

# 노드 이동성을 고려한 계층적 이동 IPv6 네트워크에서의 적응적 경로 최적화 방안

## (A Node Mobility-based Adaptive Route Optimization Scheme for Hierarchical Mobile IPv6 Networks)

황 승 희 <sup>†</sup> 이 보 경 <sup>\*\*</sup> 황 중 선 <sup>\*\*\*</sup> 한 연 희 <sup>\*\*\*\*</sup>

(Seung-Hee Hwang) (Bo-Kyung Lee) (Chong-Sun Hwang) (Youn-Hee Han)

**요 약** 인터넷 관련 국제 표준화 기구인 Internet Engineering Task Force(IETF)에서는 이동 환경에서의 인터넷 사용을 위한 Mobile IPv6 프로토콜을 제안하였으며 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 경로 최적화를 기본 원칙으로 하는 Mobile IPv6은 최적화된 경로를 따라 이동노드로 패킷의 전달을 가능하게 하지만 이를 위해서 이동 노드들은 이동시마다 자신의 위치를 HA(Home Agent)나 CN(Correspondent Node)에게 알려야 한다. 만일 빈번하게 이동하는 노드는 그 만큼 자주 위치갱신 및 등록 작업을 수행하여야 한다. 이를 보완하기 위하여 계층적 기법들이 제안되었다. 즉, 계층적 기법들은 중간 이동성 에이전트를 두어 매크로 이동성과 마이크로 이동성을 분리하여 지역성을 이용한다. 그러나 이런 계층적 기법들은 패킷 전송에 있어서 경로 최적화를 보장하지 못한다. 따라서 CN에서 이동 노드를 향하는 모든 패킷들은 반드시 중간 이동성 에이전트를 통과하여야 한다. 이는 중간 이동성 에이전트에 패킷집중과 불필요한 패킷 지연을 초래하게 된다. 이에 본 논문에서는 이 중간 이동성 에이전트의 패킷 집중을 완화시키고, 패킷의 지연을 줄이기 위한 기법을 제안하고자 한다. 이를 위해 기존의 계층 기법에 프로파일의 개념을 도입한다. 프로파일은 각 서브넷에서의 이동노드의 상주시간에 대한 기록을 보유하고 있으며 이 프로파일을 이용하여 중간 이동성 에이전트가 패킷 전송을 위해 기존의 패킷 전송 경로와 최적화된 경로 중에서 이동노드에 적절한 위치정보를 CN들에게 알린다. 이렇게 함으로써 제안 기법은 최적화된 경로로 패킷을 전송할 수 있으므로 중간 이동성 에이전트의 패킷 집중을 완화시키고, 이에 따르는 불필요한 패킷 지연을 완화시킬 수 있다.

**키워드** : 이동 IPv6, 계층적 이동 IPv6, 패킷 전송, 경로 최적화, 프로파일 관리

**Abstract** The secret sharing is the basic concept of the threshold cryptosystem and has an important position in the modern cryptography. At 1995, Jarecki proposed the proactive secret sharing to be a solution of existing the mobile adversary and also proposed the share renewal scheme for  $(k, n)$  threshold scheme. For  $n$  participants in the protocol, his method needs  $O(n^2)$  modular exponentiation per one participant. It is very high computational cost and is not fit for the scalable cryptosystem. In this paper, we propose the efficient share renewal scheme that need only  $O(n)$  modular exponentiation per participant. And we prove our scheme is secure if less than  $\frac{1}{2} n-1$  adversaries exist and they are static adversary.

**Key words** : Mobile IPv6, Hierarchical Mobile IPv6, Packet delivery, Route optimization, profile management

<sup>†</sup> 비 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과

shhwang@disys.korea.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 비 회 원 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 교수

bkleee@kpu.ac.kr

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터학과

hwang@disys.korea.ac.kr

<sup>\*\*\*\*</sup> 비 회 원 : 삼성종합기술원 연구원

yhhan@sait.samsung.co.kr

논문접수 : 2002년 7월 30일

심사완료 : 2003년 4월 30일

## 1. 서론

이동성을 지닌 이동노드(MN: Mobile Node, 이하 MN)에게 언제 어디서나 인터넷 기반 이동 서비스를 지원하기 위하여 IETF는 이동 IPv4(Mobile IPv4, 이하 MIPv4)를 제안하였다[1,2]. MIPv4에서 각 MN은 홈 네트워크로부터 영구적인 IP 주소(Home Address, 이하 HoA)를 할당받게 된다. 이 주소는 MN의 식별자로서 역할을 하게 된다. MIPv4에는 홈 네트워크를 관리하는 하나의 홈 에이전트(HA: Home Agent, 이하 HA)가 존재한다. HA는 MN이 새로운 위치로 이동할 때마다 얻는 임시주소인 CoA(Care-of-Address)를 항상 보유함으로써 MN에 대한 이동성을 관리한다. 대상 노드(CN: Correspondent Node, 이하 CN)가 MN과 통신하려 할 경우, CN는 반드시 MN의 HA를 통하여 패킷을 전송할 수 있다. 이에 반하여 MN이 CN에게 패킷을 보낼 때는 곧바로 패킷을 전송한다. 이러한 전송 방법을 삼각 라우팅(Triangle Routing)이라고 하며, 이는 패킷 전송 비용을 증가시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 경로 최적화의 방법이 제안되었다[3]. 그러나 이 최적화 방법은 CN에게 별도의 기능을 추가하므로 구현에 어려움이 따른다.

MN 및 호스트들의 수가 증가하면서 기존 IPv4 방식의 주소체계로는 수많은 MN 및 호스트들을 지원할 수 없게 되었다. 이러한 IPv4에서 주소체계의 한계를 해결하고자 IPv6가 등장하게 되었다. 뒤이어 자연스럽게 인터넷 환경에서 이동성 지원에 대한 프로토콜도 Mobile IPv6(이하 MIPv6) 프로토콜로 발전하게 되었다[4]. 이 프로토콜은 CN에게 MN의 현 위치를 기억하도록 하여 데이터를 MN에게 직접 전송하도록 함으로써 별도의 최적화 기법을 도입하지 않고 기존의 삼각라우팅의 문제를 해결하고 있다. 그러나 여전히 MN은 이동시마다 HA에 자신의 위치를 등록해야 하고 이는 인터넷 전체에 시그널 비용을 증가시키는 문제를 야기한다.

이러한 문제는 MN의 이동성질에 대한 지역성(locality)을 고려함으로써 해결할 수 있다. MN의 이동성관리에 지역성을 이용한 대표적인 프로토콜로서 계층적 MIPv6(Hierarchical MIPv6 이하 HMIPv6)이 존재한다[5]. 이 프로토콜은 홈 네트워크가 아닌 현재 MN이 위치한 지역 네트워크에 MAP(Mobility Anchor Point)라는 중간 위치 관리자를 둔다. MAP은 해당 네트워크에 존재하는 MN들에게 임시적인 HA와 같은 역할을 수행한다. MN이 임의의 지역 네트워크에 들어오게 되면, 두 개의 임시주소 LCoA(On-link CoA)와

RCoA(Regional CoA)를 얻는다. LCoA는 자신이 직접 연결된 링크의 네트워크 Prefix를 통하여 얻는 주소이다. RCoA는 MAP이 존재하는 링크의 네트워크 Prefix를 통하여 얻는 주소이다. 이제, MN이 동일한 MAP 지역 네트워크 내에서 이동한다면, MN은 RCoA를 동일하게 유지하면서 HA가 아닌 MAP에만 새로운 LCoA만을 등록한다. 한편 외부의 CN들에게는 항상 RCoA만을 알려주어 자신의 LCoA는 숨긴다. 즉, MAP은 자신이 관리하는 지역 네트워크 내에서 이동하는 MN에 대하여 그 지역 네트워크 밖의 CN들에게 위치 투명성을 부여하여, HA까지의 위치갱신을 위한 비용을 줄일 수 있다. 더욱 중요한 것은 HMIPv6은 보다 빠른 핸드오프를 MN에게 지원하며, 핸드오프에 따른 패킷 손실을 줄일 수 있다. 그러나, 임의의 CN에서 임의의 지역 네트워크 내의 MN에게 패킷을 전송할 때 그 패킷은 반드시 해당 지역 네트워크를 관리하는 MAP을 통과해야 하기 때문에 완전한 경로 최적화가 보장되지 않으며, 모든 패킷들이 MAP로 집중되는 현상이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 HMIPv6이 가지고 있는 위치관리의 장점을 살리면서, MN의 이동성에 따라 CN에서 MN로의 패킷 전송에 대한 비용을 줄일 수 있는 새로운 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 기법은 HMIPv6의 지역성을 이용한 위치갱신의 장점을 최대한 살리면서, MN의 서브 넷에서의 상주시간에 따라 패킷전송의 경로 최적화를 꾀하는 적응적인 기법을 제안하였다. 제안 기법에서 MN은 HMIPv6에서와 같이 2개의 CoA 즉, LCoA와 RCoA를 갖지만 MN의 상주시간에 따라 그 두 개의 CoA 중 서로 다른 것을 CN들에게 알림으로써 적응적으로 경로 최적화를 꾀하여 proMAP로의 패킷 집중 현상을 제거할 수 있다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 다음 2장에서 MIPv6 및 HMIPv6에 대한 관련 연구에 대하여 기술한다. 3장은 제안 기법에서의 구성 요소 및 알고리즘 등에 대해 설명한다. 4장에서는 제안 기법의 성능을 평가하기 위한 모델을 제시하고, 이 모델에 따른 비용을 산출한다. 5장에서는 4장에서 구한 비용계산식을 바탕으로 제안 기법의 성능을 기존 기법인 HMIPv6의 성능과 함께 비교 분석한다. 그리고 마지막으로 6장에서는 본 논문에 대한 결론 및 향후 연구과제에 대해 논의한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 MIPv6

MIPv6은 IPv6을 기반으로 이동 컴퓨팅 환경에서 MN에게 인터넷 서비스를 제공하기 위한 프로토콜이다.

MN은 새로운 AR(Access Router)으로 이동할 때마다 CoA를 새롭게 구성하고 이 CoA를 HA에 저장하도록 함으로서 CN들이 MN의 HoA만 알고 있다면 MN이 어디에 위치하는지에 관계없이 MN과 통신할 수 있도록 한다. MN은 자신과 통신한 CN들에게도 자신의 CoA를 알려줌으로서 HA를 거치지 않고 직접 최적화된 경로를 통해서 CN과 통신할 수 있다. 이러한 MIPv6의 기본적인 작동원리는 그림 1에서 보여준다. 먼저 MN이 새로운 위치로 이동하게 되면, MN은 현재 위치에 대한 CoA를 얻게 된다. 그리고 자신의 HA에게 BU(Binding Update)메시지를 보내어 자신의 위치를 알린다. 이때, BU 메시지에는 MN의 현재 위치를 나타내는 CoA와 MN의 HoA(Home Address)를 포함한다. BU를 받은 HA는 BAck(Binding Acknowledge) 신호로 위치정보가 갱신되었음을 알린다. 이후, MN은 다시 CN들에게 BU를 보내어, CN들이 MN과 최적화된 경로를 통해 직접 통신할 수 있도록 한다. 이러한 위치 갱신 절차 과정에서는 MN이 지역성을 가지고 빈번하게 이동하는 경우에도 계속해서 HA 및 CN들에게 BU 메시지를 보내야 한다. 또한 MN과 CN이 멀리 떨어진 위치에 존재하게 되면 핸드오프 시간이 오래 걸릴 수 있다.

2.2 HMIPv6

MIPv6에서 자주 이동하는 MN의 위치 갱신을 위한 과도한 시그널링 비용은 MN의 지역성을 고려하여 완화될 수 있다. 즉, MN의 지역성을 관리하기 위하여 해당 지역 네트워크에 들어온 MN들을 관리하는 MAP이라는 중간 위치 관리자를 둔다. 이때, MAP은 해당 지역 네트워크에 위치하는 MN들에 대하여 HA와 같은 역할을 수행한다. 새로운 네트워크에 들어간 MN은 두 개의 CoA 즉 LCoA와 RCoA를 할당받는다. MN이 동일 MAP 지역 네트워크 내에서 이동하는 경우 RCoA는 변

하지 않는다. 만일 MN이 동일 MAP 지역 네트워크 내의 새로운 서브 넷으로 이동한다면, MN의 MAP에게 자신이 새롭게 구성한 LCoA 정보를 BU를 통하여 알려준다. 이때, MN의 RCoA는 변하지 않았으므로 지역 네트워크 외부에 존재하는 CN이나 HA에게는 BU를 보낼 필요가 없다. 즉, MN이 자신이 이동할 때마다 HA과 CN들에게 BU를 보내지 않으므로 그 BU를 위한 시그널링 비용을 줄일 수 있다. 더욱이 이 MAP의 도입은 지역성을 갖는 MN에 대해서 MIPv6보다 빠른 핸드오프를 제공할 수 있고 핸드오프로 인한 패킷 손실률도 줄일 수 있다.

그림 2는 이러한 HMIPv6의 동작을 보여준다. 먼저, MN이 새로운 지역 네트워크에 들어오게 되면 MN은 AR로부터 자신이 위치한 링크의 네트워크 prefix 및 MAP이 위치한 링크의 네트워크 prefix를 받아 LCoA 및 RCoA를 구성한다. MN은 현 지역 네트워크를 관리하는 MAP에게 LCoA 및 RCoA에 대한 바인딩을 포함하는 BU 메시지(그림 2에서 BU\_L)를 보낸다. BU를 받은 MAP은 BAck 메시지로 위치정보가 등록되었음을 MN에게 알린다. BAck을 받은 MN은 새로운 네트워크에 들어왔으므로 HA에게 BU 메시지(그림 2에서 BU\_R)를 보내고 BAck을 받는다. HA로 가는 BU메시지에는 MN의 RCoA와 HoA의 바인딩이 포함된다. 이때 MN은 CN과의 통신을 위해 CN들에게도 BU 메시지(그림 2에서 BU\_R)를 보내게 되는데 이때 BU 메시지는 HA에게 보낸 것과 동일한 바인딩을 포함하게 된다. 즉, CN들은 MN의 RCoA만을 알게 되어 MAP 지역 네트워크 내부에서 MN의 이동은 알 수가 없게 된다.

MN이 동일한 MAP 영역내의 다른 서브 넷으로 이동하게되어 새로운 LCoA를 할당받은 경우에 MN은 다만 MAP에게만 그 LCoA를 포함하는 BU 메시지를 보내면 된다. 즉, HA나 CN들에게는 더 이상의 BU 메시지를 보낼 필요가 없다. 이는 위치갱신에 따르는 시그널링 비용 상당히 줄일 수 있다. 한편, CN이 MN과 통신하게 될 때, CN은 MN의 LCoA가 아닌 RCoA를 알고 있기 때문에, CN에서 MN으로 가는 패킷은 반드시 MAP를 통과하게 된다. 즉, MN을 향하는 모든 패킷은 MAP를 통과하게 되어 MAP로의 패킷 집중이 발생하게 된다. 또한 CN에서 MN으로 직접 패킷이 전송되지 않고 MAP를 통과하게 됨으로서 패킷 전송 비용이 증가하게 된다. 특히, MAP에서 MN으로의 패킷전송은 터널링이라는 기법을 이용하는데, 터널링을 위한 비용이 그 패킷 전송 비용에 포함된다.

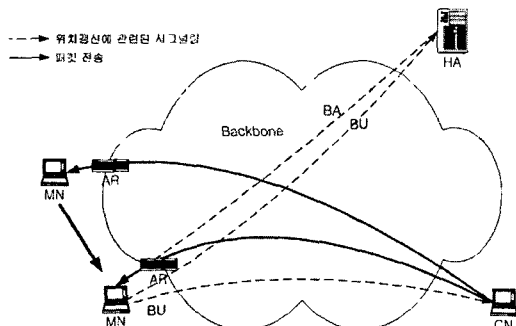


그림 1 MIPv6의 동작 원리

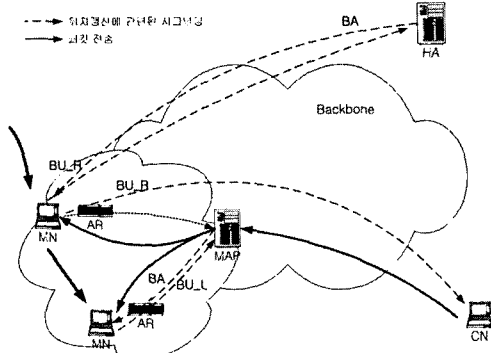


그림 2 HMIPv6의 동작원리

### 3. 적응적 경로 최적화 기법

HMIPv6의 위치갱신을 위한 시그널링 비용의 감소에 대한 장점을 어느 정도 유지하면서, HMIPv6의 경로 지연에 대한 문제를 해결하고 MAP에 패킷을 집중하는 것을 완화시킬 수 있도록, 본 논문에서는 MN의 지역성 뿐만 아니라 각 서브 넷에서의 상주시간을 고려한 기법을 제안하고자 한다. 즉, MN의 이동을 고려하여 CN에게 MN의 LCoA와 RCoA를 선택적으로 등록한다. 즉, 이동노드가 해당 서브 넷으로 들어왔을 때, 그 서브 넷에서 이전에 오랜 시간동안 머문 경우는 LCoA를 등록하고 그렇지 않은 경우는 RCoA를 등록하여 이동노드의 이동성에 따라 CN이 이동노드에게 패킷을 전송할 때 MAP를 통과하지 않고 최적화된 경로를 통하여 패킷을 전송하여 패킷 전송의 지연을 줄일 수 있고, MAP으로의 패킷 집중을 완화시킬 수 있다. 이렇게 하기 위해서는 MN의 이동을 관리할 수 있도록 MN의 이동성에 대한 정보를 관리하는 새로운 구성요소가 필요하다. 이러한 제안 기법에 대한 구성 요소 및 알고리즘에 대한 설명은 다음과 같다.

#### 3.1 제안 기법의 구성 요소

제안 기법에서는 MN의 상주시간을 관리하는 프로파일이라는 새로운 구성요소가 필요하다. MAP은 그러한 프로파일의 내용을 기반으로 MN이 CN들에게 자신의 위치를 알려줄 때, LCoA와 RCoA 중 하나를 결정할 수 있는 기능이 추가되어야 한다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 기법의 구성 요소는 그림 3과 같이 기존의 HMIPv6 구성 요소에 대한 약간의 변형으로 표현될 수 있다. 다음은 각각의 구성요소에 대한 설명이다.

proMAP(MAP with profile) : HMIPv6에서의 MAP과 동일한 기능 이외에 MN이 CN에게 등록할 CoA를

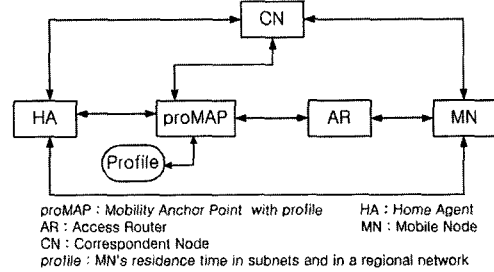


그림 3 제안 기법의 기본 구성 요소

Profile의 정보를 이용하여 선택하는 기능을 포함한다.

- Profile : proMAP 영역내의 각 서브 넷에서의 평균 상주시간과 각각의 서브 넷 영역에서의 상주시간에 대한 저장소이다. 각 서브 넷에서의 상주시간은 MN이 proMAP에 위치갱신과 갱신간의 시간차로 결정된다. 이 프로파일은 proMAP으로 하여금 MN이 CN에게 등록할 CoA를 결정하는 기준이 된다.
- 나머지 구성요소들 : 모두 HMIPv6에서와 동일한 기능을 수행한다.

#### 3.2 적응적 경로선택 알고리즘

프로파일은 각 proMAP 영역마다 proMAP과 함께 쌍으로 존재한다. 이 프로파일에는 해당 proMAP 영역내의 각 서브 넷에서의 상주시간 및 그것들의 평균시간을 보유하고 있다. MN이 임의의 서브 넷에 들어와서 나가는 시간은 proMAP가 MN으로부터의 BU를 받은 시간차로서 proMAP 스스로 판단하여 프로파일에 보유하고 계산을 한다.

##### 3.2.1 proMAP 영역내의 평균 상주시간 및 서브 넷에서의 평균 상주시간 계산

$(i, j)$ 를 proMAP 지역 네트워크  $i$  내의 서브 넷  $j$  영역이라고 정의하고, 이  $(i, j)$ 에서의 MN들의 총 방문 횟수를  $L$ , 그러한 MN들의  $l$  번째 방문시 상주시간을  $t_{i,j}(l)$  라고 할 때, 서브 넷  $(i, j)$ 에서의 평균 상주시간,  $T_{i,j}$  는 다음과 같이 표현된다.

$$T_{i,j} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L t_{i,j}(l) \quad (1)$$

또한 proMAP  $i$  영역내의 서브 넷이  $k$  개라면, proMAP  $i$  영역내의 서브 넷 평균 상주시간,  $T_{i,\cdot}$  는 다음과 같이 계산된다.

$$T_{i,\cdot} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k T_{i,j} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L t_{i,j}(l) \quad (2)$$

3.2.2 proMAP에서 MN의 CoA 선택 방법

MN이 CN에게 BU를 보낼 때 CoA를 선택하는 것은 proMAP이 프로파일을 참조하여 다음과 같이 결정한다.

$$\text{if } T_{i,j} \geq T_i \text{ then select LCoA} \quad (3)$$

$$\text{else select RCoA}$$

즉, proMAP  $i$  영역내의 서브넷  $(i, j)$  에서의 평균 상주시간  $T_{i,j}$ 가 proMAP  $i$ 에서의 평균 상주시간  $T_i$ 보다 클 경우, CN을 위한 CoA로서 LCoA를 선택하고, 그렇지 않을 경우, RCoA를 선택한다. 다시 말하면, 패킷 전송율이 동일하다고 할 때, MN이 특정 서브넷에서 오래 상주하는 경우에 CN에게 자신의 LCoA를 알려줌으로서 패킷전송 경로를 최적화 할 수 있다. 반면, MN이 오래 머무르지 않는 서브넷에서는 CN에게 자신의 CoA 주소로서 RCoA를 알려줌으로서 CN으로의 등록 부담을 줄일 수 있다.

3.3 관련 메시지 및 프로토콜

3.3.1 이동노드의 CoA 통보

앞 절에서 설명된 적응적 경로선택 알고리즘을 이용하여 proMAP은 MN의 CoA를 결정한다. 그리고 결정된 CoA를 MN에게 알리기 위하여 기존의 Binding Acknowledgement(이하 BAck) 메시지를 이용한다. 즉, BAck 메시지의 예비영역인 reserved 필드에 한 비트 길이의 'C'(CoA) 필드를 정의한다. 'C' 필드는 다음과 같이 정의되며, 제안된 BAck 메시지는 그림 4와 같다.

C 필드 : 값이 '0'이면, 선택된 CoA가 RCoA임을 의미하고, '1'이면, LCoA를 의미한다. 만일 제안한 프로토콜을 인식하지 못하는 MN이 존재한다면, 그러한 MN은 이 필드를 무시하고 기존의 HMIPv6 방식으로 처리하면 된다.

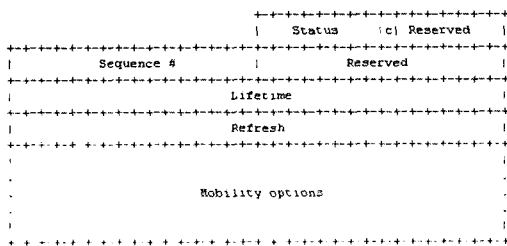
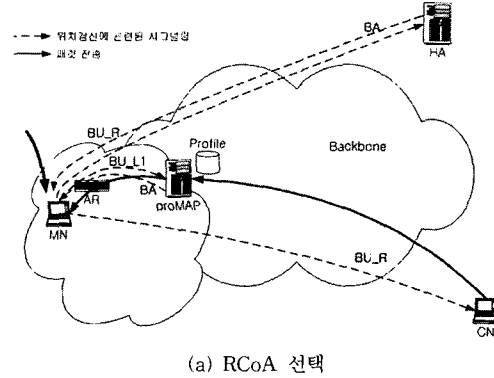


그림 4 BAck 메시지 형식

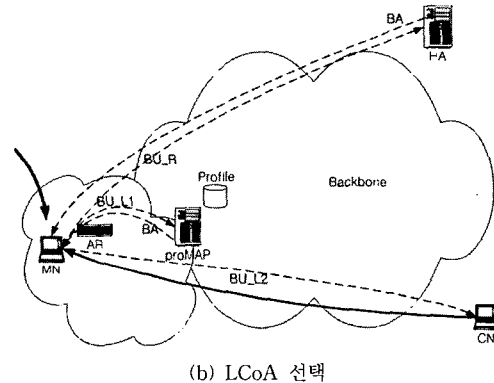
3.3.2 프로토콜

본 논문에서 제안하는 기법은 MN이 proMAP 영역을 벗어나 이동하는가, proMAP 영역 내에서 이동하는가에 따라 거시 이동 (Macro Movement)과 미시 이동 (Micro Movement)으로 나누어 설명한다.

가) 거시 이동시 위치 갱신 및 데이터 패킷 전달



(a) RCoA 선택



(b) LCoA 선택

그림 5 거시 이동시의 위치등록과 갱신 및 패킷 전달 과정

MN이 새로운 proMAP 영역으로 이동한 경우, HA와 proMAP로의 위치 등록 및 갱신은 HMIPv6과 동일한 방식으로 진행되지만, CN들로의 위치등록 및 갱신작업은 선택된 CoA에 따라 달라진다. 거시 이동시 위치 갱신은 다음과 같은 프로시저를 따라 수행된다(그림 5 참조).

- 1) 임의의 MN이 새로운 proMAP 지역 네트워크 영역에 들어간다.
- 2) MN은 새로운 서브 넷으로 들어오자마자 HMIPv6 과 동일한 방식으로 LCoA와 RCoA를 구성한다.
- 3) MN은 proMAP에게 BU\_L1 메시지를 보낸다. (BU\_L1 메시지는 RCoA와 LCoA의 바인딩 정보를 포함한다)
- 4) BU\_L1 메시지를 받은 proMAP은 MN이 외부의 CN에게 보낼 BU에 포함될 CoA를 3.2절에 설명한 방식으로 결정하고, BU\_L1 수신 시간을 기록

하고, 이전에 수신한 BU\_L1의 수신시간과의 차이를 계산하여 프로파일에 기록 시간을 기록한다.

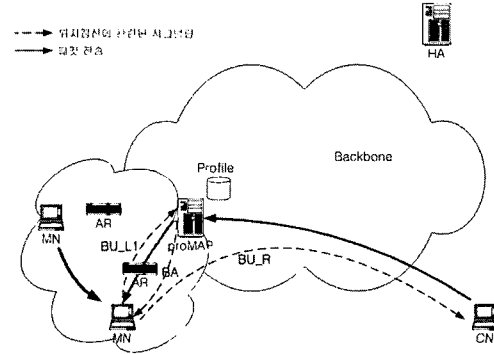
- 5) MN에 대한 CoA를 결정한 proMAP은 MN에게 BAcK 메시지를 보낸다. 이때 BAcK 메시지에는 선택된 CoA에 따라 'C'비트가 설정된 상태이다.
- 6) BAcK 메시지를 받은 MN은 HA에게 BU\_R 메시지를 보낸다(BU\_R 메시지에는 MN의 HoA와 RCoA의 바인딩을 포함한다).
- 7) BU\_R 메시지를 받은 HA는 MN에게 BAcK 메시지를 보낸다.
- 8) MN은 선택된 CoA에 따라서 BU\_R 또는 BU\_L2 메시지를 보낸다(BU\_R은 HA에 보낸 것과 동일하게 MN의 HoA와 RCoA를 포함하고, BU\_L2 메시지는 HoA와 LCoA를 포함한다).

위의 절차를 통해 MN에 대한 위치 갱신이 수행되고, 특히 BU/BAcK 메시지가 교환될 때, 계층적 MIPv6과 같은 방식으로 보안 어소시에이션이 MN과 HA 및 MN과 proMAP 사이에 설정되어야 한다[5]. 한편, CN이 MN에게 패킷을 전송할 때, CN은 자신이 알고있는 CoA을 이용한다. 만일 CN이 MN에 대한 RCoA를 알고 있는 경우는 그림 5(a)의 실선을 따라, 기존의 HMIPv6과 동일한 방식으로 proMAP를 통해 패킷을 전송한다. 한편 CN이 MN에 대한 LCoA를 알고 있는 경우는 그림 5(b)의 실선을 따라, CN은 MN으로의 최적화된 경로를 통해 직접 패킷을 전송하게 된다. 이러한 패킷 전송은 항상 MAP라는 중간 관리자를 통과해야 하는 기존의 HMIPv6에 비해 패킷 전송의 경로 최적화를 꾀할 수 있고, MAP로의 패킷 집중을 막을 수 있다. 이런 장점은 특히, 통신 량이 많은 지역 네트워크에서 두드러진다.

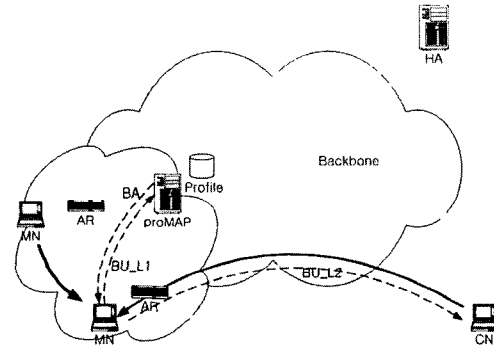
나) 미시 이동시 위치 갱신 및 데이터 패킷 전달

MN이 동일한 proMAP 영역 내에서 이동한 경우 HMIPv6과 동일한 방식으로 proMAP에 위치갱신을 수행한다. 즉, HA에게 위치갱신을 하지 않고 proMAP에 계단 위치갱신을 수행한다. 여기에 제안기법에서는 CN이 MN에게 패킷을 보낼 때 MN의 이동성에 따라 패킷 전송의 경로를 최적화하기 위하여 CN에게 위치갱신을 필요로 한다. 다음은 미시 이동시 위치갱신 프로시저를 기술한 것이다.

- 1) MN이 동일 지역 네트워크내의 새로운 서브 넷으로 들어간다.
- 2) MN은 해당 서브 넷으로부터 새로운 LCoA를 할당받는다.
- 3) MN은 proMAP에게 BU\_L1 메시지를 보낸다.



(a) RCoA 선택



(b) LCoA 선택

그림 6 미시 이동에서의 위치등록과 갱신 및 패킷 전달 과정

- 4) BU\_L1 메시지를 받은 proMAP은 MN의 CoA를 결정하고, 수신한 BU\_L1의 수신시간과의 차이를 계산하고 프로파일에 기록한다.
- 5) MN의 CoA를 결정한 proMAP은 'C' 비트를 설정한 BAcK 메시지를 MN에게 보낸다.
- 6) BAcK을 받은 MN은 CN에게 BU\_R 또는 BU\_L2 메시지를 보낸다.

미시 이동시에 CN에서 MN으로 패킷 전송은 거시 이동시와 동일한 방식으로 진행된다.

4. 시스템 모델링 및 비용 계산

성능 평가를 위하여 본 논문에서는 임의의 전체 네트워크 내에 N개의 서브 넷들이 임의의 모양으로 구성되어 있는 네트워크를 가정한다. 하나의 서브 넷에는 하나의 AR이 존재한다고 가정한다. 이제, MN이 N개의 전

체 서버 넷 사이를 임의적으로 이동한다고 가정하고, 임의의 proMAP가 관리하는 지역 네트워크는  $k$ 개의 서버 넷들로 구성된다고 가정한다. 임의의 proMAP이 MN의 CoA로서 LCoA를 선택할 확률을  $P_L$ , RCoA를 선택할 확률을  $P_R$ 이라고 할 때, 이들 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$P_L = \Pr(T_{i,j} \geq T_{i..}) \quad (4)$$

$$P_R = \Pr(T_{i,j} < T_{i..}) = 1 - P_L \quad (5)$$

이제, 확률변수  $M$ 을 MN이 임의의 지역 네트워크 내에서 그 지역 네트워크를 벗어날 때까지 이동한 서버 넷 수로서 정의하자. MN이  $m$ 번째 이동에서  $k$ 개의 서버 넷으로 구성된 proMAP 지역 네트워크 영역을 벗어날 확률을  $P_{out}^m$ 이라고 정의하면, 이 확률과 이 proMAP 지역 네트워크 영역을 벗어나는 데 걸린 이동회수의 평균,  $E[M]$ 은 다음과 같이 구할 수 있다[6].

$$P_{out}^m = \frac{N-k}{N-1} \cdot \left(\frac{k-1}{N-1}\right)^{m-2} \quad 2 \leq m < \infty \quad (6)$$

$$E[M] = \sum_{m=2}^{\infty} m P_{out}^m = 1 + \frac{N-1}{N-k} \quad (7)$$

그리고, 임의의 이동에 대하여 proMAP 지역 네트워크 영역을 벗어날 확률을  $P_{out}$ 이라고 하고, 벗어나지 않을 확률을  $P_{in}$ 이라고 정의하면, 이들 확률은 평균 이동 횟수인  $E[M]$ 을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{out} = \frac{1}{E[M]} \quad (8)$$

$$P_{in} = 1 - P_{out} = \frac{E[M]-1}{E[M]} \quad (9)$$

다음 그림은 제안 기법의 비용 계산을 위하여 고안한 네트워크 비용 모델을 나타낸다.

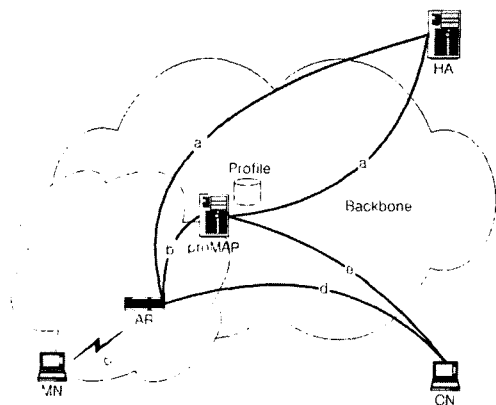


그림 7 네트워크 비용 모델

HMIPv6 및 제안 기법에 대한 성능분석을 위해 그림 7 네트워크 비용 모델링을 이용한다. HMIPv6 및 제안 기법의 비용은 크게 위치갱신을 위한 BU 비용과 패킷 전송을 위한 패킷 전송 비용을 구성된다. 이러한 비용 계산을 위하여 먼저 다음과 같은 가정이 필요하다.

- $\lambda$  : MN에 도착하는 패킷들의 평균 도착률
- $\mu$  : MN이 서버 넷을 이동하는 평균 이동률
- $p$  : 단위 이동 당 MN에 도착하는 평균 패킷 수,

$$\text{PMR} (= \text{Packet to Mobility Ratio}, p = \frac{\lambda}{\mu})$$

$l_c$  : BU 패킷의 평균 길이

$l_d$  : 데이터 패킷의 평균 길이

$$l = \frac{l_d}{l_c} : \text{BU 패킷과 데이터 패킷의 길이 비율}$$

$r$  : 임의의 호스트에서 BU 패킷을 처리하는 평균 비용

$t$  : 터널링을 위하여 임의의 MAP에서 데이터 패킷을 캡슐화하거나, MN에서 캡슐화된 패킷을 제거하는 평균 비용

$s$  : 임의의 proMAP에서 MN에 대한 CoA 선택 작업에 필요한 평균 비용

MN으로 도착하는 패킷은 파라미터  $i$ 를 갖는 포와송 분포를 따르고, MN의 이동시간 간격은 파라미터  $\frac{1}{\mu}$ 를 갖는 지수분포를 따른다고 가정한다. BU 패킷 전송 비용은 수신자와 발신자사이의 거리에 의존하며, 데이터 패킷의 전송 비용은 제어 패킷 전송 비용에 비해  $l$  배 더 크다[7]. CN은 MN의 위치에 대한 BU를 이미 알고 있다고 가정하고, 통신 중 이동시에 발생하는 핸드오프는 고려하지 않는다. 그러므로, HA를 통해 데이터 패킷을 전달하는 경우는 성능분석에서 배제하고 MN에게 직접 데이터 패킷을 전달하는 경우만 생각한다.

#### 4.1 HMIPv6에서 비용 계산

HMIPv6에 대한 이동 당 평균 비용  $C_{HMIPv6}^h$ 는 이동 당 위치갱신을 위한 비용  $C_{rx}^h$ 과 이동 당 패킷 전송 비용  $C_{dch}^h$ 의 합으로 다음과 같이 표현된다.

$$C_{HMIPv6}^h = C_{rx}^h + C_{dch}^h \quad (10)$$

위의 식에서  $C_{rx}^h$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_{rx}^h = P_{out} \times C_{rxMAP}^h + P_{in} \times C_{rxSOMMAP}^h \quad (11)$$

$$\begin{aligned} C_{rxMAP}^h &= C_{MN \cdot MAP} + C_{MN \cdot HA} + C_{MN \cdot CN} \\ &= \{2(b+c) + 2r\} + \{2(a'+c) + 2r\} + \{c+d+r\} \\ &= 2a' + 2b + 5c + d + 5r \end{aligned} \quad (12)$$

$$C_{sameMAP}^h = C_{MN \cdot MAP}^h = 2(b + c + r) \quad (13)$$

위의 식에서  $C_{newMAP}^h$ 는 새로운 MAP 지역 네트워크 영역으로 이동할 때의 위치 갱신 비용,  $C_{sameMAP}^h$ 는 동일한 MAP 지역 네트워크 내에서 이동할 때의 위치갱신 비용을 나타낸다. 한편  $C_{deli}^h$ 은 다음과 같다.

$$C_{deli}^h = \{l \times (e + b + c) + 2t\} \times p \quad (14)$$

따라서, HMIPv6에서 총 비용은 다음과 같다.

$$C_{HMIP}^h = \left\{ \frac{1}{E[M]} (2a' + 2b + 5c + d + 5r) + \frac{E[M]-1}{E[M]} \times 2(b + c + r) \right\} + \{l \times (e + b + c) + 2t\} \times p \quad (15)$$

#### 4.2 제안 기법에서 비용 계산

제안 기법에 대한 이동 당 평균 비용  $C_{New}$ 는 이동 당 위치갱신을 위한 비용  $C_{rxk}$ 과 이동 당 패킷 전송 비용  $C_{deli}$ 의 합으로 다음과 같이 표현된다.

$$C_{New} = C_{rxk} + C_{deli} \quad (16)$$

위의 식에서 이동 당 위치갱신을 위한 비용  $C_{rxk}$ 과 이동 당 패킷 전송 비용  $C_{deli}$  다음과 같다.

$$C_{rxk} = P_{out} \times C_{newproMAP} + P_{in} \times C_{sameproMAP} \quad (17)$$

$$C_{newproMAP} = C_{MN \cdot proMAP} + C_{MN \cdot HA} + C_{MN \cdot CN} = \{2(b + c) + 2r + s\} + \{2(a' + c) + 2r\} + \{c + d + r\} = 2a' + 2b + 5c + d + s + 5r \quad (18)$$

$$C_{sameproMAP} = C_{MN \cdot proMAP} + C_{MN \cdot CN} = \{2(b + c) + 2r + s\} + \{c + d + r\} = 2b + 3c + 3r + d + s \quad (19)$$

위의 식에서  $C_{newproMAP}$ 은 새로운 proMAP 지역 네트워크로의 이동시 위치갱신 비용,  $C_{sameproMAP}$ 는 동일한 proMAP 지역 네트워크에서의 이동시 위치갱신 비용을 나타낸다. 한편, 데이터 패킷 전송 비용은 다음과 같다.

$$C_{deli} = C_{viaproMAP} \times P_R + C_{viaAR} \times P_L \quad (20)$$

위의 식에서  $C_{viaproMAP}$ 은 proMAP을 경유하여 패킷이 전송될 때의 비용이고,  $C_{viaAR}$ 은 직접 MN에게 패킷이 전송될 때의 비용이며, 각각은 다음과 같다.

$$C_{viaproMAP} = \{l \times (e + b + c) + 2t\} \times p \quad (21)$$

$$C_{viaAR} = \{l \times (c + d)\} \times p \quad (22)$$

따라서, 제안하는 기법에서의 총비용은 다음과 같다.

$$C_{New} = \left\{ \frac{1}{E[M]} [2a' + 2b + 5c + d + s + 5r] + \frac{E[M]-1}{E[M]} [2b + 3c + 3r + d + s] \right\} + p \times [\{l \times (e + b + c) + 2t\} \times P_R + \{l \times (c + d)\} \times P_L] \quad (23)$$

### 5. 비용 분석

이 장에서는 위 4장에서는 구한 계산에 대한 몇 가지 실험의 결과를 분석한다. 실험을 통하여 HMIPv6 및 제안 기법에서의 이동 당 위치갱신 비용, 패킷 전송 비용 및 총비용을 다음과 같이 비교한다.

#### 5.1 위치갱신 비용 비교

다음 그림 8은 각 기법의 이동당 위치갱신 비용을 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이, HMIPv6 및 제안 기법은 지역 네트워크의 크기인 k 값이 증가함에 따라 위치갱신 비용이 줄어들고 있다. 이는 크기 k인 지역 네트워크를 관리하는 MAP/proMAP라는 중간 계층을 두어 지역 네트워크 내에서 이동시에는 HA로의 위치갱신을 수행하지 않기 때문이다. 즉, k값이 증가함에 따라 지역 네트워크 영역 밖으로 이동할 확률인  $P_{out}$ 은 감소하게 되며,  $P_{out}$ 이 감소함에 따라 제안 기법 및 HMIPv6의 위치갱신 비용은 감소하게 된다. 또한, HMIPv6은 제안기법보다 더 낮은 비용을 보여주고 있는데, 이는 동일한 지역 네트워크 영역 내에서 이동시 제안기법에서는 패킷 전송의 최적화를 위하여 MN이 CN들에게 위치갱신을 수행하기 때문이다. 즉, 제안기법의 경우 지역 네트워크 영역 내에서 MN이 이동할 때 해당하는 CN들에 대하여 새로운 CoA를 등록해야하므로, HMIPv6보다는 많은 갱신 비용이 들어간다.

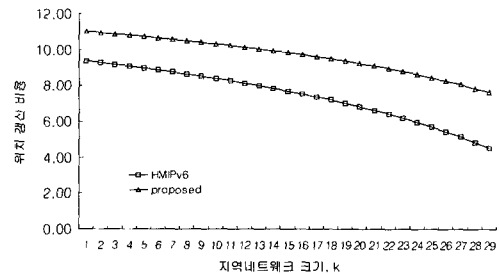


그림 8 위치갱신 비용 비교

(단,  $a' = 2.5$ ,  $a = d = e = 2$ ,  $b = c = 1$ ,  $r = s = t = 0.1$ )



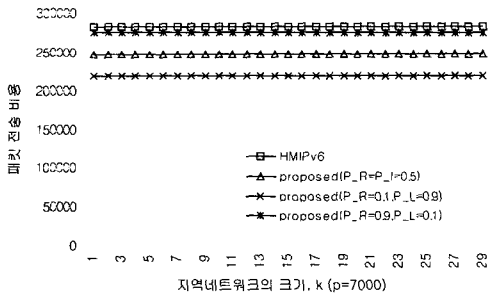
5.2 패킷 전송 비용 비교

그림 9(a)는 k값에 따른 패킷 전송 비용을 보여준다. 그림에서 패킷 전송 비용은 지역 네트워크의 크기에 관계없이 동일하게 측정되는데 이는 경로 최적화의 비용을 모두 동일하게 가정하였기 때문이다. 그림은 HMIPv6이 제안 기법보다 항상 높은 패킷 전송 비용을 보여준다. 이는 HMIPv6에서 패킷 전송은 항상 MAP라는 중간 노드를 거치지만 이에 반해 제안 기법에서는 MN의 상주시간에 따라 MN에 직접 패킷을 보내는 경우가 발생한다. 만약  $P_L$  값이 커짐에 따라, CN은 MN의 LCoA를 통해 최적화된 경로로 패킷을 전송하게 된다. 따라서  $P_L$  값이 클수록 패킷 전송비용은 감소하게 된다. 반대로  $P_R$  값이 커지면, CN은 MN의 RCoA를 통해서 패킷을 전송하게 된다. 따라서  $P_R$  값이 클수록 패킷 전송 비용은 HMIPv6의 패킷 전송 비용에 근접하지만 높지는 않다. 결과적으로, 제안 기법에서 MN의  $P_L$ 이 클수록 패킷 전송은 효과적임을 알 수 있다. 그림 9(b)는  $P_R = P_L = 0.5$ 일 때 PMR(Packet to Mobility Ratio)에 대한 패킷 전송 비용의 변화를 보여

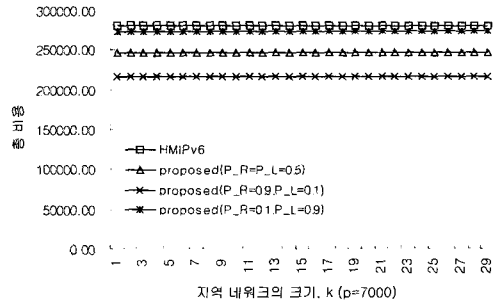
준다. 두 기법 모두 그것들의 패킷 전송 비용이 PMR 즉, 패킷량에 비례한다. 제안 기법에서의 패킷 전송 비용은 HMIPv6보다 항상 적게 나타난다. 이는 패킷이 CN이 알고 있는 MN의 CoA에 따라 최적화된 경로를 통해 전송되기 때문이다. 이런 현상은 특히 PMR 값이 커질수록 기존 HMIPv6와의 비용 차이는 커진다.

5.3 총 비용 비교

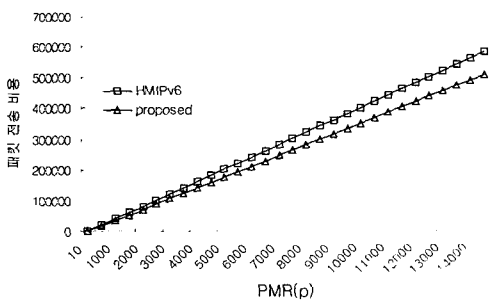
총 비용은 위치갱신 비용과 패킷 전송 비용의 합으로 표현된다. 그림 10은 지역 네트워크 영역의 크기에 따른 총 비용과 PMR값에 따른 총 비용을 보여준다. 그림 10(a)에서 총 비용은 패킷 전송 비용과 유사하게 지역 네트워크 영역의 크기에 관계없이 거의 일정한 값을 보여준다. 이는 위치갱신 비용이 패킷 전송 비용에 비해 현저히 낮으므로, 위치갱신 비용의 총 비용에 대한 영향이 무시할 정도만큼 작기 때문이다. 이런 현상은 그림 10(b)에서도 동일하게 총 비용은 위치 갱신보다는 패킷 전송 비용에 의해 결정됨을 보여주주고 있다. 그러므로 제안기법이 HMIPv6에 비하여 위치 갱신 비용이 약간 높다하더라도 상당히 낮은 패킷 전송 비용으로 인하여 HMIPv6보다 그 총 비용이 낮아짐을 보여준다.



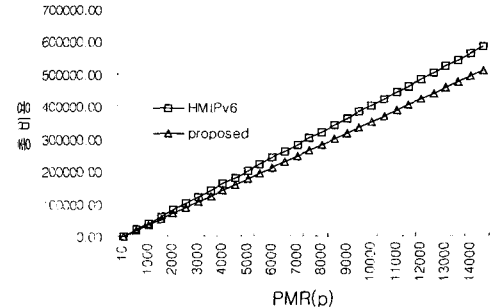
(a) proMAP 영역 크기에 따른 비용



(a) proMAP영역 크기에 따른 총 비용



(b) PMR에 따른 비용



(b) PMR에 따른 총 비용

그림 9 패킷 전송 비용 비교

(단  $a' = 2.5, a = d = e = 2, b = c = 1, r = s = t = 0.1$ )

그림 10 총 비용 비교

(단  $a' = 2.5, a = d = e = 2, b = c = 1, r = s = t = 0.1$ )

6. 결론

IETF에 제안된 HMIPv6은 MN의 지역성을 이용하여 HA와 MN사이에 MN이 위치한 지역 네트워크 영역에 MAP를 두어 MN의 임시적인 HA로서의 역할을 수행하도록 하였다. HMIPv6에서는 MN이 MAP 영역 내에서 이동한다면 MN은 단지 MAP에게만 위치갱신을 하도록 하여 HA와 CN으로의 위치갱신 비용을 현저하게 낮추었다. 그러나 이 MAP의 도입은 패킷전송에 있어서 MAP을 반드시 통과하도록 함으로서 경로 최적화를 보장하지 못하게 하고, 또한 모든 패킷들이 MAP을 통과해야 함으로서 MAP에서의 패킷 집중현상을 초래한다. 이에 본 논문에서는 HMIPv6의 지역성을 이용한 위치갱신의 장점을 최대한 살리면서, MN의 서브 넷에서의 상주시간에 따라 패킷전송의 경로 최적화를 꾀하는 적응적인 기법을 제안하였다. 제안 기법에서 MN은 계층 구조와 같이 2개의 CoA 즉, LCoA와 RCoA를 갖지만 MN의 상주시간에 따라 서로 다른 CoA를 CN들에게 알림으로서 적응적으로 경로 최적화를 꾀하고, 따라서 proMAP로의 패킷 집중 현상을 제거할 수 있다. 그러나, 제안기법은 프로파일 생성에 있어서, MN의 서브 넷에서의 상주시간을 보다 정확하게 측정할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한 제안기법에서의 CN은 MN에 대한 각기 다른 CoA를 갖고 있으므로 통신 중 이동시에 발생할 수 있는 패킷 손실 및 지연 발생 가능성을 생각해볼 수 있다. 따라서 향후 이런 문제를 해결할 수 있는 효율적인 핸드오프에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] C. E. Perkins, IP Mobility Support for IPv4, IETF RFC 3220, Jan 2002.  
 [2] J.D. Solomon, Mobile IP The Internet Unplugged, Prentice Hall PTR, 1998.  
 [3] C. E. Perkins and D. B. Johnson, Route Optimization in Mobile IP, IETF Internet Draft, draft ietf mobileip optim 11.txt(work in progress), Sept 2001.  
 [4] D. B. Johnson, C. E. Perkins, and J. Arkko, Mobility Support in IPv6, IETF Internet Draft, draft ietf-mobileip ipv6 18.txt (work in progress), June 2002.  
 [5] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, and L. Bellier, Hierarchical MIPv6 mobility management (HMIPv6), IETF Internet Draft, draft ietf mobileip hmipv6 06.txt (work in progress), July 2002.

[6] X. Jiang, I.F. Akyildiz, "An optimal location management scheme for minimizing signaling cost in mobile IP," IEICE Transaction on Communication(Special Issue on Mobile Multimedia Communications), Vol.E84 B, No.4, pp.892-902, April 2001.  
 [7] R. Jain, T. Raleigh, C. Graff, M. Bereschinsky, "Mobile Internet access and QoS guarantees using mobile IP and RSVP with location registers," ICC 98. vol.3, pp.1690-1695, 1998.



황 승 회

2000년 고려대학교 컴퓨터학과 졸업  
 2002년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 석사 졸업. 현재 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정 재학중. 관심분야는 이동통신, wireless TCP, Mobile IPv6, Network Mobility



이 보 경

1983년~1987년 고려대학교 수학과 졸업. 1993년~1995년 영국 버밍햄대학교 전산과학과 석사. 1996년~2000년 고려대학교 전산과학과 박사. 1987년~1998년 데이콤 근무. 2001년~현재 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 이동컴퓨팅, 라우팅, Mobile IP

황 중 선

정보과학회논문지 : 정보통신  
 제 30 권 제 1 호 참조

한 연 회

정보과학회논문지 : 정보통신  
 제 30 권 제 1 호 참조