

# IEEE 802.11 무선랜 환경에서의 이동성 지원 IPv6 프로토콜의 성능분석

## (Performance Analysis of Mobility Support Protocols for IPv6 over Wireless LAN)

황 승 희 <sup>†</sup>      한 연 희 <sup>\*\*</sup>      황 증 선 <sup>\*\*\*</sup>

(Seung-Hee Hwang)    (Youn-Hee Han)    (Chong-Sun Hwang)

**요 약** IPv6 기반 이동성 지원 프로토콜인 Mobile IPv6, Hierarchical Mobile IPv6, Fast Handovers over Mobile IPv6가 IETF를 통해서 제안되었다. 한편, 이동 인터넷 서비스를 위해서 IEEE 802.11 네트워크가 최근에 널리 이용되고 있다. 그래서 가까운 장래에 IEEE 802.11 네트워크에서 IPv6 이동성 지원 기술은 All IP 기반 이동성 지원 서비스를 실현하는 핵심 기술이 될 것이다. IPv6 이동성 지원 프로토콜들의 적절한 응용 개발을 위해서는 먼저 이들의 성능을 분석할 필요가 있다. 이런 분석에는 프로토콜에 의해 요구되는 시그널링 비용, 핸드오버시 지연 시간, 핸드오버시 손실되는 패킷의 수 및 이 손실을 줄이기 위해서 필요한 버퍼의 크기 등이 포함되어야 하며, 또한 IEEE 802.11 과 같은 하위 계층 프로토콜이 미치는 영향을 분석해 볼 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.11 네트워크에서 IPv6 이동성 지원 프로토콜들을 분석하기 위한 프레임워크를 개발하고 각각의 프로토콜들에 대한 성능 비용 함수를 제시한다. 프레임워크 제안을 위해서 본 논문에서는 패킷 트래픽 모델, 네트워크 시스템 모델 및 단말의 이동성 모델 등을 정의한다. 또한, 다양한 파라미터를 사용하여 그들이 각 프로토콜의 성능에 미치는 영향을 분석하고 비교한다. 분석결과로서 각 프로토콜들이 각기 상호보완적인 혹은 대조적인 성능을 보이기 때문에, 임의의 프로토콜이 다른 프로토콜들 보다 비교 우위를 차지하는 일이 없음을 알 수 있다.

**키워드** : 이동 IPv6, 계층적 이동 IPv6, 빠른 핸드오버 이동 IPv6, IEEE 802.11 무선 LAN

**Abstract** Several IPv6 mobility support protocols for mobile Internet services are proposed in IETF: Mobile IPv6, Hierarchical Mobile IPv6, and Fast Handovers over Mobile IPv6. Recently, IEEE 802.11 network has also been widely deployed in public areas for mobile Internet services. In the near future, IPv6 mobility support over IEEE 802.11 network is expected to be a key function to actualize the All IP-based mobile various services. For appropriate application of these protocols, the IPv6 mobility support protocols should be analyzed according to their characteristics in terms of signaling, handover latency, lost packets, and required buffer size as well as the impact of lower layer such as IEEE 802.11 network. In this paper, we analyze the performance of the protocols over IEEE 802.11 network. We define a packet-level traffic model, a network system model, and a mobility model. From these models, we construct a framework for the performance analysis. We also make cost functions to formalize each protocol's performance. Lastly, we analyze the effect of varying parameters used to show diverse numerical results, and compare with each other. From the analysis results, it is concluded that each protocol has contrary or contrastive advantages with other protocols, so there is no protocol that holds a dominant position.

**Key words** : Mobile IPv6, Hierarchical Mobile IPv6, Fast Handovers over Mobile IPv6, IEEE 802.11 Wireless LAN

· 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음  
(KRF-2003-041-D00403)

<sup>†</sup> 정 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과

shhwang@disys.korea.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 삼성종합기술원 C&N Lab 전문연구원  
yh21.han@samsung.com

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수  
(corresponding author)

hwang@disys.korea.ac.kr

논문접수 : 2004년 12월 7일

심사완료 : 2005년 2월 17일

## 1. 서론

IP 기반 무선 이동 네트워크에서 이동노드(Mobile Node: MN)는 자신의 상대노드(Correspondent Node: CN)와 통신을 할 때 자신의 위치에 관계없이 IP 주소를 사용한다. 그러나 이 IP 주소는 장소에 의존적인 특징을 갖고 있으므로 이 주소는 MN의 위치에 따라 변하게 되어, CN과의 통신은 지속될 수 없다. 이렇게 위치가 변함에 따라 발생하는 MN의 통신이 끊김 문제를 해결하기 위해서 많은 연구들이 다양한 영역에서 진행되어 왔다. 예를 들어, 응용(Application) 계층에서의 Session Initiation Protocol(SIP), 전송(Transport) 계층에서의 Wireless TCP, 네트워크(Network) 계층에서의 Mobile IP등이 그러한 연구 주제에 해당한다. 특히 IP 자체와 관련이 있는 네트워크 계층에서의 이동성 지원 기법이 많이 연구되고 있다.

Mobile IP에서 MN은 2개의 IP 주소인 Home Address(HoA)와 Care-of-Address(CoA)를 이용해서 위치에 관계없이 통신이 가능하도록 한다. HoA 주소는 MN의 위치에 관계없이 식별자로서 역할을 수행하고, CoA는 MN의 위치에 따라 변하는 주소로서 MN의 위치 지시자 역할을 수행하게 된다. 즉, MN이 이동할 때마다 HoA와 새로운 CoA를 연결해 줌으로서 통신을 유지시킨다. 이런 Mobile IP에는 IP 프로토콜의 버전에 따라 Mobile IPv6(MIPv6)[1,2]와 Mobile IPv4(MIPv4)가 존재한다. 이 두 프로토콜은 많은 부분에 있어서 매우 흡사한 면을 보여주지만, MIPv6가 몇 가지 면에서 보다 개선된 성능을 보여준다. MIPv6에서 이동노드는 위치에 따라 부여받게 되는 CoA를 IPv6 Neighbor Discovery 방법[8]을 이용하여 무상태(stateless) 또는 상태(stateful) 주소 자동-구성방법(address auto-configuration)에 의해서 할당 받는다[3,5]. 따라서 Foreign Agent (FA)와 같은 이동성 에이전트가 불필요하게 된다. 또한, MIPv4와 다르게 MIPv6는 데이터 패킷들에 대한 Route Optimization을 기본적으로 지원한다.

MIPv6에서의 위치등록 시그널링, 핸드오버 지연시간과 패킷 손실을 줄이기 위해서 계층적 MIPv6 (Hierarchical MIPv6; HMIPv6) [13]과 MIPv6를 위한 빠른 핸드오버(Fast Handovers over MIPv6; FMIPv6) [4] 기법이 IETF에 의해서 제안되었다. HMIPv6는 이동성 관리 에이전트(Mobility Agent)의 계층적인 구조를 이용해서 위치등록 비용과 등록에 의한 지연시간을 줄이고, FMIPv6는 핸드오버 예측을 이용하여 MN이 이동하기 전에 미리 핸드오버를 준비함으로써 MIPv6에 비해 짧은 핸드오버 지연시간을 보여준다.

이러한 IPv6 이동성지원 프로토콜들이 IP기반 무선/

이동 네트워크에서 중요한 부분을 차지하고 있지만, 이들 프로토콜은 링크(Link) 계층과 같은 하위 계층 프로토콜의 지원 및 영향을 받는다. 그러므로 더욱 합리적인 성능을 조사하기 위해서 하위 계층도 함께 고려할 필요가 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 표준에 근간을 둔 무선랜을 고려하여 IPv6 이동성 지원 프로토콜들의 성능을 분석한다. IEEE 802.11 네트워크는 최근에 인터넷 접근을 위하여 Hot Spot 지역들을 중심으로 널리 이용되고 있으며, 앞으로 IEEE 802.11 네트워크에서의 IPv6 이동성 지원 프로토콜이 All-IP기반 이동 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 주요한 역할을 하게 될 것으로 예상된다.

따라서 본 논문에서는 IEEE 802.11 네트워크에서의 IPv6 이동성 지원 프로토콜들의 성능 파라미터, 즉 시그널링, 핸드오버 지연, 패킷 손실, 필요한 버퍼 크기를 분석하고자 한다. 이를 위해 본 논문을 다음과 같이 구성한다. 먼저 2장에서 IPv6 이동성 지원 프로토콜들에 대한 성능분석에 관련된 최근의 연구 동향을 살펴보고, 3장에서는 성능분석을 위해 패킷 트래픽 모델, 시스템 모델 및 이동성 모델과 같은 기본 모델들을 제시한다. 4장에서는 이 모델을 바탕으로 성능분석을 위한 프레임워크를 제시하고, 5장에서 각 성능분석을 위한 비용 함수를 계산하고, 6장에서는 실험 결과를 분석하고, 마지막 7장에서 결론을 제시하며 본 논문을 마무리 짓는다.

## 2. 관련연구

IPv6 인터넷 이동성 지원을 위한 프로토콜을 제안하는 많은 기존 연구들은 자신들의 제안 기법에 대한 성능을 분석하기 위해 관련 시뮬레이터를 통해서 그 결과를 도출해 왔다. 그런데, 최근 1~2년에 걸쳐서 수학적 분석기법들이 이 분야에도 새롭게 시도되고 있다 [6-10].

[7]은 서브넷 핸드오버가 발생할 때 Mobile IPv4 성능에 관한 비용함수(Cost Function)를 도출했다. 이 비용함수는 임의의 세션동안 CN부터 MN까지의 경로에서 대역폭을 차지하는 시그널링에 대한 함수로, 경로최적화 정책(경로최적화를 할 것인지 하지 않을 것인지에 대한 결정)에 따라 핸드오버간 시간과 FA까지의 거리에 비례하는 함수이다. 이 비용함수에 의해 도출된 값에 의해 현재 FA에서의 최적화 경로 정책이 결정된다. 하지만, 이 연구는 MIPv4에 제한되어 있으며, 연구 내용에서 비용함수에 중요한 기준이 되는 세션에 대한 정의가 명확하지 않다. 따라서 이것은 패킷 단위로 전송되며 하나의 링크를 여러 종류의 패킷들이 공유하는 특성을 지닌 IP 네트워크 계층에서의 특성을 제대로 고려하지 못하고 있다.

[8]은 FMIPv6에서 핸드오버와 관련된 오버헤드를 시그널링 비용과 패킷전송비용 측면에서 분석하는 연구이다. 이 비용에는 AP 영역간 핸드오버가 서브넷 핸드오버로 이어지지 않았을 때 발생하는 오버헤드 비용을 포함하고 있다. 이 비용 계산식으로부터 저자들은 AP에서 전달되는 L2 시그널 감지를 통한 핸드오버 결정 시점부터 실제 물리적인 링크 스위칭이 발생하Chapman-Kolmogorov는 직전까지의 기간(이하 L2 트리거 시간)이 전체 핸드오버 비용에 미치는 영향을 분석하고 있다. 한편, 핸드오버시 요구되는 버퍼의 크기를 이 L2 트리거 시간을 근간으로 하여 도출해내었다. 하지만, 이 연구에서 분석하고 있는 FMIPv6는 현재 IETF에서 개정되기 이전의 프로토콜이며, 최근에 새롭게 그 프로토콜이 수정 되었으므로 그에 맞는 성능분석이 이루어져야 한다.

[9]은 셀룰러 네트워크에서 운영되는 HMIPv6 성능 분석의 수학적 모델을 제시하고, 이 모델로부터 위치등록과 패킷전송 측면에서 성능 분석을 수행하였다. MN의 이동성은 랜덤워크 모델을 따르고 위치등록비용과 패킷전송비용에 대한 계산식을 도출한다. 이 비용 식을 바탕으로 임의의 셀에서 상주시간이 위치갱신 비용에 미치는 영향과 MN의 수가 패킷 전송에 미치는 영향을 조사하였고, 세션의 길이와 MAP 도메인의 크기에 따른 성능 분석을 수행하였다. 그러나 이 연구에서 제안한 성능 분석 모델은 핸드오버가 발생하지 않았을 때의 단위 시간당 위치등록비용과 패킷전송비용만을 고려하고, 패킷전송비용을 계산하는데 있어서 링크비용은 고려하지 않은 채 각 라우터의 프로세싱 비용만을 고려하였는데, 보다 정확한 분석을 위해서는 핸드오버시의 비용과 링크비용 등 더 많은 요소를 포함시킬 필요가 있다.

[10]에서는 MIPv6, FMIPv6 및 HMIPv6에서의 핸드오버에 의해 발생하는 서비스 중단 지연 시간(Service Disruption Latency)을 비교하였다. 하지만, 서비스 중단 지연을 도출하기 위하여 매우 제한적인 가정을 시도하고 있고, 유선 링크에서의 전송지연만을 고려하고 있다.

[6]에서는 MN의 이동성 정보를 이용하여 적응적으로 경로최적화를 수행하는 개선된 HMIPv6을 제안하고 기존의 HMIPv6와의 성능 비교를 수학적 모델을 이용하여 분석하고 있다. 단위시간당 위치등록비용과 패킷전송비용을 계산하고, 핸드오버시 서비스 중단 지연 시간에 대한 분석을 포함한다. 하지만, 이 연구 역시 비용함수에 중요한 기준이 되는 세션에 대한 정의가 명확하지 않고 제한적인 가정을 시도하였다.

지금까지의 연구들은 IPv6 이동성 지원 프로토콜 환경에서 각 기법간 성능을 분석할 때 핸드오버시 발생하는 서비스 중단 지연 시간이나, 패킷전송비용 혹은 위치등록비용 등 특정한 일부에 중점을 두고 연구가 진행되

어 왔으며, 이런 성능 분석 방법들은 특정 부분의 비용을 강조하기 위하여 성능에 미치는 다른 요소들은 지나치게 단순화시키는 경향을 보여 왔다. 따라서 이러한 기존 연구에서 제시한 성능분석 방법들에 대한 연구는 IPv6 이동성 지원 프로토콜들에 대한 전체적인 성능을 이해하기에 부적절하다. 더욱이, 프로토콜 성능에 영향을 미치는 다양한 원인들을 조사하기 위한 수학적 분석 방법에 대한 연구는 아직 초기단계에 머물고 있다. 이를 위해서 본 논문에서는 인터넷 환경에서 세션에 대한 적절한 수학적 모델링 방법, 네트워크 시스템 모델링 방법 및 MN의 이동성 모델링 방법을 제안하고, 이 분석 모델을 토대로 기존의 대표적인 프로토콜인 MIPv6, HMIPv6, 및 FMIPv6제안 기법을 분석하기 위한 기본 프레임워크를 작성하고, 이 프레임워크를 기반으로 각 프로토콜을 위치등록비용, 서비스 지연 시간, 패킷 손실, 버퍼링 요구량, 및 하위 계층의 영향력 등을 비교 분석한다.

### 3. 분석 모델

성능분석을 위해서 본 논문에서는 패킷수준 트래픽 모델, 시스템 모델 및 이동 노드의 이동성 모델을 정의한다.

#### 3.1 패킷 수준 트래픽 모델

IP 트래픽은 기본적으로 전형적인 음성통신 트래픽과 다른 특성을 지닌다. [18]은 셀룰러 네트워크에서의 IP 패킷 트래픽 자원 모델에 대한 구체적인 사항, 즉, 패킷 도착 패턴, 패킷 호 기간, 및 읽는 시간 등등을 기술하고 있다. 이 모델의 개념은 순수한 IP 기반 네트워크를 분석하는데도 적용될 수 있다. 그런데 본 논문에서는 위와 같은 자세한 트래픽 자원의 패턴 측면에서가 아니라 MN의 이동성 특성 측면에서의 MIPv6, HMIPv6 및 FMIPv6와 같은 프로토콜을 분석한다. 따라서 MN의 위치등록 시그널링과 관련된 트래픽 자원 패턴의 일부 분만을 이용한다.

CN과의 통신 중인 MN이 다른 서브넷으로 이동할 경우 CN에게 자신의 위치를 등록한다. 그러므로 HA에 대한 위치등록은 이동시마다 수행하지만, CN에 대한 위치등록은 CN과 통신을 유지하고 있을 때에만 수행한다. 따라서 명확하게 시그널링 비용을 얻기 위해서는 두 개의 파라미터 '통신기간 혹은 세션기간(session time)' 과 '휴면기간(idle time)'을 분리 정의할 필요가 있다. 최근 연구는 세션 기간은 자기 유사성 특성(Self-similar property)을 갖는 파레토 분포(Pareto distribution) 또는 웨이블 분포(Weibull distribution)를 따르는 것으로 밝히고 있다[14]. 본 논문에서 세션은 포아송 프로세스(Poisson process)를 따라 도착하는 것으로 가정한다. 따라서 세션사이기간(Session inter-arrival time)은 지수분포(Ex-

ponential distribution)를 따르게 된다. 이러한 세션사이 시간은 세션시간과 휴면시간으로 구성된다. 세션사이시간을  $t_c$ 라하고 세션시간을  $t_s$ 라 명할 때,  $t_c$ 와  $t_s$ 에 대한 확률밀도함수  $f_c(t)$ 와  $f_s(t)$  및 평균  $E_c[t]$ 와  $E_s[t]$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$f_c(t) = \lambda_c e^{-\lambda_c t}, \quad E_c[t] = \frac{1}{\lambda_c}$$

$$f_s(t) = \begin{cases} \frac{\alpha y^\alpha}{t^{\alpha+1}}, & t \geq y \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$E_s[t] = \int_0^\infty t f_s(t) dt = \frac{\alpha y}{\alpha - 1}, \quad \alpha > 1$$

위 식에서  $\lambda_c$ 는 세션 도착율이고,  $\alpha$ 와  $y$ 는 파레토 분포에서 모양 파라미터와 위치 파라미터이다. 만일  $\alpha \leq 2$ 이면, 이 파레토 분포는 무한 분산을 갖게 되고,  $\alpha > 2$ 이면 무한 평균을 갖는다. 위의 분포로부터 평균 세션타임  $E_s[t]$ 는 다음과 같다. 본 논문의 모든 실험에서,  $\lambda_c = 0.002$ (즉, 세션사이시간의 평균은 500초),  $\alpha = 1.1$ , 그리고  $y = 30$ (즉, 평균 세션시간은 330초)로 가정한다.

3.2 시스템 및 이동성 모델

일반적으로, 하나의 도메인은 하나이상의 서브넷으로 구성되고, 하나의 서브넷은 하나이상의 AP 영역으로 구성된다. 편의상 모든 AP 영역은 같은 모양과 같은 크기를 갖는다고 가정한다. 또한 MN은 [6]에서와 같이 2차

원 랜덤워크 모델을 따라 이동한다고 가정한다. 본 논문에서의 분석은 MN의 밀도를 고려하지 않고 단지 하나의 MN에 대해서만 수행한다.

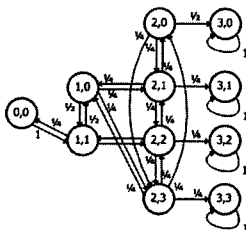
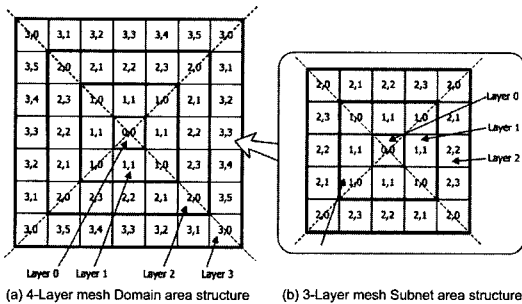
임의의 서브넷이  $N = 4n^2 - 4n + 1$  AP 영역들로 구성된다면 이 서브넷을  $n$ -layer 서브넷이라 부르고, 임의의 도메인이  $M = 4m^2 - 4m + 1$ 개의 서브넷들로 구성된다면, 이 도메인을  $m$ -layer 도메인이라고 한다.  $m$ -layer 도메인과  $n$ -layer 도메인의 겹침 구조를 'n/m구조'라고 한다. 그림 1 (a)는 4-layer 도메인을 보여주고 있고, 그림 1 (b)는 3-layer subnet의 구조를 보여준다. 각 도메인과 서브넷은 중심부로부터 링을 그리며 layer 0, layer 1, layer 2 .... 등등이라 명한다. 즉, layer  $x-1$  AP 영역을 둘러싸고 있는 AP 영역을 layer  $x$  AP 영역이라고 한다.  $n$ -layer 서브넷은 layer 0 AP 영역부터 layer  $n-1$  영역으로 구성된다. layer  $n-1$  AP 영역을 둘러싸고 있는 즉, 해당  $n$ -layer 서브넷 영역의 가장자리에 위치한 AP 영역은 가장자리 이웃(boundary neighbors)로 명한다.

MN이 어느 기간 동안 하나의 AP 영역에 머물다 이웃한 4개 중 하나의 AP 영역으로 동일한 확률 (즉,  $\frac{1}{4}$ )로 이동한다고 가정한다면, 하나의 서브넷 내의 AP 영역들은 몇 가지의 AP 영역 유형으로 나눌 수 있다. AP 영역 유형은  $\langle x, y \rangle$  형태로 구분된다. 이때  $x$ 는 AP 영역이 layer  $x$ 내에 있음을 나타내고,  $y$ 는 layer  $x$  내에서  $y+1$ 번째 유형임을 나타낸다. 동일한 유형의 AP 영역은 동일한 이동 흐름 패턴을 보인다. 그림 1 (b)는 또한 3-layer 서브넷에 대한하고 있다. 동일한 방법으로, 그림 1 (a)는 4-layer 도메인에 대한 서브넷 유형을 나타낸다.

랜덤워크 모델에서 상태  $(x, y)$ 는 MN이  $\langle x, y \rangle$  유형의 AP 영역중 하나를 나타낸다. 흡수 상태  $(n, j)$ 는 MN이  $(n-1, j)$  상태에서부터 해당 서브넷 밖으로 나간 상태를 의미한다. 이때,  $j$ 는  $0 \leq j \leq 2n-3$ 를 만족한다. 3-layer 서브넷에서의 랜덤워크의 상태도는 그림 1 (c)와 같다. 이 랜덤워크에서의 전이행렬은  $P = (P_{(x,y)(x',y')})$ 로 표현된다. Chapman-Kolmogorov 등식을 이용하여  $P^{(k)}$ 를 구할 수 있다.  $k \geq 1$ 에 대해서, 원소  $p_{(x,y)(x',y')}^{(k)}$ 는 상태  $(x, y)$ 에서 상태  $(x', y')$ 로 정확히  $k$  단계 만에 이동할 확률을 의미한다. 이제 본 논문에서는  $p_{k,(x,y)(n,j)}$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$p_{k,(x,y)(n,j)} = \begin{cases} p_{(x,y)(n,j)} & \text{for } k=1 \\ p_{(x,y)(n,j)}^{(k)} - p_{(x,y)(n,j)}^{(k-1)} & \text{for } k > 1 \end{cases}$$

그러면,  $p_{k,(x,y)(n,j)}$ 는 초기에  $\langle x, y \rangle$  유형의 AP중 하나에 존재하던 MN이  $k-1$  번째 단계에서  $\langle n-1, j \rangle$



(c) State diagram of our two-dimensional random walk model

그림 1 3/4 네트워크 구조 모델 및 랜덤 워크 모델

형의 AP로 이동했다가 마지막 k번째 단계에서 해당 서브넷을 벗어날 확률을 의미한다.

$q_{(n-1,j)}$ 를 MN이 첫 번째 단계에서  $\langle n-1, j \rangle$  유형의 AP 영역을 통해서 서브넷으로 들어갈 확률이라고 정의하자. 그러면, 3-layer 서브넷에 대해서  $0 < j < 3$  일 때,  $q(2,0) \approx 40\%$ ,  $q(2,j) \approx 20\%$  임을 얻을 수 있었다. 또한 4-layer 서브넷의 경우,  $0 < j < 5$ 에 대해서  $q(3,0) \approx 28.571\%$ ,  $q(3,j) \approx 14.285\%$  임을 알 수 있었다[6]. 이 확률은 동일한 방법에 의해서 임의의 m-layer까지 확장될 수 있다.

$t_p$ ,  $t_s$  및  $t_d$ 를 각각 AP 영역 상주시간, 서브넷 영역 상주시간, 및 도메인 영역 상주시간이라고 명한다.  $t_p$ ,  $t_s$  및  $t_d$ 에 대한 확률밀도 함수를 각각  $f_p(t)$ ,  $f_s(t)$ ,  $f_d(t)$ 이라고 한다. MN이  $t_s^k$  시간 동안에 한 서브넷내의 k 개의 AP 영역을 방문한다고 가정할 때, 이 기간 동안 MN은  $t_i$  시간에는 i AP 영역에 존재한다고 하자. 그러면,  $t_s^k = t_1 + t_2 + \dots + t_k$ 가 성립되고, 이 시간변수는 다음과 같은 확률밀도함수를 따른다.

$$f_s^{(k)}(t) = \int_{t_1=0}^t \int_{t_2=0}^{t-t_1} \dots \int_{t_{k-1}=0}^{t-t_1-\dots-t_{k-2}} f_p(t_1) f_p(t_2) \dots f_p(t_{k-1}) f_p(t-t_1-\dots-t_{k-1}) dt_{k-1} \dots dt_1$$

라플라스 변환법에 의하여,  $f_p^*(a)$ 가  $f_p(t)$ 의 라플라스 변환형이라고 할때,  $f_s^{(k)}(t)$ 는  $f_s^{(k)*}(a) = [f_p^*(a)]^k$ 로 전환된다.

$n > 1$ 일 때, n-layer 서브넷의 서브넷 상주시간 확률밀도 함수의 라플라스 변환형은 다음과 같다.

$$f_s^*(a) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{y=0}^{2n-3} \sum_{j=0}^{2n-3} q_{(n-1,y)} p_{k,(n-1,y),(n,j)} [f_p^*(a)]^k$$

모멘트 생성 특성에 따라, 서브넷 상주시간의 기댓값  $E[t_s]$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[t_s] = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{y=0}^{2n-3} \sum_{j=0}^{2n-3} q_{(n-1,y)} p_{k,(n-1,y),(n,j)} y k$$

$$y_k = -k [f_p^*(0)]^{k-1} \frac{df_p^*(a)}{da} \Big|_{a=0}$$

동일한 방법으로,  $m > 1$ 일 때, 도메인의 도메인 상주시간의 확률밀도 함수의 라플라스 변환형  $f_d^*(a)$  과, 도메인 상주시간의 기댓값  $E[t_d]$ 는 구할 수 있다.

MN의 AP 영역 상주시간이 평균  $\frac{1}{\lambda_p}$ , 분산  $v$ 의 감마분포를 따른다고 가정한다. 감마분포의 라플라스 변환형은 다음과 같다.

$$f_p^*(a) = \left( \frac{\gamma \lambda_p}{a + \gamma \lambda_p} \right)^\gamma, \gamma = \frac{1}{v \lambda_p}$$

b시간 동안 즉, 세션사이시간  $t_c$  동안 및 세션시간  $t_{st}$  동안 MN이 K개의 a 영역, 즉 AP 영역, 서브넷 영

역, 및 도메인 영역을 이동할 확률  $\Pi_a^b(K)$ 는 다음과 같다.

$$\Pi_a^b(K) = \begin{cases} 1 - \frac{E_c[t_c]}{E_c[t_a]} \left( 1 - f_a^* \left( \frac{1}{E_c[t_a]} \right) \right), & \text{for } K=0 \\ \frac{E_c[t_c]}{E_c[t_a]} \left( 1 - f_a^* \left( \frac{1}{E_c[t_a]} \right) \right)^2 \left( f_a^* \left( \frac{1}{E_c[t_a]} \right) \right)^{K-1}, & \text{for } K \geq 1 \end{cases}$$

위식에서 세션사이시간  $t_c$ 에 대해서는  $b=c$ , 세션시간  $t_{st}$ 에 대해서는  $b=st$ 이고, 영역 a에 대해서  $a=p$ 는 AP영역,  $a=s$ 는 서브넷 영역,  $a=d$ 는 도메인 영역을 가리킨다.

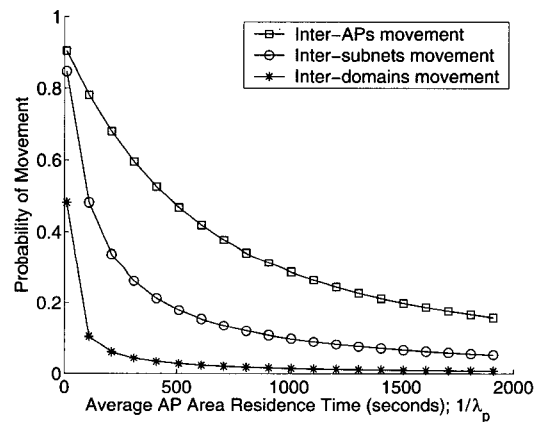


그림 2 MN의 이동 확률

위의 등식으로부터, MN이 세션사이시간 동안 현재의 AP, 현재의 서브넷, 혹은 현재의 도메인 영역을 벗어날 확률을  $1 - \Pi_p^p(0)$ ,  $1 - \Pi_s^s(0)$ ,  $1 - \Pi_d^d(0)$ 로서 구할 수 있다. 그림 2은 평균 세션사이시간이  $E_c(t) = 500s$ 이고, 분산이  $v = 1.0$  및  $2/4$  네트워크 구조를 가정하였을 때의 위의 각 확률들을 그래프로 나타낸 것이다. 위의 등식의 무한 회수를 시뮬레이션으로 근사치를 구하기 위하여 횟수를 500회로 제한하였고, 이때의 오차의 범위는  $10^{-12}$  이하이다. 그림 2는 AP 영역 상주시간이 증가함에 따라 각 이동할 확률들이 지수적으로 감소하고 있음을 보여주고 있다.

## 4. 성능분석을 위한 프레임워크

### 4.1 시그널링 비용

시그널링은 주로 위치등록을 위해서 발생한다. HA로의 위치등록은 MN의 통신 중과 관계없이 MN이 이동 때마다 수행해야 한다. 특히, FMPv6의 경우 HA에 등록하기 전에는 PAR에 새로운 위치를 등록하고, 이전 위치와 새로운 위치사이에 패킷 전송을 위한 터널을 만

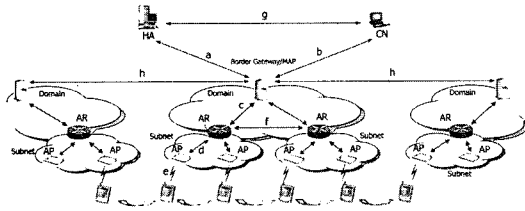


그림 3 거리 비용 모델

들어야 한다. FMIPv6에서, 이런 과정 역시 위치등록 시그널링에 포함된다. 한편, CN들에 대한 추가적인 위치등록을 위한 시그널은 세션 시간동안에만 발생하는 것으로 간주한다. 따라서 시그널링 비용은 세션사이시간 동안에 필요한 시그널링 비용  $R_c$ 와 세션시간 동안에만 필요한 시그널링 비용  $R_d$ 로 구성된다. 시그널링 비용은 각 프로토콜에서 교환되는 메시지의 수와 전송될 때 차지하는 네트워크 비용의 곱의 평균이며, 이 시그널링 비용의 프레임워크는 아래와 같다.

$$R = R_c + \kappa R_d$$

여기서  $\kappa$ 은 MN과 통신하는 CN의 수이다. 모든 시그널 메시지가 그 크기가 모두 다르지만, 본 논문에서는 분석의 단순성을 위해서 만일 전송 경로가 같다면, 모든 시그널 메시지가 동일한 비용과 전송지연을 갖는다고 가정한다. 본 논문에서 각 구성요소간의 거리는 그림 3과 같이 정의하고, 분석의 대상이 되는 프로토콜들의 각 시그널들에 대한 시그널링 비용의 기호들은 표1에서 설명한다.

4.2 핸드오버 지연시간, 패킷 손실량, 및 버퍼량

MN이 통신 중 다른 지역으로 이동하면, 핸드오버 절차가 수행되고, 핸드오버시에는 통신이 두절되는 기간이 존재하는데, 본 논문에서 이 기간을 핸드오버 지연(Handover Latency)라 하고, MN이 이전 링크가 끊길 때부터, 즉 이전 링크에서 마지막 패킷을 받은 순간부터 새로운 링크에서 MN이 패킷을 전송받았을 때까지의 기간으로 정의한다. 이 가정은 이동성 프로토콜이 하드 핸드오버만을 지원하는 IEEE 802.11 네트워크에서 동작할 때도 유효하다. MN은 이 핸드오버 기간 동안에는 어떠한 패킷도 받을 수 없는 상태가 된다, 따라서 핸드오버 지연이란 서비스 중단시간을 의미한다. 이런 지연은 서비스의 품질을 위해서 반드시 최소화 되어야 한다.

본 논문에서, IP 기반 이동성 지원 프로토콜이 운영되는 링크 계층 기술로서 IEEE 802.11 네트워크가 가정되므로, IP 이동성 프로토콜 자체의 성능이외에 이 링크 계층이 프로토콜의 성능에 미치는 영향을 조사한다. MN이 신호의 세기와 같은 어떤 기준에 의해서 다른 AP 영역으로 이동할 것이라는 것을 결정할 때, MN은 자신 주변의 후보 AP들을 조사함(Scanning)으로서 링크 계층 핸드오버 절차를 시작한다. MN이 일정기간동안 이웃한 AP로부터의 응답을 받아 AP를 조사하는 절차는 시간 소모적인 작업이고, 이때 소요되는 지연을 '스캐닝 지연(Scanning Latency:  $x$ )'라 한다. 스캐닝 절차가 끝나면, MN은 다음에 이동할 AP를 결정하고, 선택된 AP와의 인증 과정(Authentication)을 거치게 된다. 이때 소요되는 지연을 '인증 지연(Authentication Latency)'이라 한다. 이후 MN은 선택된 AP와의 재결합(Re-association)를 수행하고, L2 핸드오버는 완료된다. 이 기간을 재결합 지연(Re-association Latency)이라 한다.

표 1 시그널링 비용을 위한 기호 목록

기호	설명	시그널링 비용
$Ex_1$	MN과 AR사이의 RS(RtSolPr) 과 RA(PrRtAdv) 메시지 교환	$2(d+e)$
$Rg_1$	MN과 HA 사이의 BU 와 BAcK 교환	$2(a+c+d+e)$
$Rg_2$	MN과 MAP 사이의 BU와 BAcK 교환	$2(c+d+e)$
$RR_1$	MN과 CN사이의 HA를 통한 HoT와 HoT 메시지교환	$2(a+c+d+e+g)$
$RR_2$	MN과 CN사이의 CoTI와 CoT 메시지 교환	$2(b+c+d+e)$
$Rg_3$	MN과 CN사이의 BU 메시지 전송	$b+c+d+e$
$B_{DAD}$	RFC 2462 DAD를 위해 NS 메시지의 멀티캐스트	$w_{ns}(d+e)$
$FRg_1$	MN과 PAR 사이의 FBu와 FBaCk 메시지 교환	$2(d+e)$
$Tn_1$	PAR과 NAR 사이의 HI와 HAcK 메시지교환	$2f$
$Tn'_1$	PAR와 NAR가 다른 도메인에 속한 경우 HI/HAcK 교환	$2(c+d+h)$
$Nt_1$	MN에서 NAR로 FNA 메시지 전송	$d+e$
$P_a^b$	$= \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_a^b(K)$ : b 시간동안, b 영역을 이동한 평균횟수	

본 논문에서 인증과 재결합을 위한 지연을 '링크 변경 지연 (Link Switching Latency;  $\Theta$ )'로 정의한다. MN은 이러한 링크 변경 지연동안에는 어떠한 패킷도 받을 수 없다.

[12]에 의하면, 스캐닝절차는 L2 링크다운(link-down)과 거의 동시에 혹은 링크가 끊기자마자 수행된다. 이런 상황에서는 FMIPv6은 선행(pre-action) 핸드오버 과정을 수행할 수 없게 된다. FMIPv6에서 MN은 자신이 현재 AP와 연결되어 있는 상태에서 앞으로 이동할 AP의 ID를 알아야 RtSolPr과 같은 핸드오버를 위한 메시지를 전송할 수 있다[19]. 따라서 본 논문은 MN이 현재의 연결을 잃기 전에 스캐닝 절차가 시작된다고 가정한다.

L2 핸드오버는 네트워크 계층 핸드오버를 유도할 수도 그렇지 않을 수도 있다. 만일 MN이 L2 핸드오버만을 수행한다면, 스캐닝 지연과 링크 변경 지연만이 서비스 중단을 초래하게 된다. 만일 이웃한 두 개의 AP가 서로 다른 AR에 연결되어 있고, MN이 이들 두 AP사이를 이동한다면, L3 핸드오버절차를 수행해야한다. AP간의 이동은 또한 도메인간 이동으로 이어질 수 있다. 그러므로 HMIPv6에서의 MN은 AP간 핸드오버, 서브넷간 핸드오버 이외에 도메인간 핸드오버를 수행하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 세 가지 종류의 핸드오버 유형, 즉 AP간 핸드오버, 서브넷간 핸드오버, 및 도메인간 핸드오버를 정의한다. 핸드오버 지연 프레임워크는 세션시간 동안의 평균 핸드오버 지연으로서 다음과 같이 표현된다.

$$HL = HL_{AP} + HL_{Subnet} + HL_{Domain}$$

패킷 손실량은 프로토콜 성능분석에 있어서 매우 중요한 평가요인 중 하나이다. 버퍼링 기술을 도입하지 않을 경우, 핸드오버 수행중의 모든 패킷들은 손실될 것이다. FMIPv6만이 이러한 버퍼를 각 AR에 가정하고 있다. 다음은 패킷 손실량과 버퍼가 존재할 경우 패킷 손실을 막기 위해 필요한 버퍼크기를 패킷의 수로 나타낸 것이다.

$$PL = \lambda E_{sl} [i](HL - T_{BF})$$

$$BF = BF_{PAR} + BF_{NAR}$$

위 식에서  $\lambda$ 와  $T_{BF}$ 는 평균 패킷 도착율과 버퍼링 기간을 나타낸다.  $B_{PAR}$ 와  $B_{NAR}$ 는 각각 FMIPv6에서 이전 혹은 현재의 AR(Previous AR: PAR)과 새로 이동할 AR(New AR: NAR)에서의 버퍼의 크기를 나타낸다.

아울러 본 논문에서는  $n_h$ 를 AP와 MN 사이의 무선 경로 상에서의 패킷 전송의 지연으로,  $\epsilon$ 는 유선 구간에서의 홉(hop)당 패킷 전송 지연,  $\rho$ 와  $\omega$ 는 각각 RFC

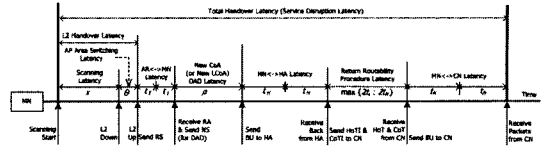


그림 4 MIPv6에서 핸드오버 절차 및 시간 다이어그램

2462 DAD 지연시간과 FMIPv6에서의 새로운 CoA(New CoA: NCoA) 확인(Confirmation) 지연시간으로 정의한다. 마지막으로  $\tau$ 는 패킷 터널링에 대한 가중치로 정의한다. 이러한 가정으로부터, 본 논문에서 핸드오버 지연 시간, 패킷 손실량, 및 패킷 손실을 막기 위해 버퍼를 채운 경우 필요한 버퍼의 크기를 각 프로토콜에 대한 비용함수를 계산한다.

## 5. 비용 함수

### 5.1 MIPv6

MN이 CN과 통신 중 다른 영역으로 이동할 때, L2 핸드오버 절차가 완료된 후, L3 핸드오버 절차가 시작될 수 있다. 즉, 두 개의 핸드오버 절차는 순차적으로 수행된다(그림 4 참조). L2 핸드오버 지연은 스캐닝지연( $x$ )와 링크 변경 지연( $\theta$ )을 의미하고, [15]에 따르면 200-500ms 소요된다.

L2 핸드오버 후, L3 핸드오버는 새로운 AR을 찾는 것으로 시작된다. 이를 이동검색절차(Movement Detection Procedure)라 한다. Router Solicitation (RS) 메시지와 Router Advertisement (RA)메시지가 보다 빠르게 MN의 이동을 검색하기 위해서 사용될 수 있다. NAR을 찾은 후, MN은 NCoA를 구성하고 중복상태(Duplicate Address Detection: DAD)를 조사한다. 그리고 중복성이 없는 경우에, HA에게 이 NCoA를 등록한다. CoA의 중복성 조사는 RFC 2462 DAD 표준절차에 의해서 이루어진다. 즉, MN이 NCoA를 구성하고 RS 메시지를 멀티캐스트 주소로 전송하고, 응답을 1000ms동안 기다린다. 만일 응답이 있으면, 중복된 주소가 있는 것이고, 그렇지 않다면, 중복된 주소가 없는 것으로 간주한다. 따라서 DAD 과정은 시간 소모적인 일이다. 일단 성공적으로 DAD과정이 끝난 후에만 MN이 NCoA와 HoA를 등록할 수 있는 Binding Update(BU) 메시지를 전송할 수 있다. MN이 CN과 통신 중일 때에는 이 과정 이외에, CN으로의 등록과정을 수행하여야 한다. 이 등록을 위해서 MN은 먼저 자신과 CN사이의 BU 메시지를 인증하기 위하여 Return Routability 과정을 끝내야 한다. 이과정은 Home Test Initiation (HoTI)/Home Test(HoT) 메시지의 교환과 Care-of Test Initiation(CoTI)/Care-of Test(CoT) 메시지의 교환을 통해서 이루어진다[1].

5.1.1 시그널링 비용

이동검색은 언제나 두 개의 AP간의 이동시에 수행된다. 주소 구성, DAD 절차, HA로의 등록 등의 절차는 이 AP간 이동이 서브넷간의 이동으로 이어질 때에만 발생한다. CN으로의 등록은 MN이 CN과 통신 중일 때에만 발생한다. 따라서 시그널링 비용  $R_M$ 은 그림 4와 표1로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_M = P_p^s Ex_1 + P_s^c(B_{DAD} + Rg_1) + \kappa P_s^s(RR_1 + RR_2 + Rg_3)$$

5.1.2 핸드오버 지연과 패킷 손실

MN이 다른 서브넷으로 이동할 때, MN은 L2 핸드오버 특성상 이 기간 동안은 패킷을 전송받을 수 없다. 또한 MN은 NCoA를 CN에게 등록한 이후부터 CN으로부터 패킷을 전송받을 수 있다. 그림 4는 이러한 핸드오버 절차를 설명하고 있다. 이때 세션시간 동안의 평균 핸드오버 지연  $HL_M$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$HL_M = P_p^s(x + \theta) + P_s^s(2t_I + \rho + 2t_H + \max(2t_L, 2t_N) + 2t_N)$$

위의 식에서  $n$ 은 서브넷 크기를 의미하고,

$$\begin{aligned} t_I &= n + \epsilon d, \\ t_N &= n + \epsilon(b + c + d), \\ t_H &= n + \epsilon(a + c + d), \\ t_L &= n + \epsilon(a + c + d + g) \end{aligned}$$

이고,  $\max(2t_L, 2t_N)$ 은 Return Routability 절차의 지연을 의미한다. 이 절차에서, HoTI/HoT는 CN과 MN 사이에 HA를 통과하는 경로를 통해서 교환되는 반면, CoTI/CoT는 CN과 MN이 직접 경로를 통해서 교환되는 메시지를 나타낸다.

현재 MIPv6는 패킷 손실을 막기 위한 어떠한 버퍼도 가정하고 있지 않기 때문에 버퍼의 크기  $BF_M = 0$ 이다. 따라서 손실되는 패킷 수는  $HL_M$ 에 비례하고 손실되는 패킷 수  $PL_M$ 은 다음과 같다.

$$PL_M = \lambda E_{st} [ \lambda HL_M ]$$

5.2 HMIPv6

HMIPv6는 MN의 지역성을 관리하기 위하여 제안된 MIPv6의 변형이다. 새로운 구성요소 MAP이 MN의 지역성을 관리하므로 HMIPv6는 MN과 CN 및 HA사이

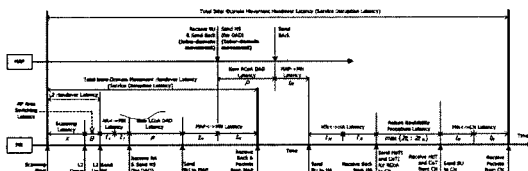


그림 5 HMIPv6에서의 핸드오버 절차 및 시간 다이어그램

의 시그널을 자연스럽게 줄인다. 또한 MIPv6의 핸드오버 지연을 개선하는데 이용된다.

MAP 도메인은 하나 이상의 서브넷들로 구성되는 영역이고 MN의 지역성을 나타내는 영역이다. MN이 MAP에 들어갈 때, MIPv6와 동일하게 L2 핸드오버 절차를 먼저 수행하고 하나 이상의 MAP에 대한 정보를 포함한 RA 메시지를 받게 된다. MN은 MAP에게 자신의 위치에 대한 2가지 주소를 알려준다. 하나는 MAP 영역 내에서의 위치를 나타내는 Local CoA(LCoA)이고, 다른 하나는 어떤 MAP 영역에 속하는가를 나타내는 Regional CoA(RCoA)이다. MAP은 지역 HA로서의 역할을 수행하여, MN대신하여 RCoA로 들어오는 모든 패킷을 수신하고 MN의 LCoA로 캡슐화하고 포워딩한다. 만일 MN이 자신의 LCoA를 바꾸는 이동을 하게 되더라도, RCoA가 바뀌지 않는다면 MAP에게만 바뀐 LCoA를 등록한다. MN은 모든 CoA-LCoA, RCoA가 변경되었을 때, 새로운 CoA들에 대한 중복성을 RFC 2462 DAD과정을 통해 검사하고, RCoA의 경우 MAP, HA 및 CN에게 등록하고 LCoA의 경우 MAP에게 등록한다. 이때 CN으로의 등록은 Return Routability 성공 이후에 수행한다. 그림 5는 HMIPv6에서의 핸드오버 절차를 MAP 도메인 내에서의 이동 및 MAP 도메인간의 이동의 경우로 나누어 보여준다 [3].

5.2.1 시그널링 비용

HMIPv6에서 시그널링 비용은 시그널링 절차로부터 다음과 같다.

$$R_H = P_p^s Ex_1 + P_s^c(B_{DAD} + Rg_2) + P_s^c(B_{DAD} + Rg_1) + P_s^s(RR_1 + RR_2 + Rg_3)$$

위 식에서 첫 번째부터 세 번째 항은 세션사이시간 동안에 발생한 도메인간 이동시, 서브넷간 이동시, 및 AP 영역간 이동시의 시그널링 비용을 나타낸다. 마지막 항은 도메인간 이동시에 CN으로의 등록에 의한 시그널링 비용을 나타낸다.

5.2.2 핸드오버 지연과 패킷 손실

HMIPv6에서, 세션시간 동안의 평균 핸드오버 지연  $HL_H$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$HL_H = P_p^s(x + \theta) + P_s^s(2t_I + \rho + 2t_M) + P_s^s(\rho + 2t_H + \max(2t_L, 2t_N) + 2t_N)$$

위 식에서  $t_M = n + \epsilon(c + d)$ 이고, 첫 번째, 두 번째, 및 세 번째 항은 각각 AP간 이동시 핸드오버, 서브넷간 이동시 핸드오버 및 도메인간 이동시의 핸드오버 지연시간을 나타낸다.

현재 HMIPv6는 패킷 손실을 막기 위해 어떠한 버퍼도 가정하고 있지 않다. 따라서 필요한 버퍼크기는  $BF_H = 0$ 이고, 패킷 손실량은  $HL_H$ 에 비례하게 된다. 패



킷 손실량  $PL_H$ 은 손실 패킷수로서 다음과 같다.

$$PL_H = \lambda E_{sk} [HL_H]$$

5.3 FMIPv6

FMIPv6는 MIPv6의 이동검색 알고리즘과 새로운 CoA 구성절차를 대신하는 과정을 포함하고 있다. FMIPv6가 IEEE 802.11 네트워크에서 수행될 때, 새로운 AP는 검색(scanning)과정을 통해서 얻어지고, 새로 할당된 서브넷의 프리픽스 정보는 Router solicitation for proxy(RtSolPr)과 Proxy router advertisement(PrRtAdv)메시지를 통해 얻어진다. IEEE 802.11에서의 순차적인 L2 핸드오버 절차가 자동적으로 수행되더라도, FMIPv6에서의 새로운 시그널 교환 즉, RtSolPr과 PrRtAdv, Fast binding update(FBU)와 Fast binding acknowledgement(FBACk) 등의 메시지 교환을 위해서는 이 순차적인 L2 핸드오버과정이 자동적으로 수행되어서는 안 된다.

FMIPv6에서, MN은 맨 처음 가용한 AP를 스캐닝 과정을 통해 후보 AP를 선택하고, 이 AP가 속한 서브넷의 프리픽스를 얻기 위하여 RtSolPr에 후보 AP의 ID를 적어 PAR에게 전송한다. 응답으로서 PrRtAdv를 받고 이 메시지에 포함된 서브넷의 프리픽스를 이용하여 잠정적인 NCoA를 구성한다. MN은 FBU 메시지를 PAR에 보내어 현재의 CoA(Previous CoA: PCoA)와 NCoA의 바인딩을 알린다. 이때, MN은 가능한 오랫동안 이동하지 않고, FBACk을 기다려야 한다. 그러나 MN이 PAR을 통해서 FBACk을 받지 못하고 어쩔 수 없이 새로운 서브넷으로 이동하여야 할 경우, MN은 FBACk을 기다리지 않는다.

그림 6은 FMIPv6에서 MN이 현재의 서브넷에서 FBACk을 받았을 때의 핸드오버 절차와 이에 대한 시간 다이어그램을 보여주고 있다. MN이 FBU를 PAR에게 전송할 때, PAR은 MN의 PCoA로 오는 패킷들을 버퍼링한다. 이때부터, MN은 패킷을 받을 수 없으므로 핸드오버지연은 시작된다. PAR은 NAR와의 터널을 구성하기 위하여 Handover Initiation(HI) 메시지를 NAR에게 전송하고, NAR은 응답으로 Handover Acknowledge-

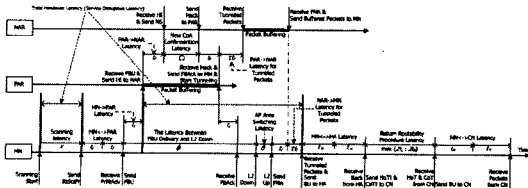


그림 6 현재 링크를 통해 FBACk을 받는 경우의 FMIPv6의 핸드오버 절차 및 시간 다이어그램

ment(HAck) 메시지를 전송한다. 이 터널을 통해서 PAR은 자신의 버퍼에 있는 패킷을 NAR에게 전송하고 NAR은 MN로부터 Fast Neighbor Advertisement(FNA) 메시지를 받을 때까지 수신한 패킷을 버퍼에 저장한다. FNA 메시지는 MN이 새 서브넷에 들어와서 보내는 첫 번째 메시지이고, 이 메시지를 받으면, NAR은 버퍼속의 패킷을 MN에게 전달한다. 전달된 첫 번째 패킷을 MN이 받게 되면, 핸드오버 지연은 끝나게 된다.

MN이 현재의 서브넷에서 FBACk을 받지 못했을 경우, 다른 핸드오버절차와 그에 따르는 시간 다이어그램이 그림 7에 설명되어 있다. MN이 FBACk을 받기 전에 새로운 AP 영역으로 이동하였다더라도, MN은 맨 처음 FNA 메시지를 NAR에 전송한다. 이때 MN은 FBACk을 받지 못했으므로 NCoA의 유효성을 검사하기 위하여 FNA에 FBU 메시지를 포함한다. FNA를 받은 NAR가 아직 PAR로부터 터널링된 패킷을 받지 못했다면, NAR은 PAR로부터 터널링된 패킷을 받게 되자마자 버퍼에 저장할 필요 없이 바로 MN에게 전달할 수 있다.

FBACk을 어느 AR로부터 받았는지에 관계없이, FMIPv6의 핸드오버 절차는 2개의 독립적인 절차로 나눌 수 있다:  $P_f$ 과  $P_b$ .  $P_f$ 은 MN 자신에 의해서만 수행되는 핸드오버 절차로,  $P_b$ 는 PAR과 NAR사이에 터널 생성 및 패킷 전송을 위해서만 수행되는 절차로 정의한다. 그런데 이 두 절차는 NAR가 FNA를 받게 되었을 때 하나로 결합된다. 분석의 명료함을 위해서 본 논문은 NAR이 FNA를 받았을 때는 적어도 PAR로부터 HI 메시지를 수신한 이후라고 가정한다. 이 두 절차가 하나로 결합할 때까지의 걸리는 시간을 각각  $C_{P_f}$ 과  $C_{P_b}$ 라고 할 때 다음과 같이 정의된다.

$$C_{P_i} = \phi + \theta + t_i$$

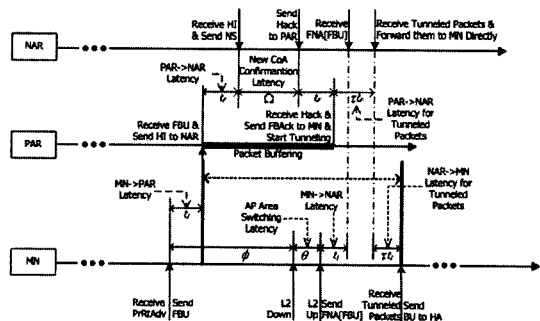


그림 7 현재 링크로 FBACk을 받지 못한 경우의 FMIPv6의 핸드오버 절차 및 시간 다이어그램

$$C_{P_n} = t_I + (2 + \tau)t_F + \Omega, \quad C_{P_n} = t_I + (2 + \tau)t'_F + \Omega$$

$C_{P_n}$ 는 PAR와 NAR가 서로 다른 도메인에 속했을 때  $P_n$ 의 수행 시간이고,  $t'_F$ 는 이 경우 PAR와 NAR 사이의 전송 지연이다. 위 식에서  $t_F = \epsilon f$ ,  $t'_F = \epsilon(2c + h)$ 이고, 만일  $C_{P_i} > C_{P_n}$ 이면, NAR는 PAR로부터의 터널링된 패킷을 버퍼링하고 있고 MN으로부터 FNA를 받았을 때 버퍼링된 패킷을 전송하게 된다. 반대의 경우, NAR가 FNA를 받았을 때, NAR는 HI를 받고 NCoA의 유효성을 검사하고 있는 중이거나 터널링된 패킷을 기다리는 중이다.

FNA를 NAR에 전송하고 NAR로부터 첫 번째 패킷을 받은 MN은 HA와 CN에게 자신의 NCoA를 등록할 필요가 있다.

### 5.3.1 시그널링 비용

빠른 핸드오버 지원을 위해서, FMIPv6는 새로운 시그널링을 추가하였다: FBU, FBACk, RtSolPr, PrRtAdv, HI, HAcK, 및 FNA. FMIPv6에서의 시그널링 비용은 다음과 같이 정의된다.

$$R_F = P_c^e x_1 + (P_s^c - P_d^c)(FRg_1 + Tn_1 + Nt_1 + Rg_1 + P_d^c \\ (FRg_1 + Tn'_1 + Nt_1 + Rg_1) + \kappa P_s^c(RR_1 + RR_2 + Rg_3))$$

위식에서 첫 번째, 두 번째 및 세 번째는 세션사이 시간 동안, 발생한 시그널링 비용, 즉 AP간 이동시의 RtSolPr과 PrRtAdv 메시지 교환, 서브넷간 이동시의 FBU와 FBACk 메시지교환, 터널 설정, HA로의 등록을 위한 시그널 비용을 나타낸다. 이 때 두 번째는 순수하게 같은 도메인 영역 내에서 다른 서브넷으로 이동한 경우의 비용이고, 세 번째는 다른 도메인간에 이동한 경우의 시그널링 비용이다. 마지막은 세션시간 동안에 CN으로의 위치등록을 위해 발생한 시그널링 비용을 의미한다.

### 5.3.2 핸드오버 지연시간, 패킷 손실량 및 버퍼크기

FMIPv6에서 세션시간 동안의 평균 핸드오버 지연시간  $HL_F$ 는 그림 6과 7을 참조하여 다음과 같이 정의된다.

$$HL_F = P_d^c(x + \theta) + (P_s^c - P_d^c)(\max(C_{P_i}, C_{P_n})) \\ - t_I + \tau t_I) + P_d^c(\max(C_{P_i}, C_{P_n})) - t_I + \tau t_I)$$

FMIPv6가 패킷 버퍼 기능을 지원하므로, 패킷 손실량은 MN의 서브넷간 이동시에는 발생하지 않는다. 그러므로 패킷 손실량  $PL_F$ 는 다음과 같다:

$$PL_F = \lambda [P_d^c(x + \theta) - P_s^c \theta]$$

버퍼의 크기는 PAR와 NAR에 의해 버퍼링되는 패킷 수의 합으로 표현할 수 있다. 즉, 요구되는 버퍼의 크기는 핸드오버동안 버퍼링된 패킷의 수로써 다음과 같다.

$$BF_F = \lambda [(P_s^c - P_d^c)(\Omega + 2t_F) + P_d^c(\Omega + 2t'_F) + (P_s^c - P_d^c) \\ \max(C_{P_i} - C_{P_n}, 0) + P_d^c \max(C_{P_i} - C_{P_n}, 0)]$$

## 6. 성능분석 및 결과

모든 실험을 위해 다음과 같은 고정된 변수들이 이용된다.  $\kappa=2$ ,  $a=10$ ,  $b=7$ ,  $c=3$ ,  $d=1$ ,  $e=1.5$ ,  $f=2$ ,  $g=12$ ,  $h=4$ ,  $\tau=1.1$ ,  $\epsilon=0.005$ ,  $\rho=1$ ,  $n=0.01$ . 무선에서의 패킷 전송이 유선에서의 패킷전송보다 더 많은 비용이 들기 때문에,  $n$ 가  $\epsilon$ 보다 큰 값을 갖는다. 다양한 변수들의 프로토콜에 미치는 영향을 조사하기 위하여 다음과 같은 가변적인 변수와 기본 값을 정의한다.  $m=4$ (도메인 계층),  $n=2$ (서브넷 계층),  $\lambda_p=0.033$ (평균 AP 상주시간은 30초),  $\lambda=100$ ,  $v=1$ ,  $\theta=0.03$ ,  $x=0.3$ ,  $\Omega=0.1$ ,  $\phi=0.02$ . 하나 혹은 두개의 변수 값을 변화시키는 동안 다른 변수들은 고정된 기본 값을 유지한다는 가정 하에 각 프로토콜의 성능을 실험하였다.

### 6.1 MN의 이동패턴의 영향

AP 상주시간은 MN의 이동 특성 측면에서 프로토콜의 성능을 조사하기 위한 주요한 변수이다. 본 논문에서 제시한 프레임워크와 모델은 평균 AP 상주시간과 AP 상주시간의 분산의 변화에 따른 다양한 성능비교를 제공한다.

먼저 평균 AP 상주시간  $E[t_p] (= 1/\lambda_p)$ 이 각 프로토콜의 시그널링 비용과 핸드오버 지연에 미치는 영향을 조사하였다. 그림 8 (a)와 (b)에서 각 시그널링 비용과 핸드오버 지연은 평균 AP 상주시간이 감소함에 따라 지수적으로 감소한다. 그리고 평균 상주시간이 높을 때, 각 시그널링 비용과 핸드오버 지연의 각 프로토콜간의 차이는 두드러진다.

HMIPv6가 가장 낮은 시그널링 비용을 갖지만, 예상과 달리 핸드오버 지연시간은 MIPv6에 비해 거의 개선되지 않았다. 이유는 HMIPv6에서 MN이 도메인간에 이동하게 될 때, 발생하는 2개의 CoA (RCoA와 LCoA)에 대한 주소 중복성 검사 기간이 너무 길게 차지하기 때문이다.

FMIPv6는 가장 낮은 핸드오버 지연을 보여주지만, 가장 높은 시그널링 비용을 보여준다. 이는 Fast Handover를 위해 추가되는 시그널(예, PrtSolPr, PrRtAdv, FBU, FBACk, HI, HAcK, FNA) 때문이다. 그러나 이들 시그널이 사용되는 구간이 AR와 MN사이로 매우 짧은 영역이므로 이 시그널에 의해 증가되는 시그널링 비용은 그리 크지 않지만, 이로써 얻는 핸드오버 지연의 이점이 매우 크다고 할 수 있다.

AP 상주시간의 분산의 영향은 그림 8 (c)와 (d)에 잘

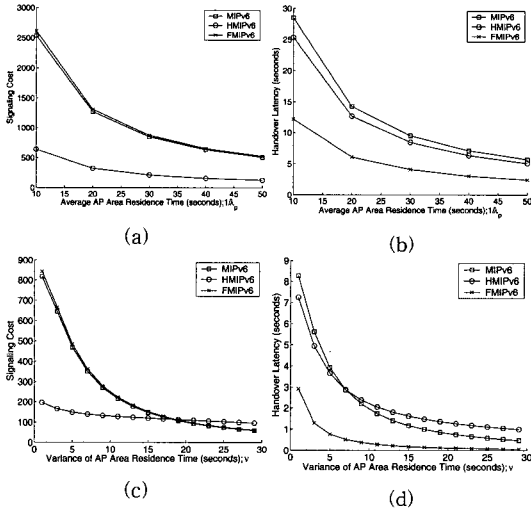


그림 8 결과 그래프 I

나타나 있다. 시그널링 비용의 경우, 그림 8 (c)는 MIPv6와 FMIPv6가 이 분산에 의해 영향을 많이 받는 반면, HMIPv6는 그렇지 않음을 보여준다. 이는 HMIPv6의 MAP이 도메인 내에서의 지역적인 이동성을 관리하고 있기 때문에, AP 상주시간의 불규칙성(분산의 크기가 크다)이 HMIPv6에서는 거의 표출되지 않는다. 만약 이러한 불규칙성이 높다면(그림 8 (c)에서 15이상), MN은 하나의 AP 영역에서 보다 오랜 시간 머무를 확률이 높아지므로 이동횟수가 줄어들게 될 것이다. 이런 경우, MIPv6와 FMIPv6는 HMIPv6보다 더 효과적이 될 수 있다. 이는 MN의 이동이 도메인간 이동으로 이어질 경우 HMIPv6의 시그널 비용이 MIPv6 및 FMIPv6의 시그널링 비용보다 높기 때문이다. 동일한 이유로 그림 8 (d)에서, MIPv6 핸드오버 지연은 HMIPv6보다 높다.

6.2 네트워크 구조의 영향

앞의 3장에서 도메인, 서브넷, AP 영역의 계층적 네트워크의 모델로서 n/m 구조를 소개하였다. 이 구조에서 변수 n과 m의 변화에 따른 프로토콜의 성능에 미치는 영향을 조사한다. 그림 9 (a)는 m 값의 변화(2, 3, 4)에 따른 각 프로토콜의 시그널링 비용의 변화를 보여준다. (결국, 한 도메인의 서브넷 수가 9, 25, 49로 증가한다.) HMIPv6가 MAP의 효과로 MIPv6나 FMIPv6보다 낮은 시그널링 비용을 보여주는 것을 알 수 있다. 또한 HMIPv6는 보다 많은 서브넷으로 도메인이 구성될수록 더 낮은 시그널링 비용을 보여주는 반면, MIPv6와 FMIPv6는 이러한 변화에 영향을 거의 받지 않는 것을 알 수 있다.

그림 9 (b)는 서브넷 계층 n의 영향을 보여준다. 서브

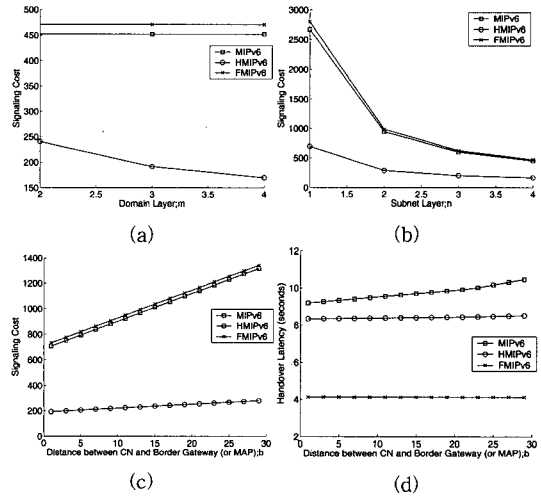


그림 9 결과 그래프 II

넷 계층 n이 1에서 4로 변할 때, 각 서브넷을 구성하는 AP의 수는 1, 9, 25, 및 49로 증가한다. 이러한 AP의 수가 증가함에 따라 각 프로토콜의 시그널링 비용은 감소한다. 결과적으로 일반적으로 가정되는 있는 AR과 AP사이의 일대일 결합은 시그널링 비용 측면에서 그리 좋은 모델이 아님을 알 수 있다.

6.3 CN과 게이트웨이 사이의 거리의 영향

CN과 게이트웨이 사이의 거리가 각 프로토콜에 미치는 영향을 조사한다. 그림 9 (c), (d), 및 10 (a)는 이 거리가 시그널링 비용, 핸드오버 지연, 손실 패킷 수에 미치는 영향을 보여주고 있다. 예상대로 각 프로토콜의 성능은 거리가 증가할수록 악화되지만, FMIPv6의 핸드오버 지연 및 손실 패킷수의 경우는 이 거리에 거의 영향을 받지 않으며, 더욱이 손실 패킷수가 매우 작다. 이는 FMIPv6의 핸드오버가 MN과 AR사이의 시그널링만으로 완료되기 때문이다.

6.4 FBU 전송과 L2-down 트리거사이의 지연의 영향

그림 10 (b)는 FBU 전송과 L2-down 트리거 사이의 지연이 FMIPv6의 핸드오버 지연에 미치는 영향을 보여준다. MIPv6와 HMIPv6는 FBU 메시지를 사용하지 않으므로 이 지연에 영향을 받지 않는다. FMIPv6의 핸드오버 지연은 이 지연이 길어 질수록 증가한다. 특히 이 지연이 1300ms를 초과하게 되면, FMIPv6의 핸드오버 지연이 MIPv6와 HMIPv6의 핸드오버 지연보다 높게 되므로 FMIPv6를 유용하게 만들기 위해서는 이 FBU 전송과 L2-down 트리거 사이의 지연은 1300ms 이하이어야 한다. 이를 위해서 MN이 FBU를 전송한 직후에 바로 새로운 영역으로 이동해야 한다. 물론 FBU 전송의 실패가 없다는 가정 하에서, FMIPv6의 명세에 따라

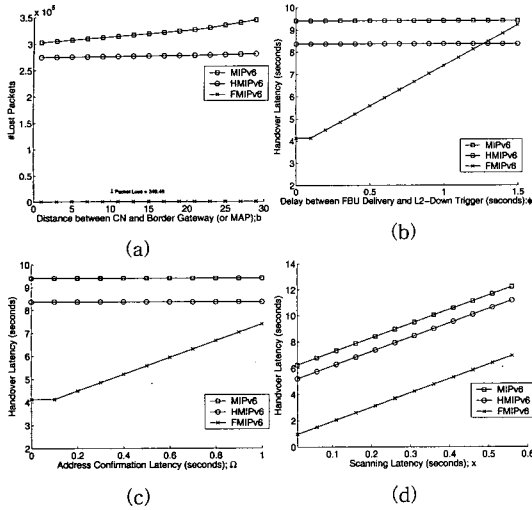


그림 10 결과 그래프 III

면, 그러나 MN은 FBACk 메시지를 받은 후에 새로운 영역으로 이동할 것을 권고하고 있다. 그러므로 임의의 지연이 발생하게 된다. 그림 10 (b)는 효율적인 FMIPv6의 운용을 위해서는 FBU 전송과 L2-down 트리거 사이의 지연시간을 100ms 이하로 할 것을 권고하고 있다.

**6.5 주소 확인 지연(address confirmation latency)**

그림 10(c)는 주소 확인 지연이 FMIPv6의 핸드오버 지연에 미치는 영향을 보여준다. 이 지연이 증가하면, FMIPv6의 핸드오버 지연 역시 증가하게 된다. 특히 주소 확인 지연시간이 1000ms일 때, FMIPv6의 핸드오버 지연은 HMIPv6의 핸드오버 지연과 유사해지므로 이 지연은 반드시 1000ms 이하가 되어야 한다. 특히, 그림 10(c)에 따르면 FMIPv6의 효율적인 운용을 위해서는 이 주소 확인 지연이 100ms 이하가 되어야 한다. 또한 이 주소 확인 지연은 PAR에서의 버퍼크기에 중요한 역할을 담당한다. 만일 PAR에서의 버퍼의 크기에 제한이 있고, NAR에서의 주소 확인 지연이 길어진다면, 많은 패킷들은 손실되기 때문이다.

**6.6 IEEE 802.11 스캐닝 지연의 영향**

IEEE 802.11 핸드오버는 3단계, 스캐닝, 인증, 및 재결합으로 구성된다. [15]에 의하면 스캐닝 과정은 시간을 소모하는 작업이다. 그림 10 (d)는 이 스캐닝 과정이 각 프로토콜의 핸드오버 지연에 어떠한 영향을 미치는지를 보여주고 있다. 즉, 각 핸드오버 지연은 이 스캐닝 지연에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 또한 어떠한 프로토콜도 이 스캐닝 과정동안에 발생하는 패킷 손실을 보호하지 못하므로 이 스캐닝 지연은 패킷 손실로 이어진다. 스캐닝 지연을 줄이는 방법에 대한 연구가 필요하다.

**7. 결론**

본 논문에서는 세 가지 대표적인 IPv6 이동성 지원 프로토콜인 MIPv6, HMIPv6, 및 FMIPv6의 과정을 세밀하게 분석했다. 더욱이 이들 프로토콜이 운영될 하위 계층으로서 IEEE 802.11을 고려하였다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 위에서 운영되었을 때의 IPv6 이동성 지원 프로토콜들의 포괄적인 성능분석을 수학적 방법을 통하여, 시그널링 비용, 핸드오버 지연, 손실 패킷의 수, 및 필요한 버퍼 크기 측면에서의 성능을 분석하였다. 분석을 위해 ‘세션 시간’ 과 ‘세션사이시간’의 개념을 도입하였다. 시그널링 비용에는 세션사이시간 동안에 각 프로토콜에서의 MN의 위치 등록을 위한 시그널링 비용과, 세션시간 동안의 CN으로의 위치 등록을 위한 시그널링 비용을 포함하였다. 핸드오버 지연, 손실된 패킷 수 및 필요한 버퍼의 크기는 세션 시간동안에만 분석하였다. 이런 방식으로 만들어진 성능분석을 위한 프레임워크는 각 프로토콜의 성능을 보다 정확히 분석할 수 있다. 또 다른 제안으로 본 논문은 네트워크 모델로서 계층적 구조의 ‘n/m’ 네트워크 구조를 도입하였다. 이 모델은 다수개의 AP가 하나의 서브넷을 이루고, 다수개의 서브넷이 하나의 도메인을 이루는 계층적인 구조를 표현한 것이다.

MIPv6와 HMIPv6의 분석으로부터 예상과 달리, HMIPv6의 핸드오버 지연이 MIPv6의 핸드오버 지연을 거의 개선하지 못함을 알 수 있었다. 이는 두 번의 RFC 2462 DAD 과정이 수행되어야 하기 때문이다. 이러한 RFC 2462 DAD과정은 전체 핸드오버 지연의 80~90%를 차지하였다. 따라서 주소 중복성 검사 과정은 프로토콜이 좋은 성능을 내기 위한 주요한 장애라고 결론지을 수 있다. 분석결과 각 프로토콜의 핸드오버 지연을 증가시키는 또 다른 장애로는 IEEE 802.11 스캐닝 지연임을 알 수 있다.

마지막으로, FMIPv6는 성능분석을 수행한 세 가지 프로토콜 중에서 가장 효과적이라 할 수 있다. 이 프로토콜은 핸드오버 지연과 손실 패킷수를 현저히 줄이지만, 한편으로는 가장 높은 시그널링 비용을 갖는다. FMIPv6의 이 단점은 HMIPv6의 위치관리 기법을 도입함으로써 완화 될 수 있다고 생각한다. 또한, FMIPv6에서 FBU 전송과 L2-down 트리거 사이의 지연 기간과 주소 확인 지연 기간이 핸드오버 지연에 매우 중요한 역할을 수행하며, 보다 작은 핸드오버 지연을 위해서 이 기간은 줄어들어야 한다.

**참고 문헌**

[1] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support

- in IPv6," draft-ietf-mobileip-ipv6-24.txt, Internet draft (work in progress), June 2003.
- [2] S.-J. Vaughan-Nichols, "Mobile IPv6 and The Future of Wireless Internet Access," IEEE Computer, Vol. 36, Issue 2, pp. 18-20, February 2003.
- [3] S. Thomson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration," IETF RFC 2462, December 1998.
- [4] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-08.txt, Internet draft (work in progress), October 2003.
- [5] T. Nartan and R. Draves, "Privacy Extensions for Stateless Address Autoconfiguration in IPv6," IETF RFC 3041, January 2001.
- [6] S.H. Hwang, B.K. Lee, Y.-H. Han, and C.S. Hwang, "An adaptive hierarchical mobile IPv6 with route optimization," Proc. of the 57th IEEE VTC 2003-Spring, Vol. 3, pp. 1502-1506, April 2003.
- [7] Y.J. Lee and L.F. Akyildiz, "A New Scheme for Reducing Link and Signaling Costs in Mobile IP," IEEE Transactions on Computers vol. 52, no. 6, June 2003.
- [8] S. Pack and Y. Choi, "Performance Analysis of Fast Handover in Mobile IPv6 Networks," Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 2775, pp. 679-691, Springer-Verlag, September, 2003.
- [9] S. Pack and Y. Choi, "Performance Analysis of Hierarchical Mobile IPv6 in IP-based Cellular Networks," Proc. of IP-Based Cellular Networks (IPCN) Conference 2003, Paris, December 2003.
- [10] X.P. Costa, R. Schmitz, H. HArtenstein and M. Liebsch, "A MIPv6, FMIPv6 and HMIPv6 Handover Latency Study: Analytical Approach," Proc. of IST Mobile and Wireless Telecommunications Submit, June 2002.
- [11] Y.B. Lin, "Reducing Location Update Cost in A PCS Network," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 1, pp. 25-33, February 1997.
- [12] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition.
- [13] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El-Malki, L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)," draft-ietf-mobileip-hmipv6-08.txt, Internet draft (work in progress), June 2003.
- [14] T. Janevski, Traffic analysis and design of wireless IP networks, Arttech House, 2003.
- [15] A. Mishra, M.H. Shin, and W. Arbaugh, "An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 33, Issue 2, pp. 93-102, 2003.
- [16] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," IETF RFC 1883, December 1995.
- [17] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbour Discovery for IP version 6," IETF RFC 2461, December 1998.
- [18] "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS): Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS (UMTS 30.03)," ETSI TR 101 112 version 3.2.0 April 1998.
- [19] P. McCann, "Mobile IPv6 Fast Handovers for 802.11 Networks," draft-ietf-mipshop-80211fh-00.txt, Internet draft (work in progress), Feb. 2004.



황 승 희

2000년 고려대학교 컴퓨터학과 졸업(학사). 2002년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 석사학위 취득(전산학). 2002년~현재 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정 재학중. 관심분야는 Mobile Computing, Mobility Management, Mobile IPv6, Network Mobility, 4G Network



한 연 희

1996년 고려대학교 수학과 졸업(학사) 1998년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 석사학위 취득(전산학). 2002년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 박사학위 취득(전산학). 2002년~현재 삼성종합기술원 전문연구원. 관심분야는 4G Network, Mobile Computing, Mobile IPv6, Network Mobility

황 중 선

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 32 권 제 2 호 참조