

# Proxy Mobile IPv6에서의 Route Optimization 성능 분석

이제민\*, 이종혁\*, 정태명\*\*  
\*성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과  
\*\*성균관대학교 정보통신공학부  
e-mail:jmlee@imtl.skku.ac.kr

## Performance Analysis of Route Optimization on Proxy Mobile IPv6

Jae-Min Lee\*, Jong-Hyoun Lee\*, Tai-Myoung Chung\*\*

\*Dept. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

\*\*School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### 요 약

이동성을 제공하기 위한 프로토콜 중 오랜 기간 많은 연구로 표준화가 된 Mobile IPv6 (MIPv6)가 있다. MIPv6는 호스트 기반 이동성 제공 프로토콜로서 이동 단말이 이동성에 필요한 시그널링을 직접 수행한다. 한편, 최근에 표준화 작업이 진행 중인 Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6)는 네트워크 기반 이동성 제공 프로토콜로서 이동 단말이 아닌 네트워크 자체에서 이동성을 제공한다. PMIPv6는 MIPv6에서 Home Agent와 같은 역할을 하는 Local Mobility Anchor 와 이동 단말이 수행하던 시그널링을 대신하는 Mobile Access Gateway 를 정의하여 이동성을 제공한다. PMIPv6의 기본 동작 과정에 대한 표준화가 진행됨에 따라 프로토콜의 최적화에 대한 이슈가 부각되고 있다. Route Optimization은 이러한 최적화 이슈 중 하나로서 패킷 전송 시 최적화 된 경로를 설정하고 발생할 수 있는 전송 지연을 최소화하는 기법이다. 본 논문에서는 PMIPv6에서의 Route Optimization을 적용하기 위해 Liebesch 인터넷 드래프트에서 제안 한 기법의 동작 과정을 살펴보고 PMIPv6의 기본 전송 과정과 비교하여 그 성능을 분석하였다.

### 1. 서론

최근 WiBro, HSDPA, 802.11n 등 무선 네트워크 기술의 발달과 함께 노트북, PDA 등 이동성을 제공할 수 있는 기기의 보급으로 인해 언제 어디서든지 원하는 장소에서 무선 인터넷을 즐기고 이동 중에도 서비스를 받고자 하는 수요가 급증하고 있다. 이로 인해 휴대 단말 장치의 이동성을 보장하기 위한 프로토콜의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구 중 가장 대표적인 것으로 Internet Engineering Task Force (IETF) 표준인 Mobile IPv6 (MIPv6) 가 있다 [1].

오랜 연구 기간을 통해 안정화되어 표준이 된 MIPv6는 IP 계층에서 이동 노드 (Mobile Node, MN)가 다른 Access Router (AR)로 핸드오프를 하더라도 세션이 유지되도록 한다. MIPv6에서 MN의 상태 정보를 관리하기 위해 Home agent (HA)가 있으며, MN은 새로운 서브넷으로 이동을 할 때 마다 HA에게 바인딩 업데이트를 수행하게 된다.

MIPv6는 MN이 시그널링의 주체가 되기 때문에 프로토콜을 지원하기 위한 스택의 수정이 불가피하다. MIPv6를 지원하기 위한 프로토콜 스택은 제한된 자원을 가진 MN에 구현하기에는 너무 방대한 기술이며 많은 메시지 교환

으로 인한 배터리의 소모는 큰 단점이 되고 있다.

기존 MIPv6의 단점을 극복하고 상용망에서도 운영될 수 있도록 하기 위해 IETF의 Network-based Localized Mobility Management (NETLMM) 워킹 그룹을 중심으로 네트워크 기반의 이동성을 제공하는 Proxy MIPv6 (PMIPv6) 표준화 작업을 진행하고 있다 [2]. PMIPv6는 이동성을 제공하기 위해 MN에 MIPv6 기능 이외에 어떠한 추가 기능도 필요하지 않다는 큰 장점이 있다. PMIPv6 도메인에서는 MN과의 메시지 교환 없이 네트워크 엔티티들이 MN의 이동을 감지하여 MN의 위치 정보를 갱신하고 유지하는 모든 과정을 대신 수행하게 된다. 기본 동작 과정에 대한 표준화 작업이 진척됨에 따라 표준문서에서 다루지 않은 프로토콜의 최적화에 대한 이슈가 부각되고 있다. 최적화를 위한 이슈 중에서 Route Optimization (RO) 은 최적화 된 경로를 설정하여 패킷 전송 시 발생할 수 있는 지연과 혼잡을 줄여 효율적인 통신을 할 수 있도록 하는 기법이다. PMIPv6에서는 기존의 호스트 기반의 RO 설정 과정을 수행할 수 없기 때문에 네트워크 기반의 새로운 방식의 프로토콜이 요구되고 있다.

본 논문에서는 네트워크 기반의 이동성을 제공하는 PMIPv6에서의 RO 과정을 위해 인터넷 드래프트 [3]에서 제안된 기법의 동작과정을 살펴보고 그 성능을 분석하였다. 2장에서는 PMIPv6의 기본적인 동작과정과 RO 이슈에 대해 살펴보고, 3장에서는 [3]에서 제안된 기법에 대

본 논문은 보건복지부 보건의료기술진흥사업회 지원에 의하여 이루어진 것임 (과제번호:02-PJ3-PG6-EV080001)

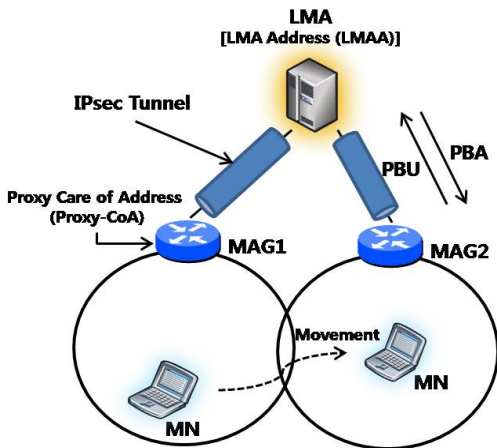
해서 Ro 설정 과정에 대해 알아본다. 4장에서는 성능 평가를 위한 수식을 도출하고 결과에 대한 분석을 한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. PMIPv6 기본 동작 과정과 RO 이슈

IETF NETLMM 워킹 그룹에서 표준화 작업을 진행 중인 PMIPv6는 네트워크 기반의 이동성을 제공한다. 즉, 기존 프로토콜에서 MN이 수행하던 시그널링을 네트워크 엔티티들이 대신 수행하게 된다. PMIPv6에서 새롭게 정의한 두 개의 엔티티로서 Local Mobility Anchor (LMA)와 Mobile Access Gateway (MAG)가 있다. LMA는 MIPv6에서의 HA와 같은 기능을 수행하며, MAG는 MN의 이동을 탐지하고 MN 대신에 Proxy Binding Update (PBU) 메시지를 LMA에게 전송하는 역할을 수행한다.

MAG가 MN이 접속한 것을 탐지하면 MN에 대한 인증 과정을 수행한 후 LMA에게 PBU 메시지를 전송한다. LMA는 PBU 메시지를 받은 후 Binding Cache Entry (BCE)에 MN에 대한 상태 정보를 생성하고 Proxy Binding Acknowledge (PBA) 메시지에 해당 MN에 대한 Home Network Prefix (HNP)를 담아 MAG에게 전송한다. PBA 메시지를 받은 MAG는 Router Advertisement (RA) 메시지에 LMA로부터 받은 HNP를 담아 MN에게 전송하고, MN은 HNP를 이용하여 Home Address (HoA)를 생성하게 된다. PMIPv6에서 기본적으로 LMA와 MAG 사이에는 Security Association (SA)를 맺기 때문에 안전한 메시지 교환을 보장하고 있다.

LMA는 MN의 HNP에 대한 Topological Anchor Point로서, MN으로 송수신 되는 모든 패킷은 LMA를 거쳐야 한다. 하지만, 네트워크 토폴로지 상 가까운 거리의 MN에게 패킷을 전송할 경우에도 LMA를 거쳐서 가게 된다. 이러한 삼각 라우팅 문제는 패킷 전송 시 추가적인 지연을 발생시키고 패킷 재전송 (Re-transmission)을 유발하여 전송 품질을 떨어뜨리고 원활한 서비스를 제공하기 어렵게 한다. 따라서 이동 단말의 전송 지연을 줄이고 끊김 없



(그림 1) PMIPv6 동작 과정

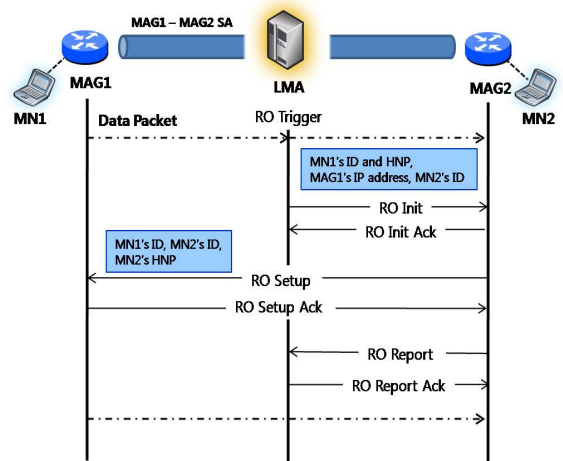
는 서비스를 제공하기 위해 최적화된 경로를 설정하고 관리하는 RO에 대한 관심이 커지고 있고 이에 대한 다양한 기법에 제안되고 있다.

## 3. 제안된 네트워크 기반의 RO 기법

앞서 살펴 본 PMIPv6에서의 RO 문제를 해결하기 위해 서 인터넷 드래프트 [3]이 제안 되었다. 이 드래프트에서는 LMA와 MAG들의 메시지 교환을 통해 RO 경로를 설정하고 갱신하는 기법을 제안하고 있다. 또한 제안된 기법에서는 해당 도메인에 대한 네트워크 토폴로지 정보를 가지고 있는 LMA에게 RO 컨트롤 기능을 부여하는 것을 권고하고 있다. 제안된 프로토콜은 Direct Mode와 Proxy Mode의 두 개의 운영 모드를 제공한다.

### 3.1 Direct mode

Direct mode에서는 RO 경로 설정을 위한 정보를 MAG간 메시지 교환을 통해 전달하게 된다. 그림 2는 Direct mode에서의 RO 경로 설정 과정을 보여주고 있다. MN1이 MN2에게 데이터 전송을 시작을 하였을 때, LMA는 MN1과 MN2의 HNP를 보고 RO 설정이 가능함을 탐지한다. LMA는 MAG2에게 MN1의 ID와 HNP, MAG1의 IP address와 MN2의 ID를 RO Init에 담아 전송한다. MAG2는 LMA에게 RO Init Ack 메시지를 전송하고, MAG1에게 RO Setup 메시지를 전송한다. RO Setup 메시지에는 MN1과 MN2의 ID와 MN2의 HNP가 담겨지게 된다. MAG1은 다시 MAG2에게 RO Setup Ack 메시지를 전송하고 MAG1은 LMA에게 RO 설정이 완료되었음을 알리는 RO Report 메시지를 전송하게 된다. MAG간 전달되는 메시지에 담긴 정보는 반드시 보호 되어야 하기 때문에 두 MAG 사이에는 SA가 맺어져 있어야 한다. 앞서 살펴본 과정을 통해 RO 경로가 설정된 상태에서 MN1이 다른 MAG로 이동하게 되면 다시 RO 갱신 과정을 수행하게 된다. MN의 이동을 탐지한 MAG3은 LMA에게 PBU

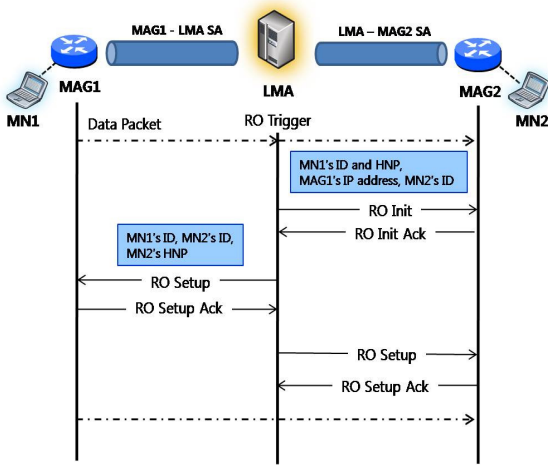


(그림 2) Direct mode에서의 RO 설정 과정

메시지를 전송하게 된다. 이 때 LMA는 MN1에 대한 RO 경로의 갱신 트리거를 발생시키고 PBA 메시지를 전송한 후 MAG3에게 RO Init 메시지를 전송한다. 이 후의 동작 과정은 앞서 살펴 본 과정과 동일하게 수행 된다.

### 3.2 Proxy Mode

3.1 절에서 살펴 본 Direct mode와 달리 Proxy mode에서는 MAG간의 직접적인 정보 교환이 일어나지 않는다. RO 설정에 필요한 모든 정보는 LMA와 각각의 MAG와의 메시지 교환을 통해 전달 된다. 그림 3은 Proxy mode에서의 메시지 전달 과정을 보여주고 있다. LMA가 RO 설정이 가능함을 탐지하면 LMA는 MAG2에게 RO Init 메시지를 전송한다. 이 때 전송되는 정보는 Direct mode와 동일하다. Direct mode와 달리 LMA가 MAG2로부터 RO Init Ack 메시지를 받게 되면, LMA가 MAG1에게 RO Setup 메시지를 전송한다. MAG1은 RO 경로를 설정하고 LMA에게 RO Setup Ack 메시지를 전송한다. LMA는 MAG2에게 같은 메시지를 송수신함으로써 RO 설정 과정을 완료하게 된다. MN이 다른 MAG로 이동하였을 경우에도 동일한 메시지 교환을 통해서 RO 갱신을 수행한다. Proxy Mode는 LMA와 MAG가 SA를 맺고 있기 때문에 메시지의 보안성을 보장할 수 있다.



(그림 3) Proxy mode에서의 RO 설정 과정

## 4. 성능 평가

본 논문에서는 기본 PMIPv6와 인터넷 드래프트 [3]에서 제안된 RO 기법의 성능을 위치 정보를 갱신할 때 발생하는 시그널링 비용과 패킷 전송 시 발생하는 패킷 전송 비용으로 나누어 평가하였다.

### 4.1 Location Update Cost

PMIPv6에서 발생하는 시그널링 비용 (Signaling Cost)은 MN의 핸드오프로 인한 바인딩 업데이트 메시지와 RO 설정을 위한 메시지로 나누어진다. 본 논문에서는 이동성

프로토콜에 대한 성능 평가에 널리 쓰이는 Fluid-flow 모델을 사용하였다. Fluid-flow 모델은 MN의 이동 속도와 핸드오프 빈도에 영향을 많이 받게 된다. 그러므로 MN이 셀과 셀 사이를 이동하는 빈도는 다음과 같은 수식으로 표현 된다 [4][5].

$$r_c = \frac{\rho v l}{\pi} \quad (1)$$

식 (1)에서  $\rho$ 는 분포하고 있는 MN의 밀도수를 나타내고  $v$ 는 MN의 평균 이동 속도를 나타내며  $l$ 은 셀 하나의 범위를 나타낸다.

시그널링 비용은 메시지를 주고받는 엔터티간 거리에 비례한다. 본 논문에서 엔터티 간 거리는 홉(hop) 수를 기준으로 하며  $x$ 와  $y$ 의 거리를  $D_{x,y}$ 로 표기한다. 또한 유선 링크와 무선 링크의 전송 비용이 다르기 때문에 각각의 전송 비용을  $\tau$ 와  $\kappa$ 로 나타낸다 [5].

PMIPv6에서는 MAG가 MN에 대한 바인딩 업데이트 메시지를 대신 전송하기 때문에 시그널링 비용에서 무선 링크의 전송 비용이 포함되지 않는다. 그러므로 PMIPv6의 시그널링 비용,  $SC_{PMIPv6}$ 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SC_{PMIPv6} = 2\tau D_{MAG,LMA} r_c n \quad (2)$$

식 (2)에서  $n$ 은 셀의 수를 나타낸다. [1]에서 제안된 RO 설정 과정은 기본적으로 PBU와 PBA 과정이 수행된 후에 일어나기 때문에 식 (2)의 값을 포함된다. 식 (3), (4)는 각각 Direct mode와 Proxy mode의 시그널링 비용을 나타낸다.

$$SC_{Direct} = 2\tau D_{MAG,LMA} r_c n + 4\tau D_{MAG,LMA} r_c n + 2\tau D_{MAG,MAG} r_c n \quad (3)$$

$$SC_{Proxy} = 2\tau D_{MAG,LMA} r_c n + 6\tau D_{MAG,LMA} r_c n \quad (4)$$

### 4.2 Packet delivery cost

Packet delivery cost는 MN과 CN 사이에서 패킷이 전송될 때, 발생하는 프로세싱 비용과 전송 비용의 합으로 나타낸다. 프로세싱 비용은 LMA와 MAG에서 패킷이 도착했을 때 MN에 대한 정보를 검색하는 비용과 해당 패킷에 대한 라우팅 정보를 검색하는 비용으로 나누어진다. [4]에서 정의한 프로세싱 비용 함수를 이용하여 LMA와 MAG의 프로세싱 비용 수식을 도출하였다.

$$P_{LMA} = n\lambda(\alpha \log \delta n + \beta \log n) \quad (5)$$

$$P_{MAG} = n\lambda(\alpha \log \delta + \beta) \quad (6)$$

위 식에서  $\lambda$ 는 평균 패킷 도착율을 나타내고  $\delta$ 는 하

나의 셀 안에 분포하는 평균 MN의 개수를 나타내며,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 가중치를 의미한다.

전송 비용은 MN과 CN과의 거리에 비례하기 때문에 각각의 packet delivery cost는 다음 수식과 같이 표현된다.

$$PD_{PMIPv6} = P_{LMA} + P_{MAG} + 2\kappa + 2\tau D_{MAG,LMA} \quad (7)$$

$$PD_{Direct} = P_{MAG} + 2\kappa + \tau D_{MAG,MAG} \quad (8)$$

식 (8)은 RO 경로가 설정되었을 때를 나타내며, Proxy mode도 동일한 수식으로 표현될 수 있다.

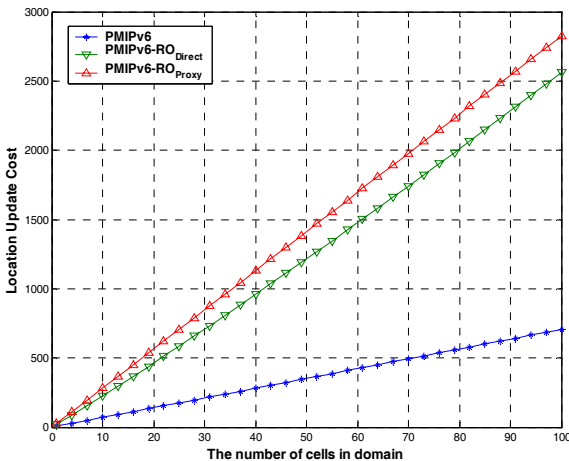
### 4.3 결과 및 분석

이번 절에서는 4.1과 4.2절에서 수립 한 수식을 이용하여 [3]에서 제안 된 RO 기법에 대한 성능 분석을 하였다. 성능분석에 사용 된 파라미터 값은 표 1 과 같다 [4][5][6].

그림 4는 도메인 안에 분포하는 셀의 수를 증가시켰을 때의 시그널링 비용의 변화를 보여준다. PBU와 PBA 이외에도 RO 설정을 위한 시그널링이 발생하기 때문에 [1]에서 제안 된 기법들은 RO가 적용이 안 된 기본 PMIPv6 동작과정보다 더 큰 값을 나타냈다. 표 1에서 LMA와 MAG간 거리 보다 MAG와 MAG 사이의 거리가 작기 때문에 [3]에서 제안된 기법에서 Direct mode가 Proxy mode 보다 시그널링 비용이 적게 발생했다. 반면, 그림 5에서 보는 바와 같이 패킷 전송 비용은 RO 경로가 설정되었을 때 약 45% 감소하는 것을 볼 수 있다. LMA를 경유하지 않고 직접 MAG간 패킷 전송을 하기 때문에 RO가 적용되지 않았을 때 발생하는 프로세싱 비용과 전송 비용이 없게 된다. 그러므로 패킷 전송 시 지연 시간을 줄일 수 있게 되고 LMA에 대한 병목 현상을 막을 수 있게 된다.

## 5. 결론

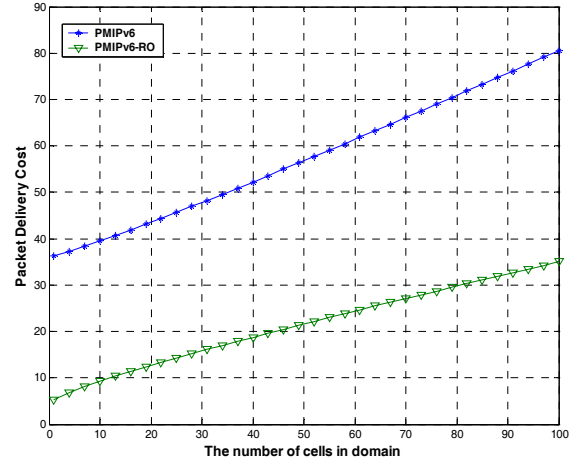
본 논문에서는 PMIPv6에서의 RO 설정을 위해 인터넷



(그림 4) Signaling Cost

<표 1> 성능 분석 파라미터 값

Parameter	Value
$\rho / \nu / \lambda / \tau / \kappa$	0.0002/28.9/120/1/2
$\lambda / \alpha / \beta / \delta$	0.1/0.3/0.7/15
$D_{MAG,LMA} / D_{MAG,MAG}$	$16 / \sqrt{n}$



(그림 5) Packet Delivery Cost

드래프트 [3]에서 제안한 기법에 대해 그 동작과정을 살펴보고 성능분석을 하였다. 제안된 기법은 기존 RO 기법과는 달리 네트워크 엔터티들의 메시지 교환으로 이루어진다. 성능 분석을 통해 시그널링 비용은 RO 설정 과정으로 인해 증가하였지만 패킷 전송 비용은 약 45% 이상 감소하였다. RO 기법을 통한 최적화 경로의 설정은 패킷 지연을 감소시키고 LMA의 부하를 줄임으로서 모바일 환경에서의 효율적인 전송 환경을 제공 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] D. Johnson et al., "Mobility Support in IPv6", RFC3775, 2004.
- [2] S.Gundavelli et al., "Proxy Mobile IP6", Internet draft, Feb. 2008
- [3] M.Liebesch et al., "Route Optimization for PMIPv6", Internet draft, Nov. 2007
- [4] S. Park et al., "Localized PMIPv6 with Route Optimization in IP based Networks", IEICT Trans. Commun., vol.E90-B, no.12, Dec. 2007
- [5] S. Pack and Y. Choi, "A study on performance of Hierarchical Mobile IPv6 in IP-based cellular networks", IEICT Trans. Commun., vol.E87-B, no.3, March 2004.
- [6] J Xie and I.F. Akyildiz, " An optimal location management scheme for minimizing signaling cost in mobile IP", Proc. IEEE ICC 2002, vol.5, pp.3313-3317, Apr. 2002.