

# Binding Query를 활용한 Proxy Mobile IPv6의 성능 향상 기법

준회원 박재완\*, 정회원 김지인\*, 종신회원 고석주\*

## Performance Enhancement of Proxy Mobile IPv6 using Binding Query

Jae-Wan Park\* Associate Member, Ji-In Kim\* Regular Member, Seok-Joo Koh\*<sup>o</sup> Lifelong Member

### 요약

Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) 프로토콜에서는 단말간 통신 시에 모든 데이터 패킷이 Local Mobility Anchor (LMA)를 거쳐 전달되어 통신단말이 모두 동일 망에 위치한 경우 데이터 패킷이 최적화되지 않은 경로를 사용함으로써 인해 성능이 저하된다. 본 논문에서는 Binding Query를 활용한 PMIPv6의 경로최적화 기법을 제안한다. 제안되는 Query-based PMIPv6 (Q-PMIPv6) 기법에서 Correspondent Node (CN)의 Mobile Access Gateway (MAG)는 Mobile Node (MN)의 Proxy Care-of-Address를 획득하기 위하여 LMA로 Binding Query를 보내고, 이후에 CN과 MN는 최적화된 경로를 이용하여 데이터 전송을 수행한다. 성능분석을 위해 제안하는 Q-PMIPv6 기법과 기존의 PMIPv6 및 PMIPv6 Localized Routing (PMIPv6-LR) 기법을 이론적인 수치 분석 및 ns-2 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 비교 분석 결과, 제안하는 Q-PMIPv6 기법이 시그널링 비용 및 데이터 전달 비용 측면에서 기존 PMIPv6 및 PMIPv6-LR 기법에 비해 우수함을 확인하였다.

**Key Words** : Proxy Mobile IPv6, Binding Query, 경로최적화, 수치분석, 시뮬레이션

### ABSTRACT

In the Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6), the data transmission performance may be degraded when the two communicating hosts are located within the same mobile domain, since all the data packet shall be delivered by way of Local Mobility Anchor (LMA). In this paper we propose an extensional scheme of PMIPv6 using binding query. In the proposed Query-based PMIPv6 (Q-PMIPv6) scheme, the Mobile Access Gateway (MAG) of Correspondent Node (CN) sends a binding query to LMA to obtain the Proxy Care-of-Address of Mobile Node (MN). Since then, CN and MN can communicate with each other by using an optimized data path. For comparison, we performed the numerical analysis and the ns-2 simulations for the proposed Q-PMIPv6 scheme and the existing PMIPv6 and PMIPv6 Localized Routing (PMIPv6-LR). From the results, we can see that the proposed scheme outperforms the existing PMIPv6 and PMIPv6-LR schemes in terms of the signaling control and data delivery costs.

\* 본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업(2010-0020926)과 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(NIPA-2011-C1090-1121-0002) 및 방송통신위원회의 산업원천기술개발사업(KCA-2011-10913-05004)의 연구결과로 수행되었음.

\* 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부 (jwparkinf8@gmail.com, jiin16@gmail.com, sjkoh@knu.ac.kr), (° : 교신저자)  
논문번호 : KICS2011-07-282, 접수일자 : 2011년 7월 5일, 최종논문접수일자 : 2011년 11월 15일

## I. 서론

최근 스마트폰 사용이 증가하면서 모바일 단말을 통한 인터넷 사용량이 급증하고 있다. 지금까지 인터넷 이동성 지원을 위해 MIPv6<sup>[1]</sup>과 PMIPv6<sup>[2]</sup>가 제안되었다. PMIPv6에서는 MAG와 LMA가 MN 대신에 단말의 이동성 제어기능을 수행한다. 하지만, PMIPv6에서의 경로 최적화 문제 등은 추가적인 연구 과제로 남아있다<sup>[3]</sup>. 특히, CN과 MN간의 통신 시에, 모든 데이터 패킷이 LMA를 거쳐 목적지로 도달하게 되는데, 이러한 이유로, 데이터 패킷들이 최적화되지 않은 경로를 이용하여 비효율적으로 전송되는 문제가 발생하며, 이에 대한 해결책으로 다양한 연구가 이루어지고 있다<sup>[4-6]</sup>.

본 논문에서는 PMIPv6를 확장한 Query-based PMIPv6(Q-PMIPv6) 기법을 제안한다. 제안 기법에서 CN과 MN 모두 같은 이동 도메인 내에 위치하고 있다고 가정하였으며, CN의 MAG(CN-MAG)는 MN의 Proxy-CoA를 획득하기 위하여 LMA로 Binding Query를 보낸다. Proxy-CoA를 획득 한 후, CN-MAG는 CN으로부터 MN으로 전송되는 모든 데이터 패킷들을 MN의 MAG(MN-MAG)으로 최적화 된 경로를 통해 전송한다.

본 논문은 다음 순서로 구성된다. 먼저 2절에서는 기존 PMIPv6 관련 연구에 대해서 소개하고, 3절에서 제안하는 Q-PMIPv6 기법을 소개한다. 4절과 5절에서는 수치분석과 ns-2 시뮬레이션을 통해 제안기법의 성능을 비교분석하며, 마지막으로 6절에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

그림 1은 PMIPv6 동작을 나타내고 있다. MN이 MN-MAG 영역으로 이동하면, MN-MAG는 단말의 접근을 감지한다(step 1). MN은 통신을 위한 연결을 MN-MAG와 설정하고, MN의 현재 위치를 업데이트 하기 위하여 MN-MAG에서 Proxy Binding Update (PBU) 메시지를 LMA로 보낸다(step 2). PBU 메시지를 받은 LMA는 MN의 위치를 Binding Cache Entry (BCE)에 저장하여 관리하고, PBU에 대한 응답 메시지로 Proxy Binding ACK (PBA)를 MN-MAG로 보낸다(step 3). 이후, LMA는 양방향 터널을 설정하여 CN과 MN간의 데이터 송수신을 위한 경로 설정을 마친다.

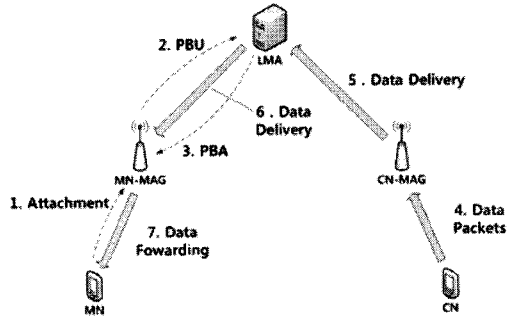


그림 1. PMIPv6 동작 절차

그림에서 CN이 MN으로 데이터 패킷을 전송할 때 MN으로 전송되는 모든 데이터 패킷은 LMA를 거쳐 전달 된다(step 4, 5, 6, 7). 이 때, LMA에서의 패킷처리 시 오버헤드가 발생하며, 특히 CN 및 MN의 수에 비례하여 오버헤드가 커진다. 뿐만 아니라, CN-MAG와 MN-MAG 사이의 통신이 LMA를 거치게 되어 있어, 최적화된 경로를 사용하지 않아 데이터 패킷 전송 지연이 증가한다.

위와 같은 문제를 해결하기 위하여, PMIPv6에서의 경로 최적화를 위한 기법이 계속적으로 연구되고 있으며, 그림 2는 그 중 대표적 기법인 PMIPv6 Localized Routing (PMIPv6-LR)<sup>[6]</sup>을 보여준다.

데이터 전송 초기 단계는 PMIPv6와 동일하다. 즉, CN이 보낸 데이터를 전송 받은 CN-MAG는 우선 데이터를 LMA로 전송하고, LMA는 MN-MAG를 통해 MN으로 데이터를 전달한다. 하지만, 초기 데이터 전송 이후에 LMA와 MAG들 간의 경로 최적화를 위한 추가적인 메시지 교환을 수행한다. 먼저, LMA에서는 MAG간의 양방향 터널을 설정하기 위한 Localized Routing Initiation (LRI) 메시지를 MAG측으로 각각 보낸다(step 1). 이때, 데이터를 전송하는 과정에서 LRI를 언제 전송할지에 대한 판단은 LMA의 내부 설

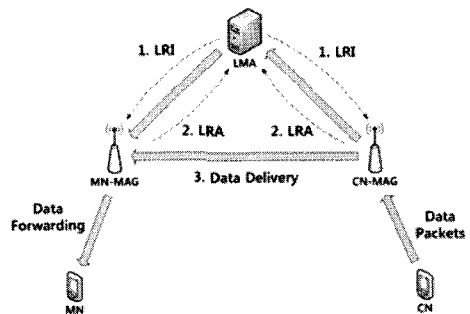


그림 2. PMIPv6-LR 동작 절차

정에 따라 달라질 수 있다. LRI를 수신한 MAG측에서는 이에 대한 응답으로 Local Routing ACK (LRA) 메시지를 LMA로 보낸다(step 2). 이 후부터 CN에서 MN으로 향하는 모든 데이터 패킷은 LMA를 거치지 않고, 양방향 터널로 최적화된 경로를 이용한다(step 3).

### III. 제안하는 Q-PMIPv6 기법

본 논문에서는 PMIPv6을 확장한 Q-PMIPv6기법을 제안한다. 제안 기법은 PMIPv6에서 데이터 전송시에 발생하는 LMA에서의 오버헤드 문제를 줄이고 데이터 전송 이전에 경로 최적화를 통해 데이터 전송 효율을 높일 수 있다.

먼저, 그림 3은 제안하는 Q-PMIPv6 기법의 동작 개요를 보여준다.

기존 기법에서는 그림 2와 같이 데이터 전송 도중에 LMA가 경로 최적화를 수행하는 반면에, 제안 방식에서는 그림 3에서와 같이, 데이터 전송 초기에 CN-MAG에서 Binding Query 메시지를 통해 최적화된 경로를 설정한다. 즉, CN으로부터 데이터를 수신한 CN-MAG는 LMA와 Proxy Binding Query (PBQ) 및 Proxy Query Ack (PQA) 메시지를 주고 받아 (step 5, 6) MN의 Proxy-CoA를 획득한다. 이후, MAG 간에 데이터 패킷 전송이 시작된다.

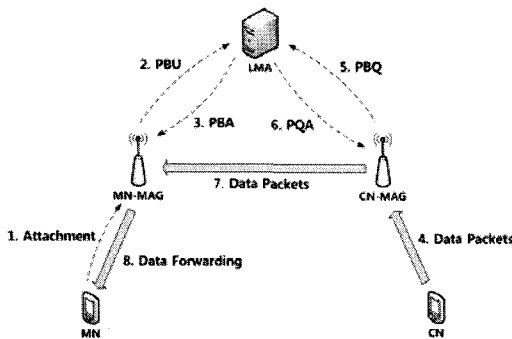
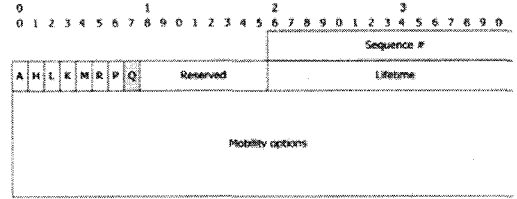


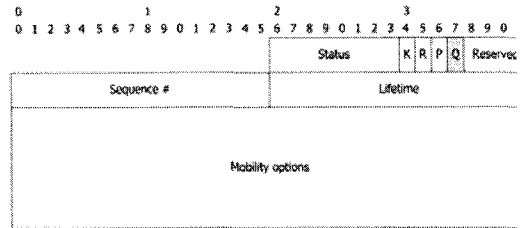
그림 3. Q-PMIPv6 네트워크 구성 및 동작 개요

#### 3.1 Q-PMIPv6을 위한 신규 메시지 정의

Q-PMIPv6에서 Query 동작을 위한 PBQ 그리고 PQA 메시지가 필요하다. 이를 위하여, 기존 PMIPv6의 PBU 및 PBA에 flag를 추가하는 방식으로 확장하여 PBQ 및 PQA 메시지를 그림 4와 같이 정의할 수 있다.



(a) Proxy Binding Query (PBQ)



(b) Proxy Query Ack (PQA)

그림 4. Q-PMIPv6를 위한 메시지 확장

#### 3.2 Q-PMIPv6을 위한 신규 메시지 정의

그림 5는 Q-PMIPv6의 상세한 동작을 보여준다.

우선 MN과 MN-MAG간 연결설정을 위한 통신 절차를 수행한다. 이후, MN-MAG에서는 MN의 정보를 등록하기 위하여 PBU 메시지를 LMA로 보내고, LMA에서는 MN의 관리를 위한 BCE를 생성하고 PBA를 MN-MAG에 보낸다. CN이 MN으로 데이터를 전송하면, CN-MAG는 MN의 Proxy-CoA를 얻기 위하여 LMA로 PBQ 메시지를 전송한다. PBQ를 받은 LMA는 MN의 정보를 검색하여 찾아낸 MN의 Proxy-CoA를 포함한 PQA 메시지를 전송한다.

이러한 절차들이 이루어지는 동안, CN-MAG에서는 CN이 전송중인 데이터 패킷의 손실을 막기 위해, PQA 메시지가 도달하기 전까지 패킷 버퍼링을 수행하며, CN-MAG가 PQA 메시지를 수신한 후, MN-MAG와 CN-MAG간 양방향 터널이 설정된다.

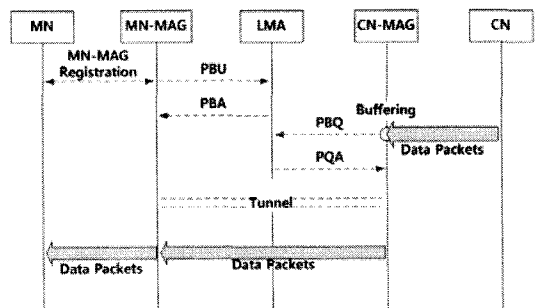


그림 5. Query-based PMIPv6의 데이터 전송 동작

터널을 설정 한 후, CN-MAG에서는 버퍼에 저장된 데이터 패킷들을 우선적으로 전송하고, 그 후 CN으로부터 수신하는 데이터 패킷들을 전송한다. 기본적으로 PMIPv6 네트워크에서는 모든 데이터 패킷들이 LMA로 전송되지만, Q-PMIPv6에서는 Query를 통하여 LMA를 거치지 않는 최적화 경로를 통하여 통신한다. 이러한 최적 경로를 이용한 통신은, PMIPv6와 비교하여 전송 시간 단축, LMA 오버헤드 등에서 성능 향상을 보여준다.

#### IV. 수치분석을 통한 성능 비교

본 절에서는 기존 PMIPv6, PMIPv6-LR 기법과 제안하는 Q-PMIPv6 기법의 성능 비교분석을 위하여, 등록에서부터 데이터 패킷을 전송하는데 소요되는 비용을 수치적으로 분석한다.

##### 4.1 수치분석 모델

수치분석을 위해, 그림 6과 같은 네트워크 모델을 고려한다.

분석에서, MN의 MAG 등록, MN-MAG의 LMA 등록 및 PBQ 등의 제어 기능과 관련된 비용을 SCC(Signaling Control Cost)라 한다. 이 외에, CN이 MN으로 데이터 패킷을 전송하는데 소요되는 비용은 DDC(Data Delivery Cost)라 정의하고, 이 두 절차 모두에 수행하는데 소요되는 비용 TC(Total Cost)라 정의한다. 수치 분석을 위한 파라미터(parameter)의 정의는 표 1에 제시되어 있다.

표 1. 수치적 분석을 위한 파라미터 정의

Parameter	Description
Ta-b	노드 a와 b사이의 패킷 전송 비용
Pc	노드 C에서 MN을 Binding update 또는 lookup하기 위한 비용
Tsetup	MN과 MAG사이의 연결에 소요되는 시간
NHost/MAG	MAG당 통신 중인 MN의 개수
NMAG	PMIP 도메인 내의 MAG의 개수
Ha-b	노드 a와 b사이의 hop 개수
Scontrol	제어 패킷 크기(byte)
Sdata	데이터 패킷 크기(byte)
$\alpha$	LMA에서 binding update 하는 단위 비용
$\beta$	LMA/MAG에서의 MN lookup 단위 비용
$\tau$	유선 환경에서 hop당 패킷 전송 비용
$\kappa$	무선 환경에서 hop당 패킷 전송 비용

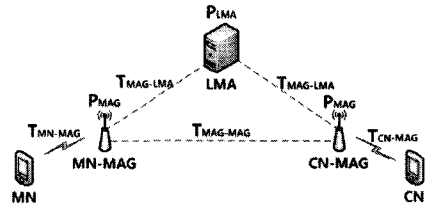


그림 6. 수학적 분석을 위한 네트워크 모델

#### 4.2 Cost 분석

##### 4.2.1 PMIPv6

PMIPv6에서의 Binding Update 동작은 다음과 같다. 우선, MN이 MAG와 연결을 설정한다. 이때, 이 절차를 수행하는 동안 대략  $T_{setup}$ 이 소요된다고 가정한다. 등록 후에, MN-MAG가 MN의 정보를 담은 PBU 메시지를 LMA로 전송하고, LMA가 이 정보를 데이터베이스에 저장 또는 갱신한다. 이러한 동작에 소요되는 시간을 각각  $2T_{MAG-LMA}$  및  $P_{LMA}$ 라 정의한다.

다시  $T_{MAG-LMA}$ 는 유선에서의 hop당 전송 비용인  $\tau$ 와 MAG-LMA 사이의 hop 수의 곱으로 나타낸  $\tau H_{MAG-LMA}$ 과 같이 정의할 수 있으며,  $P_{LMA}$ 는 LMA가 한 MN의 정보를 업데이트할 때 소요되는 비용인  $\alpha$ 와 LMA내의 통신 중인 MN을 관리하는 트리 구조의 데이터베이스를 수정하는데 소요되는 비용인  $\log(N_{MAG} \times N_{Host/MAG})$ 를 곱한 값인  $\alpha \log(N_{MAG} \times N_{Host/MAG})$ 로 정의할 수 있다. 따라서, PMIPv6의 SCC를 계산하면 다음 수식과 같다.

$$\begin{aligned}
 SCC_{PMIPv6} &= T_{setup} + S_{control} \times 2T_{MAG-LMA} + P_{LMA} \\
 &= T_{setup} + S_{control} \times 2\tau H_{MAG-LMA} \\
 &\quad + \alpha \log(N_{MAG} \times N_{Host/MAG})
 \end{aligned}$$

PMIPv6에서, CN에서 MN으로의 데이터 패킷 전송 비용은 다음과 같이 계산된다. 우선, CN의 데이터 패킷이 CN-MAG를 거쳐 LMA로 전달된다. 이 값은  $T_{CN-MAG} + T_{MAG-LMA}$ 로 정의된다. LMA는 데이터베이스에서 MN의 CoA를 검색하는데, 이때 소요되는 비용을  $P_{LMA} = \beta \log(N_{MAG} \times N_{Host/MAG})$ 로 정의할 수 있다. 이후, PMIP 터널을 통하여 MN-MAG를 전달되고 MN이 최종적으로 데이터 패킷을 수신하게 된다. 이러한 과정을  $T_{LMA-MAG} + T_{MAG-MN}$ 로 정의할 수 있다. 위 정의들을 이용하여 PMIPv6에서의 DDC를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} DDC_{PMIPv6} &= S_{data}(TCN-MAG+2T_{MAG-LMA}+T_{MAG-MN})+P_{LMA} \\ &= S_{data}(kH_{CN-MAG}+2\tau H_{MAG-LMA}+kH_{MAG-MN}) \\ &\quad +\beta \log(N_{MAG}\times N_{Host/MAG}) \end{aligned}$$

위의 SCC 및 DDC를 토대로 TC를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$TC_{PMIPv6}=SCC_{PMIPv6}+DDC_{PMIPv6}$$

#### 4.2.2 PMIPv6-LR

PMIPv6-LR의 SCC는 PMIPv6의 SCC에 LRI 및 LRA에 소요되는 비용을 추가하여 계산한다. PMIPv6에서 MN이 등록되는 Binding Update 동작 이외에, 경로 최적화를 수행하기 위한 LRI 및 LRA 메시지를 주고 받는 과정이 추가적으로 필요하다. 따라서 PMIPv6의 SCC를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} SCC_{PMIPv6-LR} &= SCC_{PMIPv6}+S_{control}\times 4T_{MAG-LMA} \\ &= T_{setup}+3\times(S_{control}\times 2\tau H_{MAG-LMA}) \\ &\quad +\alpha \log(N_{MAG}\times N_{Host/MAG}) \end{aligned}$$

PMIPv6-LR의 데이터 전송의 경우, CN으로부터 전송된 데이터 패킷이 CN-MAG에 전달되는 과정을  $S_{data}\times T_{CN-MAG}$ 라 정의할 수 있다. 이때, MAG와 LMA 간에 LRA 및 LRI 교환을 수행했다고 가정하면, 데이터 패킷은 LMA를 거치지 않고 CN-MAG에서 MN-MAG로 바로 전달 될 것이다. 따라서, CN-MAG가 데이터 패킷을 MN-MAG로 전송하는 과정을  $S_{data}\times(T_{MAG-MAG}+T_{MAG-MN})$ 라 정의한다. 따라서, PMIPv6-LR의 패킷 전송비용인  $DDC_{PMIPv6-LR}$ 를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} DDC_{PMIPv6-LR} &= S_{data}(TCN-MAG+T_{MAG-MAG}+T_{MAG-MN})+P_{MAG} \\ &= S_{data}(kH_{CN-MAG}+\tau H_{MAG-MAG}+kH_{MN-MAG}) \\ &\quad +\beta \log(N_{Host/MAG}) \end{aligned}$$

위의 SCC 및 DDC를 토대로 TC를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$TC_{PMIPv6-LR}=SCC_{PMIPv6-LR}+DDC_{PMIPv6-LR}$$

#### 4.2.3 Q-PMIPv6

Q-PMIPv6의 SCC 또한 PMIPv6에서의 SCC에

Query에 소요되는 비용을 추가하여 계산한다. 이때 발생하는 비용은 CN-MAG가 PBQ, PQA 메시지를 LMA와 주고 받아 MN의 Proxy CoA를 획득하는 과정이며  $S_{control}\times 2T_{MAG-LMA}+P_{LMA}$ 라 정의한다.

$$\begin{aligned} SCC_{S-PMIPv6} &= SCC_{PMIPv6}+S_{control}\times 2T_{MAG-LMA}+P_{LMA} \\ &= T_{setup}+2\times(S_{control}\times 2\tau H_{MAG-LMA}) \\ &\quad +\alpha \log(N_{MAG}\times N_{Host/MAG}) \\ &\quad +\beta \log(N_{MAG}\times N_{Host/MAG}) \end{aligned}$$

Q-PMIPv6에서의 데이터 전송의 경우, CN으로부터의 MN으로의 패킷이 CN-MAG에 전달 되는 과정을  $S_{data}\times T_{CN-MAG}$ 라 정의한다. MN의 Proxy-CoA를 획득한 이후, CN-MAG가 데이터 패킷을 MN-MAG로 전송하는 과정을  $S_{data}\times(T_{MAG-MAG}+T_{MAG-MN})$ 라 정의한다. 따라서, Q-PMIPv6의 DDC를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} DDC_{S-PMIPv6} &= S_{data}(TCN-MAG+T_{MAG-MAG}+T_{MAG-MN})+P_{MAG} \\ &= S_{data}(kH_{CN-MAG}+\tau H_{MAG-MAG}+kH_{MN-MAG}) \\ &\quad +\beta \log(N_{Host/MAG}) \end{aligned}$$

따라서, Q-PMIPv6의 TC를 계산하면 다음과 같다.

$$TC_{Q-PMIPv6}=SCC_{Q-PMIPv6}+DDC_{Q-PMIPv6}$$

### 4.3 분석 결과

이번 절에서는 위의 수치분석 결과를 토대로 다양한 파라미터 값의 변화에 따른 후보 기법들의 전체 비용(TC)를 비교 분석한다. 표 2에서, 변수들의 범위

표 2. 비용 분석을 위한 인자 값들

Parameter	Default	Minimum	Maximum
k	4	1	20
$\tau$	2	1	20
$\alpha$	3	1	10
$\beta$	2	1	10
$N_{Host/MAG}$	100	10	1,000
$N_{MAG}$	10	1	100
$H_{MAG-LMA}$	10	1	20
$H_{MN-MAG}, H_{CN-MAG}$	1		
$T_{setup}$	500 (ms)		
$S_{data}$	1024 (bytes)		
$S_{control}$	50 (bytes)		

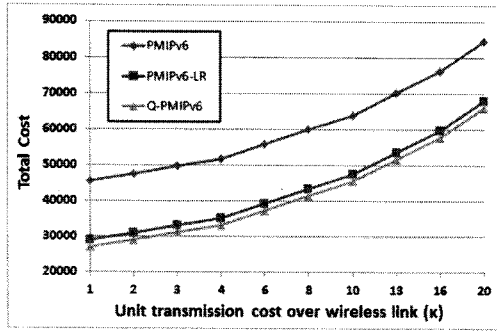


그림 7. 무선에서의 통신 비용 증가에 따른 Total Cost

대하여 정의하고 있다.

그림 7은 비교할 무선망의 속도의 변화에 따른 비교 기술들의 성능 변화를 나타낸다. 그림에서, k 값의 증가에 따라 PMIPv6 및 PMIPv6-LR 그리고 Q-PMIPv6의 비용이 모두 선형적으로 증가하고 있으나, Q-PMIPv6 및 PMIPv6-LR이 기존 PMIPv6의 비용보다 낮음을 확인 할 수 있는데, 그 이유는 PMIPv6-LR과 Q-PMIPv6에서는 최적화된 데이터 전송경로를 사용하기 때문이다.

그림 8은 유선 환경에 따른 성능 변화를 나타낸다. 그림 7과는 달리, PMIPv6와 다른 두 기법과의 비용 격차가 점차적으로 커지고 있는데, 이는 PMIPv6 및 PMIPv6-LR의 경우 데이터 경로를 최적화 하여  $\tau$  값에 상대적으로 영향을 덜 받기 때문이다. 따라서, 유선을 통한 전송 비용이 커질수록 PMIPv6에서의 성능 저하는 두드러진다.

그림 9는 각각의 기술들을 MAG와 LMA 사이의 hop 수 증가에 따라 분석한 그래프이다. 그림에서, hop 수가 증가함에 따라 PMIPv6이 가장 큰 변화를 보여준다. 이는 PMIPv6에서는 Binding Update 및 데

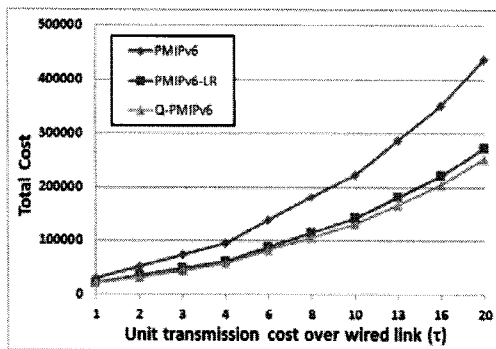


그림 8. 유선에서의 통신비용 증가에 따른 Total Cost

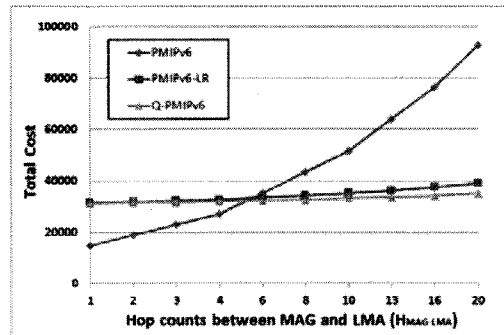


그림 9. MAG to LMA의 hop 수의 증가에 따른 cost 변화

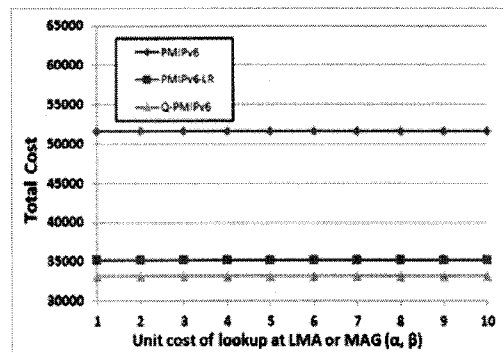


그림 10. MAG 및 LMA에서의 lookup cost에 따른 TC 변화

이터 전송에 관련된 모든 절차들을 LMA 거치기 때문이다.

그림 10은 MAG 및 LMA에서 MN의 정보를 lookup할 때 발생하는  $\alpha$  또는  $\beta$ 의 변화에 따른 비용의 변화를 나타내고 있다. 모든 기법에 대하여 인자 값의 변화에도 성능 차이가 유지되는 것을 볼 수 있는데, 이는 MAG 및 LMA에서 발생하는 lookup 비용의 영향력이 작기 때문이다.

## V. 시뮬레이션 성능 분석

### 5.1 실험 네트워크

그림 11은 ns-2 시뮬레이션<sup>[7]</sup>에서 적용한 네트워크 구성도 및 변수를 보여준다. LMA와 MAG는 각각 100Mbps의 네트워크 대역폭을 가지고, link delay는 10ms로 설정되었다. 이와는 달리, MAG와 MN/CN간의 무선 연결의 경우 11Mbps의 대역폭을 가지고, link delay는 10ms로 설정되었다. 시뮬레이션을 위하여 CN에서는 1000 bytes의 TCP 또는 UDP 데이터 패킷을 생성하여 MN으로 전송한다.

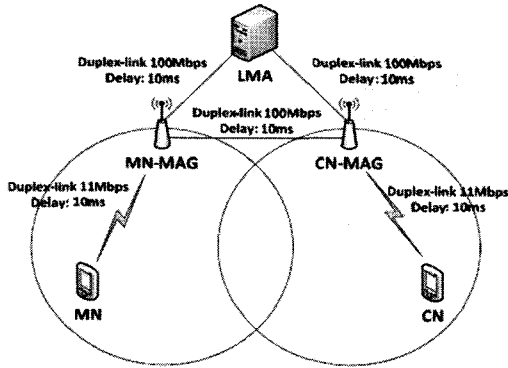


그림 11. 시뮬레이션을 위한 네트워크 구성도

### 5.2 실험 결과

그림 12는 CN에서 TCP 패킷을 전송하고, MN에서의 수신 하는 그 패킷량을 시뮬레이션 시간에 따라 비교한 것이다. 그림에서, Q-PMIPv6 및 PMIPv6-LR이 기존 PMIPv6에 비해 더 나은 성능을 보여준다. 그중 Q-PMIPv6이 상대적으로 좋은 성능을 보여주고 있다. 이는, Q-PMIPv6과 PMIPv6-LR 모두 최적화 된 경로를 사용한 데이터 전송을 하지만 그 최적화 경로를 설정하기 위한 절차에 차이점이 있기 때문이다. Q-PMIPv6는 CN으로부터 첫 패킷을 수신한 후, Query 절차를 수행하여 전송 경로를 최적화하는 반면에, PMIPv6-LR은 기존 PMIPv6와 같이 통신을 하는 가운데, LRI-LRA 메시지를 교환한 경로 최적화를 하는 까닭에, 최적화 시점이 Q-PMIPv6 보다 상대적으로 늦어지기 때문이다.

그림 13은 CN-MAG와 LMA 사이의 패킷 지연시간에 따른 각각의 기법들의 평균 패킷 전송시간을 나타내고 있다. CN에서 MN으로 전송된 100개 패킷의 평균을 계산하였다. 그림에서, Q-PMIPv6와 PMIPv6-LR 기법의 데이터 전송시간이 기존 PMIPv6의 그것에 비해 더 짧은 것을 확인할 수 있다. 게다가, CN-

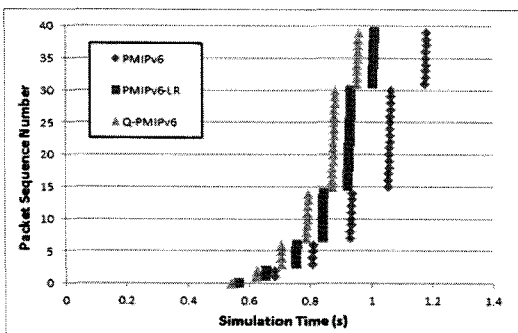


그림 12. 시뮬레이션 시간에 따른 데이터 패킷 전송량

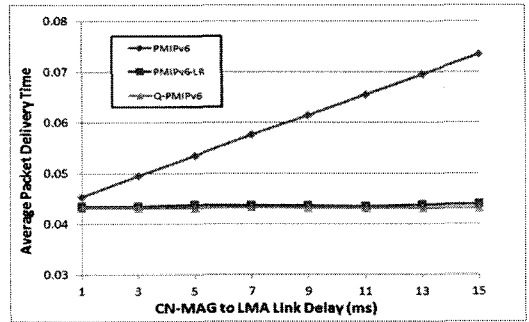


그림 13. CN-MAG와 LMA간 지연시간의 영향 분석

MAG와 LMA 사이의 지연시간이 길어질수록, 평균 패킷 전송시간 차이도 매우 커지는 결과를 얻을 수 있었다. 이는, 기존 PMIPv6가 MAG와 LMA 사이의 지연시간에 영향을 크게 받기 때문인데, 다시 말해 PMIPv6는 Q-PMIPv6나 PMIPv6-LR과는 달리, CN-MAG와 LMA 사이의 경로, LMA와 MN-MAG 사이의 경로를 데이터 전송 경로로 사용하기 때문이다.

반면에, Q-PMIPv6의 경우 LMA를 거치지 않고 최적화 된 경로를 사용하여, 데이터를 송수신하기 때문에, 상대적으로 영향을 적게 받는 것을 확인할 수 있었다. 한편, PMIPv6-LR의 경우도 Q-PMIPv6와 마찬가지로 LRI-LRA를 통한 경로 최적화를 하기 때문에, PMIPv6에 비해 좋은 성능을 보여준다.

그림 14는 CN의 수가 증가함에 따라 LMA에서 처리해야 하는 UDP 패킷 수를 나타내고 있다. 그림에서 PMIPv6의 LMA에서의 패킷 처리량이 Q-PMIPv6 및 PMIPv6-LR에 비해 매우 높아지는 결과를 보여준다. PMIPv6에서는 모든 데이터 패킷이 LMA를 거쳐 전송되기 때문에, 통신하는 노드 수의 증가에 비례하여 LMA에서 처리해야 하는 패킷의 양이 증가한다. 한편 PMIPv6-LR의 경우, LRI-LRA 메시지 교환을 통해 경로 최적화가 이루어 지기 전까지, CN-MAG to LMA 경로를 이용하여 데이터를 전송한다. 따라서 PMIPv6-

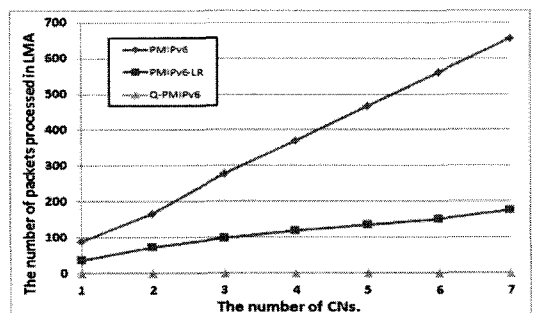


그림 14. CN 증가에 따른 LMA에서의 패킷 처리량의 변화

LR의 경우도 CN의 수가 증가하면, LMA에서 처리하는 데이터 패킷의 수가 일정수준 증가하게 된다. 반면에 Q-PMIPv6는 Query를 통해 MN-MAG에서 CN-MAG로의 최적화 된 경로를 설정한 후 그 경로를 이용하여 데이터 전송을 하기 때문에, LMA에서 데이터 패킷을 처리하지 않는다.

### VI. 결 론

본 논문에서는 PMIPv6을 확장한, Q-PMIPv6를 제안하고, 성능 분석을 위해 이론적인 수치분석 및 ns-2 시뮬레이션을 수행하여 기존 PMIPv6 및 PMIPv6-LR 기법과 제안하는 Q-PMIPv6을 비교하였다. 성능 비교 분석 결과, PMIPv6에서는 모든 데이터 패킷이 LMA를 거쳐 전송되므로, LMA에서의 오버헤드 및 데이터 전송 비용 측면에서 비효율적임을 확인하였다.

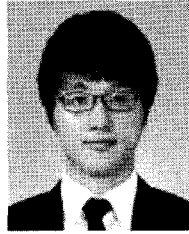
한편, 기존 PMIPv6-LR과 제안하는 Q-PMIPv6 기법과의 비교에서, PMIPv6-LR의 경우 최적화 된 경로를 이용함으로써 PMIPv6에 비해 낮은 패킷 전송비용 및 LMA에서의 낮은 오버헤드를 보여주고 있으나, 제안하는 Q-PMIPv6 기법에 비해서 LMA 오버헤드 및 데이터 전송 비용이 높게 나옴을 확인하였다. 이는 PMIPv6-LR의 경우 LRI-LRA 메시지 교환을 통한 경로최적화가 되기 전까지 LMA에서의 오버헤드가 발생하기 때문인 것으로 풀이된다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Johnson, *et al.*, Mobility support in IPv6, *IETF RFC 3775*, June, 2004.
- [2] S. Gundavelli, *et al.*, Proxy Mobile IPv6, *IETF RFC 5213*, Aug., 2008.
- [3] M. Liebsch, *et al.*, Proxy Mobile IPv6 Localized Routing Problem Statement, *IETF RFC 6279*, June, 2011.
- [4] M.Liebsch, *et al.*, Route Optimization for Proxy Mobile IPv6, *IETF Internet-draft*, draft-abeille-netlmm-proxymip6ro-01, 2007.
- [5] A. Dutta, *et al.*, Proxy MIP Extension for Inter-MAG Route Optimization, *IETF Internet-draft*, draft-dutta-netext-pmipro-00, 2009.
- [6] S. Krishnan, *et al.*, Localized Routing for Proxy Mobile IPv6, *IETF Internet-draft*, draft-ietf-netext-pmip-lr-03, June, 2011.
- [7] Network simulator 2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

박 재 완 (Jae Wan Park)

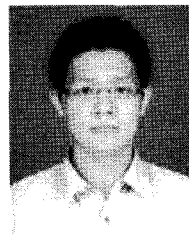
준회원



2010년 2월 경북대학교 컴퓨터 학부 공학사  
2010년 3월~현재 경북대학교 컴퓨터학부 석사과정  
<관심분야> 이동성 제어, NGN, 미래인터넷, PMIPv6

김 지 인 (Ji-In Kim)

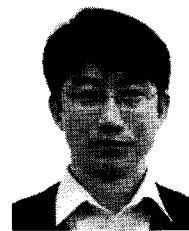
정회원



2008년 2월 경북대학교 컴퓨터 학부 공학사  
2010년 2월 경북대학교 컴퓨터 학부 공학석사  
2010년 3월~현재 경북대학교 컴퓨터학부 박사과정  
<관심분야> 이동성 제어, 미래 인터넷, PMIPv6

고 석 주 (Seok-Joo Koh)

종신회원



1992년 KAIST 공학사  
1994년 KAIST 공학석사  
1998년 KAIST 공학박사  
1998년 9월~2004년 3월 ETRI 표준연구센터  
2004년 3월~현재 경북대학교 컴퓨터학부 교수

<관심분야> 미래인터넷, IP Mobility, 멀티캐스트