

# Proxy Mobile IPv6 네트워크에서의 적응적 경로 최적화

## (Adaptive Route Optimization for Proxy Mobile IPv6 Networks)

김민기\*      이수경\*\*  
(MinGi Kim)      (SuKyoung Lee)

**요약** Proxy Mobile IPv6(PMIPv6)은 이동노드를 대신하여 액세스 망에서 노드의 이동성을 지원하기 위한 네트워크-기반 이동성 관리 프로토콜이다. 기존의 PMIPv6 프로토콜에서는 이동 노드가 통신하고자 하는 상대 노드가 동일한 Mobile Access Gateway(MAG)내에 있더라도 데이터 패킷은 이동노드의 Local Mobility Anchor(LMA)를 통과하여 전송되기 때문에 패킷 전송비용이 증가하는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 다양한 경로 최적화 기법이 제안되었다. 하지만, 기존의 경로 최적화기법들은 이동노드가 핸드오버 할 때 마다 신호전송비용이 발생한다. 만약 이동노드가 빈번하게 핸드오버 하는 경우 신호전송비용이 높아진다. 따라서 본 논문에서는 LMA에서 MAG내 이동노드의 이동 및 상대노드와 이동노드간의 패킷전송를 고려하여 선택적으로 경로최적화를 수행할 수 있는 선택적 경로 최적화를 제시한다. 제안된 기법의 성능을 수식분석 및 모의실험을 통하여 분석하였으며, 이를 통하여 제안된 기법이 기존의 경로최적화보다 우수한 성능을 제공할 수 있음을 알 수 있었다.

**키워드** : Proxy Mobile IPv6(PMIPv6), 경로최적화, 핸드오버

**Abstract** Proxy Mobile IPv6(PMIPv6) is that network-based mobility management protocol that network supports mobile node's mobility on behalf of the Mobile Node(MN). In PMIPv6 network, data packets from a Correspondent Node(CN) to a MN will always traverse the MN's Local Mobility Anchor(LMA). Even though, CN and MN might be located close to each other or within the same PMIPv6 domain. To solve this problem, several PMIPv6 Route Optimization(RO) schemes have been proposed. However, these RO schemes may result in a high signaling cost when MN moves frequently between MAGs. For this reason, we propose an adaptive route optimization(ARO) scheme. We analyze the performance of the ARO. Analytical results indicate that the ARO outperforms previous schemes in terms of signaling overhead.

**Key words** : Proxy Mobile IPv6(PMIPv6), Route Optimization, handover

- 본 연구는 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 IT인 성장 동력 핵심 기술 개발 사업의 일환으로 수행하였음(2007-F-038-02, 미래인터넷 핵심기술 연구)
- 이 논문은 제35회 추계학술발표회에서 'Proxy Mobile IPv6에서의 적응적 경로 최적화 방안'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

\* 학생회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과  
mailpass@winet.yonsei.ac.kr  
\*\* 정회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
sklee@cs.yonsei.ac.kr  
(Corresponding author임)

논문접수 : 2008년 12월 19일  
심사완료 : 2009년 2월 18일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제36권 제3호(2009.6)

## 1. 서론

최근 망 기반의 IP이동성 제공에 대한 요구가 증가함에 따라 IETF(Internet Engineering Task Force)의 망 기반 이동성 관리 워킹 그룹(NETLMM WG: Network-based Localized Mobility Management Working Group)에서 망 기반의 IP 제공 기술로 Proxy Mobile IPv6(PMIPv6)[1]라는 네트워크 관리 프로토콜 표준을 제공하였으며, PMIPv6은 기존의 MIPv6(Mobile IPv6)[2]과 달리 이동노드(MN: Mobile Node)에게 이동성을 위한 어떠한 수정도 요구하지 않는다. 즉, PMIPv6 도메인 내에서 MN이 IPv6 프로토콜만 가지고 있다면 도메인 내 어느 곳으로 이동하더라도 LMA(Local Mobi-

lity Anchor)와 MAG(Mobility Access Gateway)와 같은 망 장비들이 이동성 지원을 위한 신호 전달을 대신 수행하기 때문에 MN은 PMIPv6 도메인 내에서 항상 이동성을 제공받을 수 있다.

PMIPv6 프로토콜에서는 MN과 통신하고자 하는 상대 노드(CN: Correspondent Node)와 같은 MAG내에 있더라도 하더라도 반드시 LMA를 통하여 패킷이 전달되기에 최적화 되지 않은 경로를 통하여 패킷이 전송되기에 패킷전송비용이 증가하는 원인이 된다. 이 문제를 해결하기 위해 많은 경로최적화기법(RO: Route Optimization) [3,4]이 제안되었다. 기존 경로최적화기법은 CN과 MN의 MAG내 바인딩 캐쉬 엔트리(BCE: Binding Cache Entry)에 자신이 통신하고 있는 상대의 ID, IP 주소, 상대노드의 MAG 주소(P-CoA: Proxy Care-of-Address)를 저장하는 방법으로 이를 위해서는 LMA와 MAG사이, MAG와 MAG 사이에 추가적인 신호전달이 필요하다. 경로최적화가 완료된 이후에는 CN에서 MN으로 전송되는 패킷은 LMA를 거치지 않고 최적화된 경로를 통해 상대방의 MAG로 전송되기에 패킷 전송 비용이 줄어든다.

하지만 기존의 경로 최적화 기법들은 MN의 상태를 고려하지 않고 MN이 핸드오버 하는 경우 빠르게 경로 최적화를 재설정 하는데 초점을 두었다. 만약 MN의 속도가 빨라 MAG를 자주 이동하는 경우나 CN에서 MN으로 전송하는 패킷 전송률이 낮은 경우 기존의 경로 최적화방법을 적용하면 패킷전송비용은 줄어들게 되지만 경로최적화를 실행하기 위한 신호전송비용이 증가하기 때문에 패킷전송비용과 신호전송비용의 합인 총 전송비용이 증가하게 되는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위하여 LMA에서 MAG내 MN의 상주시간 및 MN과 CN 사이의 패

킷 전송률을 고려하여 MN이 핸드오버 하였을 때, LMA에서 경로최적화를 여부를 결정할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 경로최적화 기법에 대해 소개하고 문제점들을 알아본다. 3장에서는 제안하는 적응적 경로 최적화 방안을 기술한다. 4장과 5장에서는 기존이 경로최적화 기법들과 제안한 방법의 성능을 비교 분석 하였고 마지막 6장에서 결론을 내리도록 한다.

## 2. 관련 연구

PMIPv6 도메인 내에서 삼각 라우팅 문제를 해결하기 위해서 Abeille이 제안한 PMIPv6-based RO scheme [3]에서는 MN과 CN이 같은 LMA에 있는 Intra-LMA와 MN과 CN이 다른 LMA에 있는 Inter-LMA의 상태로 나누어 고려하였다. 본 논문에서는 Intra-LMA 환경에서 MN과 CN 사이에 경로 최적화가 이루어진 경우 MN이 핸드오버 하였을 때 기존의 경로최적화를 수정하는 경우를 고려하였다.

그림 1, 2는 PMIPv6 도메인 내의 구성요소와 MAG와 LMA의 BCE 및 경로최적화를 위한 메시지 교환 절차를 나타내었다. CN과 MN은 같은 LMA내에 존재하고 CN과 MN사이에 경로최적화가 설정되어 있으며 패킷은 CN에서 MN으로 전송된다고 가정한다.

MN이 pMAG(pervious MAG, MAG2)에서 nMAG(new MAG, MAG3)로 이동하였을 경우 CN의 MAG의 BCE에는 MN의 pMAG 정보가 있고 MN의 nMAG에는 CN의 정보가 없다. MN이 nMAG에 접속하여 LMA에 PBU(Proxy Binding Update)를 하면 LMA는 MN이 pMAG에서 nMAG로 이동한 사실을 알게 되고 LMA는 자신의 BCE내 P-CoA 정보를 수정함과 동시에 MN의 nMAG에게 MN과 통신하고 있는 CN의 ID,

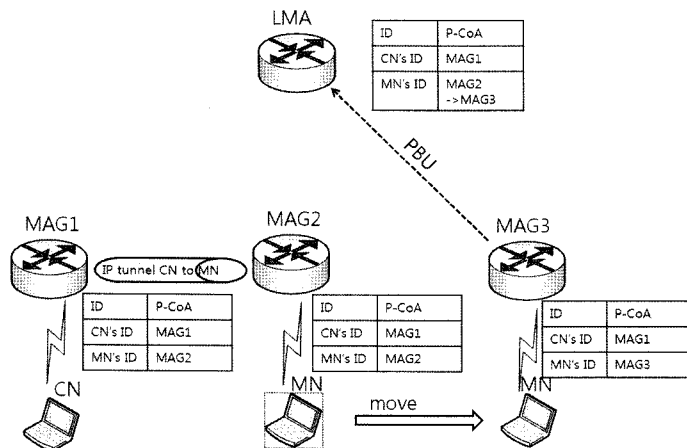


그림 1 PMIPv6 구성 요소

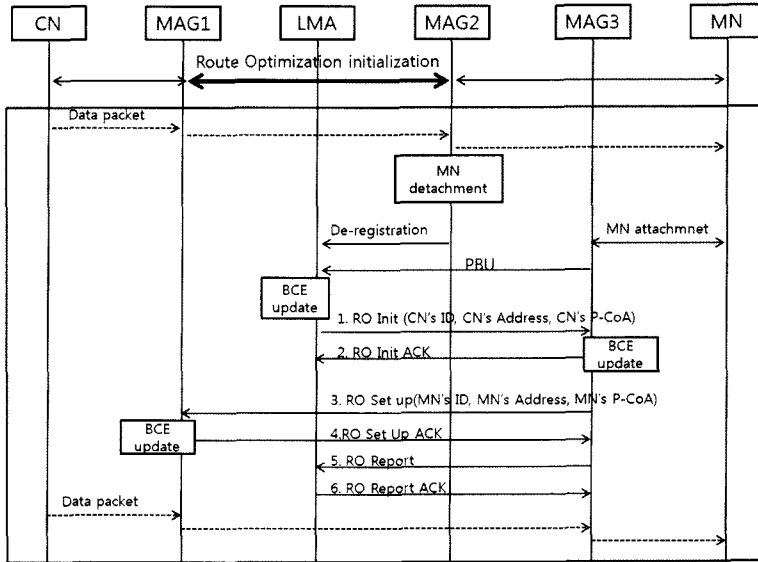


그림 2 경로 최적화를 위한 메시지 교환 절차

CN의 IP 주소, CN의 P-CoA 정보 등을 담은 RO Initiation 메시지를 MN의 nMAG에 전송한다.

RO Initiation 메시지를 수신한 MN의 nMAG는 자신의 BCE에 CN의 정보를 저장한다. 그 후 CN의 MAG에게 MN의 ID, MN의 IP 주소, MN의 P-CoA 정보 등을 담은 RO Set Up 메시지를 전송한다.

RO Set Up 메시지를 수신한 CN의 MAG 또한 자신의 BCE내 MN의 정보를 수정한 후 MN의 nMAG에게 ACK 신호를 보내며 그 후부터 CN에서 MN으로 전송하는 패킷은 CN의 MAG에서 MN의 nMAG로 전송된다. 또한 RO Set Up ACK 메시지를 수신한 MN의 nMAG는 RO 과정이 마쳤다는 정보를 LMA에게 RO Report 메시지를 통하여 전송한다.

### 3. 제안하는 적응적 경로최적화 방안

우리는 MN이 핸드오버 할 경우, MN의 상태에 따라 선택적으로 경로 최적화를 수행 할 수 있는 방안을 제안하였다. 즉, LMA에서 MN의 이동률뿐만 아니라 MN과 CN사이의 패킷전송률을 고려하여 MN이 핸드오버 하였을 때 LMA에서 선택적으로 경로 최적화를 실행할 수 있도록 하였다.

이를 위하여 본 논문에서는 단위 핸드오버에 따른 패킷 전송량을 나타낼 수 있는 PMR(Packet to Mobility Ratio)[5] 사용하였다. CN이 MN으로 보내는 평균 데이터 패킷 전송 비율을  $\lambda$ 라고 하고, MN의 MAG내 평균 상주시간을  $T_R$ 라고 한다면  $PMR(\rho)$ 은  $\rho = \frac{\lambda}{T_R}$ 로 나타

낼 수 있다[5]. PMR의 한계 값을  $\sigma$ 라고 한다면 MN이 pMAG에서 nMAG로 핸드오버 하는 경우 LMA에서 PMR 및 PMR의 한계 값을 비교하여  $\rho \geq \sigma$ 인 경우는 경로최적화를 실행하며 그렇지 않은 경우는 경로최적화를 실행하지 않음으로서 패킷전송비용의 감소뿐만 아니라 불필요한 신호전송비용을 줄일 수 있도록 하였다.

MN의 MAG내 평균 이동률을 측정하기 위해서는 MAG내 MN의 평균 상주시간 및 각각의 MAG에서의 상주시간을 측정하여야 한다. MN의 MAG내 평균 상주시간을  $T_R$ 이라 하고 MN의 pMAG내 상주시간을  $T_p$ 라고 한다면,  $T_p$ 은 LMA가 pMAG로부터 de-registration 메시지를 받은 시간에서 LMA가 pMAG로부터 MN이 처음 접속 하였다는 PBU 메시지를 받은 시간차를 통해서 알 수 있다.

평균값으로 MAG내 상주시간을 구하는 방식은 최근의 MAG내 상주시간과 이전의 MAG의 상주시간을 같은 비중으로 취급하기에 MN의 이동을 잘 표현하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 최근 값에 더 높은 가중치를 부여할 수 있는 EWMA(Exponential Weighted Moving Average)[6]를 적용하여 MN의 MAG내 평균 상주시간을 구하였다. EWMA를 적용한 MN의 MAG내 평균 상주시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_R = (1-\alpha) \cdot T_{R-1} + \alpha \cdot T_{pMAG} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{2}{N+1} \quad (2)$$

식 (1)에서  $T_{R-1}$ 은 이전의 평균상주시간 값이며  $T_p$

은 pMAG내에서의 상주시간이다.  $\alpha$ 는 EWMA를 적용하기 위한 가중치를 의미한다[6]. 여기서 N은 MN이 핸드오버 횟수이며 기본 값을 1로 두고 핸드오버 발생시 1씩 증가 시킨다.

MN과 CN사이의 패킷 전송률은 경로최적화 되지 않은 경우와 경로 최적화가 이루어진 경우에 따라 다르게 구할 수 있다. 먼저 경로최적화가 실행되지 않은 경우는 CN에서 MN으로 보내는 모든 패킷이 LMA를 통과하기 때문에 LMA에서 패킷 간 도착시간을 측정하여 평균 패킷 도착률을 구할 수 있다. 하지만 경로최적화가 실행된 후에는 CN에서 MN으로 전송되는 패킷은 더 이상 LMA 통과하지 않기 때문에 MN의 MAG에서 MN과 CN사이의 패킷 전송률을 구하여 MN이 MAG의 전송범위를 벗어난 것을 인지한 후 LMA에게 보내는 de-registration 메시지에 패킷 전송률 값을 함께 전송하여 LMA가 MN과 CN사이의 패킷 전송률을 알 수 있게 한다.

그림 3은 제안한 경로최적화를 실행시키기 위해 수정한 LMA의 BCE를 나타낸다. 수정된 BCE 내에는 경로 최적화 유무를 나타내는 플래그와 PMR 값 그리고 PMR의 한계 값을 저장할 수 있다.

경로최적화를 선택하는 방법은 기존에 경로최적화가 이루어져 상태와 경로최적화가 이루어져 있지 않은 경우의 두 가지 경우에 따라 나타 낼 수 있다.

먼저 경로 최적화가 설정되어 있지 않은 경우는, 그림 4의 순서도와 같이 나타낼 수 있다. 먼저 LMA는 자신에게 도착한 패킷이 처음 전송되는 패킷인지 아니면 경로최적화를 사용하지 않는 패킷인지 구분한다. LMA의 BCE를 검색함으로써 LMA에 도착한 패킷이 처음 전송된 패킷인지 아닌지를 알 수 있다. 처음 전송되는 패킷인 경우 LMA의 BCE내 CN의 정보를 추가한 후, 경로최적화를 실행시킨다. 하지만 경로최적화를 사용하지 않는 패킷의 경우는 LMA에서 패킷전송률을 구하여 PMR 값을 계산한다. 계산한 PMR 값이 PMR 한계 값 보다 크게 되는 경우 LMA는 MN의 MAG에게 RO initiation 메시지를 전송함으로써 경로 최적화를 실행 시킨다.

두 번째, MN과 CN사이에 기존의 경로최적화가 실행되어 있는 경우는 그림 5의 순서도와 같이 나타낼 수 있다. 먼저 MAG가 MN이 자신의 전송 범위를 벗어난 것을 알게 되면 LMA에게 CN과 MN 사이의 패킷전송률 정보를 포함한 de-registration 메시지를 전송한다. LMA가 MAG로부터 de-registration 메시지를 수신 한

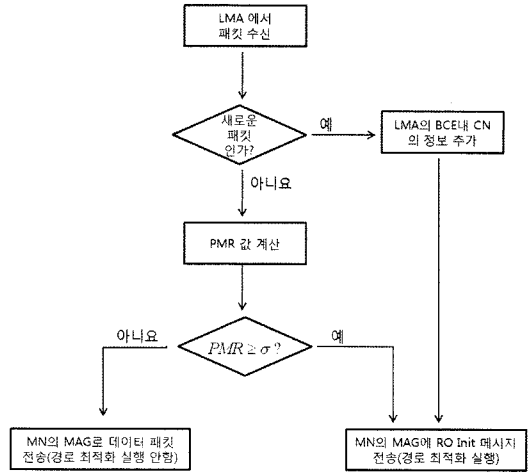


그림 4 경로최적화가 이루어져 있지 않은 경우

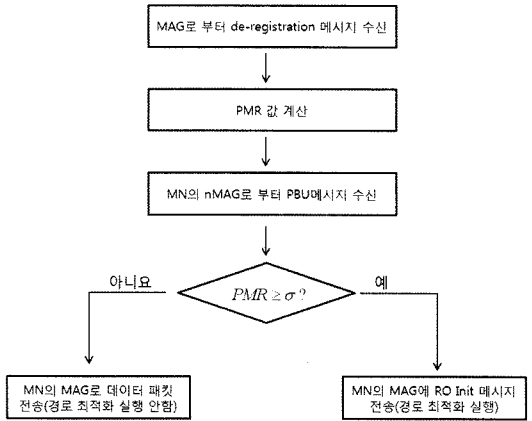


그림 5 기존에 경로최적화가 이루어져 있는 경우

후, PMR 값을 계산하여 자신의 BCE를 수정한다. 만약 PMR 값이 PMR 한계 값 보다 작은 경우 LMA는 CN의 MAG에 MN의 정보를 삭제하라는 de-registration 메시지를 전송한다. 하지만 PMR 값이 PMR 한계 값 보다 같거나 큰 경우 LMA는 nMAG가 보내는 PBU를 기다린 후 PBU 메시지를 수신하면 nMAG에게 RO initiation 메시지를 전송함으로써 경로최적화를 실행한다.

#### 4. 성능분석

본 장에서는 성능분석을 통하여 PMIPv6의 경로 최적

CN's ID	CN's HNP	CN's CoA	MN's ID	MN's CoA	Life-Time	RO/NRO	PMR threshold	PMR
---------	----------	----------	---------	----------	-----------	--------	---------------	-----

그림 3 수정된 LMA의 BCE

표 1 분석에 사용된 파라미터

명칭	설명	값
$d_{MN-MAG}$	MN에서 MAG까지 거리	1(hops)
$d_{MAG-LMA}$	LMA에서 MAG까지의 거리	4(hops)
$d_{MAG-MAG}$	MN의 MAG에서 CN의 MAG까지의 거리	7(hops)
$T_{CU}$	총 통신 시간	1000(sec)
$l_p$	데이터 패킷의 크기	1000(Bytes)
$l_t$	터널링 헤더의 크기	50(Bytes)
$l_{RO.init/setup/report}$	경로 최적화 메시지의 크기	250(Bytes)
$\lambda$	CN에서 MN까지 평균 패킷 전송률	0.5-10 (packet/sec)

화 기법(RO)[3]을 사용한 방법과 경로 최적화를 사용하지 않은 방법(NRO) 그리고 본 논문에서 제안한 적응적 경로선택 방법(ARO)을 비교 분석 하려고 한다.

성능평가를 위해 CN과 MN은 하나의 LMA내에 있는 상태라고 가정하였고 분석에 사용된 파라미터는 표 1에 나타내었다.

#### 4.1 경로최적화를 위한 총 비용 분석

PMIPv6 및 제안 기법의 비용은 크게 경로최적화를 실행하기 위한 신호전송비용( $C_S$ )과 CN에서 MN까지 패킷 전송을 위한 패킷전송비용( $C_P$ )과 신호전송비용과 패킷전송비용의 합인 총 전송비용( $C_T$ )으로 구성된다.

$$C_T = C_S + C_P \quad (3)$$

이러한 비용 계산을 위하여 다음과 같이 가정하였다 [7,8].

- $T_{CU}$ : 총 통신시간
  - $T_R$ : MN이 MAG내에서의 평균 상주시간
  - $\lambda$ : MN에 도착하는 패킷들의 평균 도착률
  - $T_R$ : MN의 MAG내 평균 상주시간
  - $\rho$ : MN의 단위 이동 당 MN에 도착하는 평균 패킷 도착률 PMR(Packet Mobility Ratio,  $\rho = \frac{\lambda}{T_R}$ )[5]
  - $l_p$ : 데이터 패킷의 길이
  - $l_t$ : 패킷 터널 헤더 길이
  - $d_{a-b}$ : A와 B 사이의 거리(홉 수)
  - $C_{RO.init}$ : RO initiation을 위한 신호전송비용  
( $=d_{LMA-MAG}(l_{RO.init} + l_{RO.ACK})$ )
  - $C_{RO.Setup}$ : RO Set Up 위한 신호전송비용  
( $=d_{MAG-MAG}(l_{RO.Setup} + l_{RO.ACK})$ )
  - $C_{RO.Report}$ : RO report 을 위한 신호전송비용  
( $=d_{MAG-LMA}(l_{RO.Report} + l_{RO.ACK})$ )
- MN으로 도착하는 패킷전송률은 포아송 분포를 따르

고, MN의 MAG내 이동률은 지수분포를 따른다고 가정한다. 또한 MN이 핸드 오버하는 동안 발생하는 패킷손실은 고려하지 않았다.

#### 4.2 신호전송비용

1) 경로최적화를 사용하지 않은 경우(NRO)

경로최적화를 사용하지 않은 경우는 패킷 전송비용을 제외하고는 어떠한 신호전송비용이 사용되지 않기에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_S^{NRO} = 0 \quad (4)$$

2) 경로최적화를 사용한 경우(RO)

경로최적화를 사용한 경우 신호전송비용은 경로최적화를 실행할 때와 MN이 이동하여 기존의 경로최적화를 수정하기 위한 경우 사용된다. 매 핸드오버 마다 경로최적화를 수정하기 위한 신호전송비용을 나타내면 다음과 같다.

$$C_S^{RO} = \sum_{i=1}^N (C_{RO.Init}(i) + C_{RO.Setup}(i) + C_{RO.Report}(i)) \quad (5)$$

여기서  $i$ 는 핸드오버 상태를 나타내며  $N$ 은 MAG의 평균 핸드오버수를 나타낸다.  $N$ 은  $N = \frac{T_{CU}}{T_R}$ 으로 나타낼 수 있다.

3) 선택적 경로최적화를 사용한 경우(ARO)

제안한 기법의 신호전송비용은 PMR 값에 따라 경로최적화를 하기 때문에 PMR 값에 따라 신호전송비용이 달라진다. 여기서 변수  $r$ 은 임의의 시간  $t_1$ (MN에 도착하는 패킷 도착시간)과  $t_2$ (MN이 MAG내에 상주하는 시간)의 PMR 값으로서  $r = \frac{t_1}{t_2}$ 로 나타낼 수 있다.

PMR  $r$ 의 값과 PMR 한계 값  $\delta$ 에 따른 신호전송비용을 구하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_S^{ARO} = \sum_{i=1}^N (\Pr(r < \delta) \cdot C_S^{NRO}(i) + \Pr(r \geq \delta) \cdot C_S^{RO}(i)) \quad (6)$$

#### 4.3 패킷 전송비용

1) 경로 최적화를 사용하지 않은 경우(NRO)

CN에서 MN으로 보내는 패킷은 모두 LMA를 거쳐서 MN로 전송되기 때문에 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_P^{NRO} = \sum_{i=1}^N \lambda \cdot T_i \cdot (2d_{MN-MAG}(l_p) + 2d_{LMA-MAG}(l_p + l_t)) \quad (7)$$

2) 경로 최적화를 사용하는 경우(RO)

경로최적화를 사용하는 경우의 CN에서 MN으로 전송하는 패킷은 LMA를 통하지 않고 CN의 MAG에서 MN의 MAG로 패킷이 전송된다. 이를 식으로 나타내면 식 (8)과 같다.

$$C_P^{RO} = \sum_{i=1}^N \lambda \cdot T_i \cdot (2d_{MN-MAG}(l_p) + d_{MAG-MAG}(l_p + l_t)) \quad (8)$$

3) 선택적 경로최적화를 사용한 경우

적응적 경로 최적화를 사용한 경우의 패킷 전송비용은 PMR 값에 따라 달라진다. 이를 식으로 나타내면 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_P^{ARO} = \sum_{i=1}^N (\Pr(r < \delta) \cdot C_P^{NRO}(i) + \Pr(r \geq \delta) \cdot C_P^{RO}(i)) \quad (9)$$

#### 4.4 총 패킷 전송 비용

총 패킷 전송비용은 신호전송비용과 패킷 전송 비용의 합으로 나타낼 수 있다.

1) 경로최적화를 사용하지 않은 경우(NRO)

$$C_T^{NRO} = \sum_{i=1}^N (\lambda \cdot T_{CU} \cdot (2d_{LMA-MAG}(l_p + l_t) + 2d_{MAG-MN}(l_p))) \quad (10)$$

2) 항상 경로최적화를 사용한 경우(RO)

$$C_T^{RO} = \sum_{i=1}^N (\mu \cdot T_{CU} \cdot (C_{RO.Init} + C_{RO.Setup} + C_{RO.Report}) + (\lambda \cdot T_{CU} \cdot (d_{MAG-MAG}(l_p + l_t) + 2d_{MAG-MN}(l_p))) \quad (11)$$

3) 선택적 경로최적화를 사용한 경우(ARO)

$$C_T^{ARO} = \sum_{i=1}^N (C_S^{ARO}(i) + C_P^{ARO}(i)) \quad (12)$$

#### 4.5 패킷의 크기에 따른 PMR 한계 값 비교

적응적 경로최적화를 사용하기 위해서는 PMR 한계 값( $\sigma$ )를 정확히 구하여야 한다.  $\sigma$  값을 구하기 위해서는 항상 경로최적화를 사용하는 경우의 총 경로최적화 비용( $C_T^{RO}$ )과 경로최적화를 사용하지 않는 경우의 총 경로최적화 비용( $C_T^{NRO}$ )이 같은 경우일 때 즉,  $C_T^{RO} = C_T^{NRO}$  인 경우의  $\sigma = \frac{\lambda}{\mu}$  의 값을 구함으로써 구할 수 있다. 이를 식으로 나타내면 식 (13)과 같다[7].

$$\sigma = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{C_{RO.Init} + C_{RO.Setup} + C_{RO.Report}}{(l_p + l_t)(2d_{LMA-MAG} - d_{MAG-MAG})} \quad (13)$$

그림 6과 같이 패킷의 크기에 따라 PMR의 한계 값( $\sigma$ )이 감소하는 것을 볼 수 있다. 즉, 데이터 패킷의 크기가 커질수록 PMR의 한계 값이 줄어드는 것을 알 수 있는데 이를 통하여 데이터 패킷의 크기가 커질수록 경로최적화를 수정하기 위한 신호전송비용보다 CN에서 MN까지의 패킷 전송비용이 더 커짐을 알 수 있다.

본 논문에서는 성능평가를 위한 데이터 패킷 크기를 1000Bytes로 두고 계산하였다. 따라서 PMR의 한계 값은 10이다. LMA에서 PMR 값을 구하고 PMR 값이 10

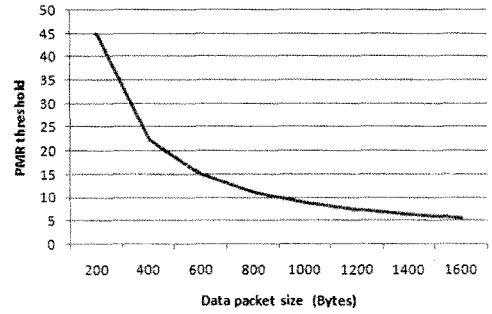


그림 6 패킷 크기에 따른 PMR 한계 값 변화

미만인 경우에는 경로 최적화를 실행 시키지 않는다. 하지만 PMR이 10이상인 경우 LMA가 MN의 nMAG로 RO Initiation 메시지를 통해 경로최적화를 실행시키도록 하였다.

## 5. 성능평가

본 장에서는 PMIPv6 프로토콜에서 경로 최적화를 사용하지 않는 방법과 항상 경로 최적화를 사용한 방법과 적응적 경로 최적화를 사용한 방법의 성능을 위 4장에서 구한 수학적 수치분석 결과 및 모의실험 결과를 비교 분석한다. PMR 값에 따른 패킷전송비용 및 총 패킷 전송비용을 비교하고자 한다.

제안한 경로최적화 기법을 모의실험을 위기 위해 시뮬레이터는 C++로 구현하였다. 모의실험을 위한 망 구성도와 자세한 파라미터는 그림 1과 표 1에 나타내었다. 데이터 패킷은 CN에서 MN으로 전송되며 패킷 전송률은 0.1~10(packet/sec) 사이의 포아송 분포를 사용하였고 데이터 패킷의 크기는 1000(Bytes)을 사용하였다. MN이 핸드오버 할 때 마다 CN과 MN 사이의 패킷 전송률과 MN의 이동률을 계산하여 LMA에서 PMR 값을 계산할 수 있도록 하였다.

### 5.1 제안기법의 비교평가

그림 7과 8은 PMR 값의 변화에 따른 신호전송비용의 변화(Kbytes\*Hops)와 신호전송비용과 패킷전송비용의 합인 총 전송비용의 변화(Kbytes\*Hops)를 나타내었다. 즉, 일정한 패킷전송률  $\lambda = 2(\text{packet/sec})$ 로 두고 MN의 상주시간( $\frac{1}{\mu}$ )을 변화시키면서 PMR 값의 변화에 따른 신호전송비용과 총 전송비용의 변화를 구하였다.

그림 7에서 볼 수 있듯이 이전 4.5절에서 구한 PMR 한계 값 보다 PMR 값이 작은 경우 경로 최적화를 수행하지 않기 때문에 신호 전송비용이 발생되지 않음을 알 수 있다. 또한 PMR 값이 PMR 한계 값 보다 큰 경우는 기존 경로 최적화와 같이 경로 최적화를 하기에 신호전송비용이 발생하는 것을 알 수 있다.

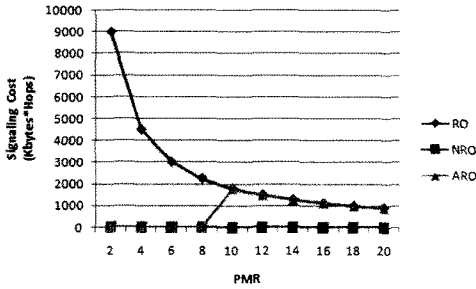


그림 7 PMR 변화에 따른 신호전송비용의 변화

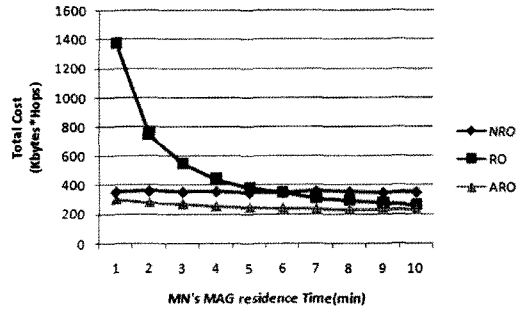


그림 9 MN의 MAG 상주시간에 따른 총 전송비용변화

PMR 값이 작은 경우는 MN이 빈번하게 핸드오버를 하기 때문에 MN이 핸드오버 할 때 마다 경로 최적화를 수행하기 위한 신호전송비용이 월등히 커짐을 볼 수 있다.

그림 8은 PMR 값의 변화에 따른 신호전송비용과 패킷전송비용의 합인 총 전송비용의 변화를 나타낸 것이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 PMR 값이 PMR 한계 값 보다 작은 경우는 경로 최적화를 사용하지 않고 PMR 값이 PMR 한계 값 보다 같거나 큰 경우는 경로 최적화를 사용하는 것을 알 수 있다.

CN에서 MN으로 전송하는 패킷 전송률이 같은 경우 PMR 값이 작은 경우는 신호전송비용이 패킷전송비용에 비해 월등히 크기 때문에 경로최적화를 사용하지 않는 것이 더 낮은 총 전송비용을 가짐을 볼 수 있었다. 하지만 PMR 값이 커질수록 MN이 MAG내 상주시간이 증가하기 때문에 경로최적화를 위한 신호전송비용이 사용되어도 패킷전송비용이 경로최적화를 사용하지 않는 경우의 경우보다 적어지기 때문에 신호전송비용과 패킷전송비용의 합인 총 전송비용이 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

특히 본 논문에서 제안한 선택적 경로최적화 방법은 그림 8에서 볼 수 있듯이 데이터 패킷의 크기에 따라 미리 정해진 PMR 한계 값에 따라 경로최적화를 선택적으로 실행하기 때문에 PMR이 PMR 한계 값 보다 큰 경우는 경로최적화를 사용함으로써 패킷전송비용을 감

소시키고 PMR값이 PMR 한계 값 보다 작은 경우는 경로최적화를 사용하지 않으므로서 신호전송비용을 감소시켜 총 전송비용이 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

그림 9는 MN이 MAG내 평균 상주시간(min)의 변화에 따른 총 전송비용의 변화를 나타낸 것이다. CN에서 MN으로 전송되는 데이터 패킷은 0.1~10(packet/sec) 사이의 포아송 분포를 사용하였고, 데이터 패킷의 크기는 100(Bytes) 총 실험시간은 1000(sec)를 사용하였다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 항상 경로최적화를 사용하는 경우와 제안한 기법은 MN의 MAG내 평균 상주시간이 늘어남에 따라 총 전송비용이 작아짐을 알 수 있다. 특히 제안 기법의 경우 경로최적화를 사용한 경우보다 총 전송비용이 낮은 것을 확인할 수 있는데 이는 MN이 핸드오버 할 때 마다 LMA에서 MN의 이동률과 MN과 CN사이의 패킷 전송률을 계산하여 PMR 값에 따라 경로최적화 유무를 결정하기 때문이다. 즉, MN의 MAG 내 상주시간 및 CN과 MN의 패킷 전송률이 함께 변화할 때 제안한 기법이 기존의 다른 기법에 비해 적용적으로 경로 최적화를 실행하기 때문에 가장 작은 총 전송비용을 나타냄을 알 수 있다.

### 6. 결론 및 향후 연구 과제

기존의 경로최적화기법은 MN이 핸드오버를 할 때 마다 MN의 상태에 관계없이 경로최적화를 실행시키기에 경로 최적화 정보를 수정하기 위한 신호전송비용이 증가하는 문제점을 가지고 있었다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 LMA의 BCE에 MN의 평균 상주시간 및 CN에서 MN으로 전송되는 평균 패킷전송률을 가지고 PMR 값을 계산하여 PMR 값에 따라 경로 최적화 여부를 선택적으로 결정할 수 있도록 하였다. 또한, 제안한 경로최적화 기법의 성능을 평가하기 위해 수치해석 및 모의실험을 수행하였고, 모의실험 결과를 통해 제안한 기법을 사용하였을 경우가 그렇지 않을 경우와 비교하였을 때 총 전송비용이 감소하는 것을 알 수 있었다.

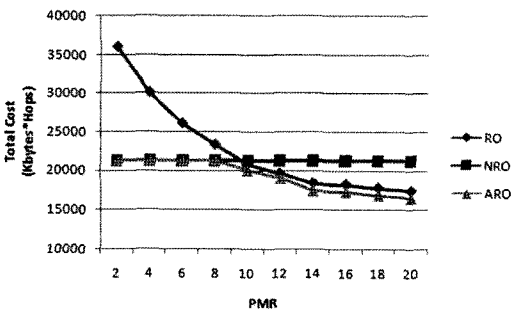


그림 8 PMR 변화에 따른 총 비용 변화

하지만 경로최적화 기법을 사용함에 있어 MN과 CN 사이에 경로 최적화가 이루어진 상태에서 MN나 CN이 핸드오버 하는 경우 핸드오버 기간 동안 패킷손실이 발생한다. 향후 MN이나 CN이 핸드오버 하는 경로최적화 뿐만 아니라 핸드오버 기간 동안 패킷 손실을 최소화 할 수 있는 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] S. Gundavelli, Proxy Mobile Ipv6, NETLMM RFC 5213, August 2008.
- [2] D. Johnson, Mobility Support in IPv6,IETF RFC 3775, June 2004.
- [3] M. Liebsch, Route Optimization for Proxy Mobile IPv6, NETLMM Inetnet-draft, November 13, 2007.
- [4] A. Dutta, ProxyMIP Extension for Inter-MAG Route Optimization, NETLMM Internet-draft, July 2008.
- [5] R. Jain, "Mobile Internet Access and QoS Guarantees using Mobile IP and RSVP with Location Registers," Proc. IEEE Intl. Conf. on Communications, IEEE, June 1998.
- [6] ring MJ, Martin J. Technical Analysis Explained (3rd edn). Trend Research: New York, 1978.
- [7] H. Pack, Adaptive Route Optimization in Hierarchical Mobile IPv6 Networks, IEEE Transaction on Mobile Computing, Vol.6, No.8, August 2007.
- [8] SH. Hwang, "An Adaptive Hierarchical Mobile IPv6 with Route Optimization," IEEE Vehicular Technology Conference, April 2003.



김민기

2008년 경희대학교 컴퓨터 공학과 학사  
2008년~현재 연세대학교 컴퓨터 과학과 석사과정. 관심분야는 Mobility Management, Proxy Mobile IPv6, Route Optimization



이수경

2005년 9월~현재 연세대학교 컴퓨터과 학과 교수. 관심분야는 이종망 통합(4G, WLAN), Mobility Management, Vehicular Ad-hoc Networking, Optical Network