전송시간은 CN이 LMA와 MAG를 통해 MN에게 패킷이 전송되는 시간과 포인터포워딩으로 인해 발생하는 패킷전달지연의 합으로 구성된다. 또한, 패킷전달지연은 포인터 포워딩을 따라 이웃한 MAG를 패킷이 통과하는데 걸리는 시간과 MAG에서 터널링을 위해 소요되는 시간의 합으로 계산될 수 있다. CN이 MN에게 패킷을 전송할 때, LMA와  $K_{max}$ 를  $i$ 로 나눈 나머지 값 만큼 포인터 포워딩을 따라 MAG를 통과하게 되므로  $F'$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} F' &= (l_d + l_{ml} + \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot P_i (i \% K_{max}) l_{mm} + \omega \cdot l_{nm}) \\ &\delta_U + \lambda_\alpha \delta_T (\sum_{i=1}^{\infty} i \cdot P_i (i \% K_{max})) \end{aligned} \quad (10)$$

(10)식의 첫 번째 부분은 패킷을 CN에서 MN까지 보내는데 전송되는 시간과 포인터 포워딩을 따라 MAG를 순회하는 시간이며, 두 번째 부분은 MAG에서 터널링에 소요되는 시간이다. 따라서, (9)과 (10)식을 이용하여  $C_T^{PF}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_T^{PF} = U' + F' \quad (11)$$

최대 포인터 포워딩 값  $K_{max}$ 의 최적값을 구하기 위해 (8)과 (11)식을 이용하여 차분식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta(\lambda_\alpha, V, D_s, D_m) = C_T^P - C_T^{PF} \quad (12)$$

$\Delta$ 값이 주어진 경우, 최대 포인터 포워딩 값  $K_{max}$ 의 최적값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K_{max}^{opt} = \begin{cases} 0, & \text{if } \Delta(\lambda_\alpha, V, D_s, D_m) \\ \max(K_{max}^{opt} : \Delta(\lambda_\alpha, V, D_s, D_m)), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

### 5.2 성능 평가

본 절에서는 5.1절에서 구한 비용 계산식에 의하여 몇 가지 실험에 따른 결과를 분석한다. 먼저, <표 2>와 같이 성능 평가를 위한 매개 변수 값을 설정한다[9-11].

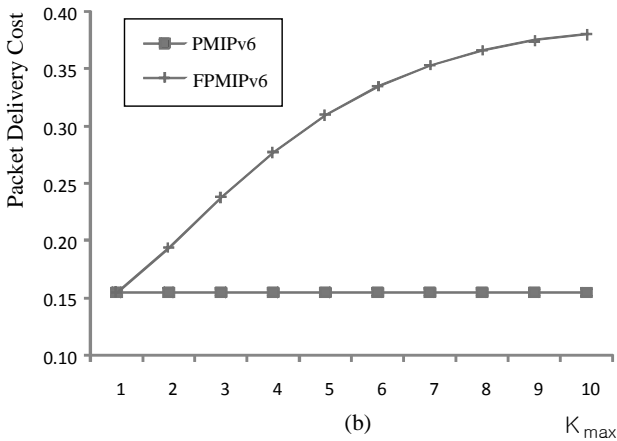
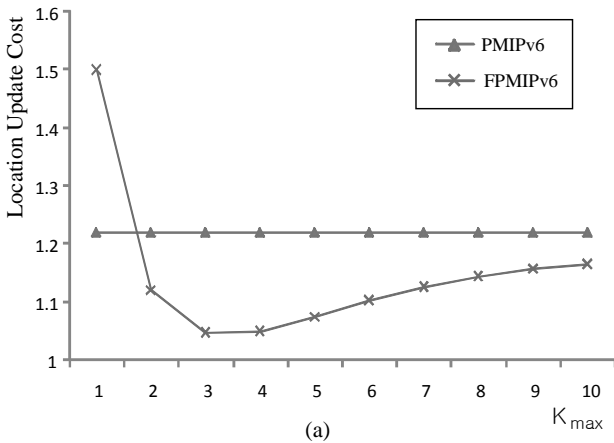
제안된 기법의 성능분석을 위하여 상대통신비용을 정의한다. 상대통신비용은 FPMIPv6에서 발생하는 위치등록 및 패킷전송비용의 합을 PMIPv6에서 발생하는 위치등록 및 패킷전송비용의 합으로 나눈 것이다. 상대통신비용이 1보다 작을 경우에는 제안기법 FPMIPv6가 기존의 PMIPv6보다 성능이 좋을 의미 한다. 상대통신비용이 1이라면, 정확히 두 기법의 위치등록 및 패킷전송 비용이 동일함을 의미한다.

(그림 9)는  $V=10$ ,  $D_s=10$ ,  $D_m=40$ ,  $\lambda_\alpha=0.01$  일 경우 최대 포인터 포워딩  $K_{max}$ 에 의한 위치등록 및 패킷전송 비용 비교를 보여주고 있다. (그림 9) (a)과 같이,  $K_{max}=1$

〈표 2〉 성능 분석을 위한 매개 변수 설정

매개 변수	값	매개 변수	값
$D_s$	1~10	$D_m$	10~1000
$V$	0~300 km/h	$\delta_U$	0.1
$\delta_D$	0.05	$w$	10
$l_{nm}$	1	$l_{ml}$	30
$l_{mm}$	3	$l_{ma}$	3
$l_d$	20	$l_{nh}$	30
$\lambda_\alpha$	0.001~100	$\delta_T$	10

인 경우를 제외하고 제안기법에서는 기존기법보다 감소된 위치등록 비용을 보여주고 있다. 이는 제안기법에서는 원거리에 위치한 LMA에 위치등록을 수행하는 대신 포인터 포워딩을 이용하여 이웃한 MAG에 위치등록을 수행하기 때문이다. 또한, (그림 9) (b)와 같이 포인터포워딩 길이가 증가할수록 제안기법의 패킷전송비용이 증가함을 볼 수 있는데, 이는 포인터포워딩 설정으로 인한 패킷전달지연이 증가하기 때문이다.

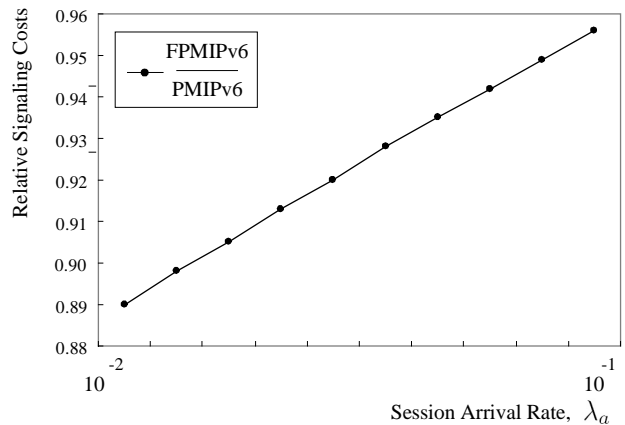


(그림 9) 최대 포인터 포워딩  $K_{max}$ 에 의한 위치등록 및 패킷전송비용 비교

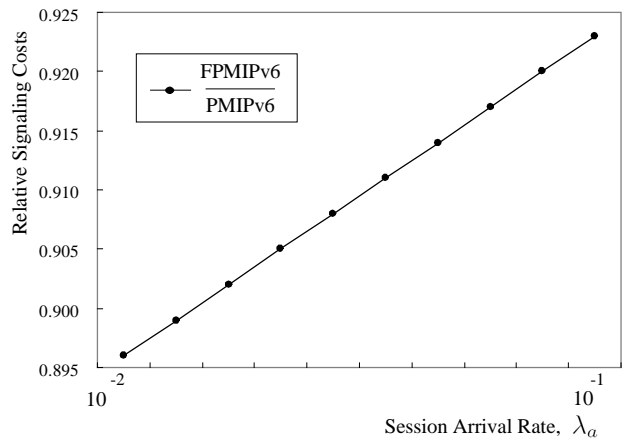
(그림 10)은  $V=10$ ,  $D_s=10$ ,  $D_m=50$ ,  $K_{max}=4$  일 경우 세션 도착률  $\lambda_\alpha$ 에 의한 상대통신비용 비교를 보여주고 있으며, (그림 11)은  $V=10$ ,  $D_s=10$ ,  $D_m=50$ ,  $K_{max}=3$  일 경우 세션 도착률  $\lambda_\alpha$ 에 의한 상대통신비용 비교를 보여주고 있다. (그림 10)와 (그림 11)에서 볼 수 있듯이, 세션 도착률이 증가할수록 상대통신비용이 증가하고 있는데, 이러한 이유는 세션 도착률  $\lambda_\alpha$ 이 증가할수록 제안기법에서는 패킷전송을 위한 포인터 포워딩을 위한 터널링 비용이 증가하기 때문이다. 전체적으로 제안기법이 기존기법보다 성능이 좋음을 볼 수 있다.

(그림 12)는  $V=10$ ,  $D_s=10$ ,  $D_m=50$ ,  $\lambda_\alpha=0.01$  일 경우 최대 포인터 포워딩  $K_{max}$ 에 의한 상대통신비용 비교를 보여주고 있다.  $K_{max}=1$ 인 경우를 제외하고 제안기법이 기존기법보다 더 좋은 성능을 보여주고 있다.  $K_{max}=4$ 일 때, 제안기법의 성능이 가장 좋음을 볼 수 있다. 이 경우 최대 포인터 포워딩  $K_{max}$ 의 최적값은 4이 된다.

(그림 13)는  $V=10$ ,  $D_s=10$ ,  $K_{max}=3$ ,  $\lambda_\alpha=0.01$  일 경우 PMIPv6 도메인 크기  $D_m$ 에 의한 상대통신비용 비교를

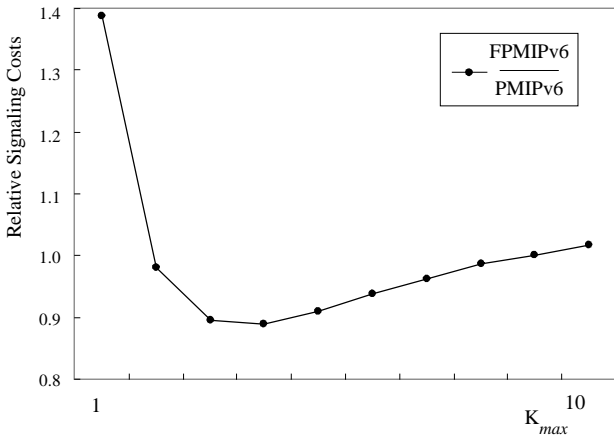


(그림 10) 세션 도착률  $\lambda_\alpha$ 에 의한 상대통신비용 비교

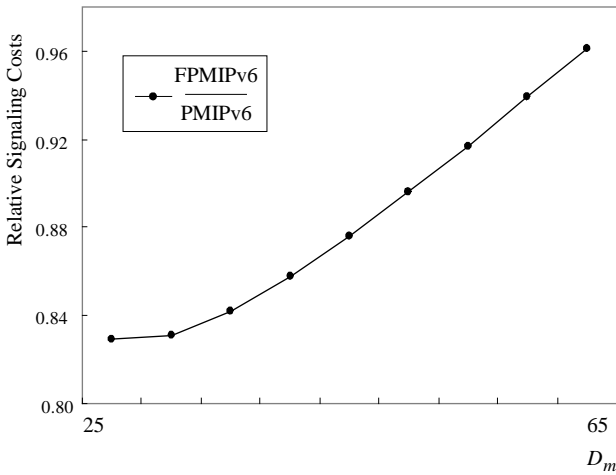


(그림 11) 세션 도착률  $\lambda_\alpha$ 에 의한 상대통신비용 비교





(그림 12) 최대 포인터 포워딩  $K_{max}$ 에 의한 상대통신비용 비교



(그림 13) PMIPv6 도메인 크기  $D_m$ 에 의한 상대통신비용 비교

보여주고 있다. PMIPv6 도메인 크기  $D_m$ 이 증가할수록 상대통신비용이 증가하고 있다. 위의 실험결과에 종합해 볼 때, 제안기법이 전체적으로 PMIPv6 기법보다 좋은 성능을 보여주고 있다.

## 6. 결론

PMIPv6는 네트워크 기반의 이동성 관리 프로토콜이다. 기존의 PMIPv6에서 MN에 전송되는 모든 데이터는 LMA와 MAG를 통해 전달된다. MN이 이동할 때 마다, MAG는 원거리에 위치한 LMA에 위치등록을 수행해야 하며, 이러한 위치등록절차는 LMA에 부하를 증가시킬 뿐 아니라, 네트워크로 전달되는 전체 트래픽이 증가하게 된다. 또한, LMA와 MAG의 거리가 멀수록 위치등록절차에 따른 지연은 더 길어지게 된다. 따라서, 본 논문에서는 Proxy Mobile IPv6 네

트워크에서 포인터 포워딩을 이용한 이동성 관리기법을 제안하였다. 제안기법에서 MN이 최초 PMIPv6 도메인에 진입하였을 경우 기존의 PMIPv6와 동일하게 LMA에 위치등록 과정을 수행한다. 하지만, 이후 MN이 이동 할 때마다 MAG는 원거리에 위치한 LMA에 등록하지 않고, 포인터 포워딩을 이용하여 근거리에 위치한 MAG에 등록함으로써 위치등록비용을 감소할 수 있다. 제안기법의 성능을 분석하기 위하여 내재점 마코프 체인(Imbedded Markov chain) 모델을 이용한 비용 계산식을 구하였으며, 수학적 비용 분석 결과를 통하여 제안기법이 기존의 PMIPv6보다 우수한 성능을 제공함을 알 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] D. Johnson, C. E. Perkins, J. Akko, Mobility Support in IPv6, IETF RFC 3775, June, 2004.
- [2] 신충수, 문영성, "Mobile IPv6환경에서 이동노드의 효율적인 위치 관리 방안", 정보처리학회논문지C, Vol.13-C, No.02, pp.0211-0218, 2006. 04.
- [3] 원유석, 조경산, "MIPv6의 안전한 바인딩 갱신을 위한 프로토콜 비교분석", 정보처리학회논문지C, Vol.10-C, No.06, pp.0755-0762, 2003. 10.
- [4] 변혜선, 이미정, "HMIPv6 네트워크에서 자원예약 시그널링 지연을 줄이기 위한 크로스오버 노드 발견 및 지역적 자원 갱신 방안", 정보처리학회논문지C, Vol.15-C, No.01 pp.0037-0044, 2008. 02.
- [5] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, B. Patil, Proxy Mobile IPv6, IETF RFC 5213, Aug., 2008.
- [6] R. Jain, Yi-Bing Lin, C. Lo, and S. Mohan, "A forwarding strategy to reduce network impacts of PCS," Fourteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Vol.1, pp.481-489, 1995.
- [7] X. Zhang, J. Castellanos, and A. Campbell, "Design and Performance of Mobile IP Paging," *ACM Mobile Networks and Applications*, March, 2002.
- [8] Jiang Xie, Ian F. Akyildiz, "A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.1, No.3, pp.163-175, July-Sept., 2002.
- [9] Sheldon M. Ross, Introduction to Probability Models : 9th Edition, Academic Press, 2007.
- [10] J. Ho, Y. Zhu, and S. Madhavapeddy, "Throughput and buffer analysis for GSM General Packet Radio Service," In Proc. WCNC'99, pp.1427-1431, 1999
- [11] P. Lin and Y.B. Lin, "Channel Allocation for GPRS," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol.50, No.2, 2001.



**이 명 규**

e-mail : kainos@kyungwon.ac.kr  
1997년 수원대학교 전자계산학과(학사)  
1999년 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)  
2005년 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사)  
2006년~현 재 경원대학교 컴퓨터미디어  
전공 연구교수

관심분야: 통신 프로토콜, 이동 컴퓨팅, 무선 네트워크, 네트워크 보안, 성능평가 등



**박 석 천**

e-mail : scpark@kyungwon.ac.kr  
1977년 고려대학교 전자공학과(학사)  
1982년 고려대학교 컴퓨터공학(석사)  
1989년 고려대학교 컴퓨터공학(박사)  
1979년~1985년 금성통신연구소  
1991년~1992년 UC, Irvine Post Doc.

1988년~현 재 경원대학교 컴퓨터공학과 정교수  
관심분야: 유비쿼터스 컴퓨팅, 멀티미디어 통신, 초고속 통신 프로토콜, 무선네트워크 등



**김 형 헌**

e-mail : hunniee@lycos.co.kr  
2008년 경원대학교 인터넷미디어학과(학사)  
2009년~현 재 경원대학교 전자계산학과  
석사

관심분야: 통신 프로토콜, 멀티미디어 통신,  
무선 네트워크 등



**양 영 규**

e-mail : ykyang@kyungwon.ac.kr  
1972년 서울대학교(학사)  
1974년 서울대학교 환경대학원(석사)  
1985년 Texas A&M 대학교 공간정보처리  
전공(박사)  
1973년~1996년 시스템공학연구소 연구원

1996년~2003년 한국전자통신연구원 연구원  
2003년~현 재 경원대학교 컴퓨터미디어전공 교수  
관심분야: LBS, RS/GIS