

Mobile IPv6와 Hierarchical Mobile IPv6의 시그널링 부하 분석

(Analysis of Signaling Load of Mobile IPv6 and Hierarchical Mobile IPv6)

공 기 식[†] 송 문 배^{**} 황 종 선^{***}
 (Ki-Sik Kong) (MoonBae Song) (Chong-Sun Hwang)

요 약 네트워크 내의 이동 노드 (Mobile Node: MN)들의 수가 점차 증가함에 따라 IP 이동성 관리로 인한 시그널링 트래픽은 급증하게 될 것이며, 이러한 현상은 전반적인 네트워크의 성능을 크게 좌우할 수도 있을 것이다. 본 논문에서는 대표적인 IPv6 이동성 지원 프로토콜인 Mobile IPv6 (MIPv6)와 Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6)의 시그널링 부하에 대한 분석을 위하여, 연속 시간 마코프 체인 모델과 계층적 네트워크 모델을 사용하는 새로운 분석적 접근 방법을 제안한다. 본 논문은 동일한 네트워크 구조 하에서 MIPv6와 HMIPv6가 각각 적용되었을 경우, MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN에 의해 발생하는 시그널링 비용들을 분석적 모델링에 기반하여 각각 유도해 낸다. 또한, MN의 이동성 및 트래픽과 관련된 다양한 파라미터들의 변화가 MIPv6와 HMIPv6 하에서 MN에 의해 발생하는 시그널링 비용에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여도 살펴본다. 본 논문에서 제안된 분석적 모델링을 통하여, MN의 평균 이동 속도가 빠를수록, 바인딩 라이프타임이 큰 값으로 설정될수록, 그리고 평균 패킷 도착율이 적을수록, MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 HMIPv6 하에서 발생하는 총 시그널링 비용은 MIPv6 하에서 발생하는 총 시그널링 비용보다 상대적으로 더 적어지게 되며, 이와 반대되는 상황 하에서는 MIPv6 하에서의 총 시그널링 비용이 HMIPv6 하에서의 총 시그널링 비용보다 상대적으로 더 적어지게 될을 알 수 있었다.

키워드 : Mobile IPv6(MIPv6), Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6), 시그널링 부하

Abstract As the number of the mobile nodes (MNs) increases in the networks, the signaling traffic generated by mobility management for MNs will increase explosively, and such a phenomenon will probably affect overall network performance. In this paper, we propose a novel analytical approach using a continuous-time Markov chain model and hierarchical network model for the analysis on the signaling load of representative IPv6 mobility support protocols such as Mobile IPv6 (MIPv6) and Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6). According to these analytical modeling, this paper derives the various signaling costs, which are generated by an MN during its average domain residence time when MIPv6 and HMIPv6 are deployed under the same network architecture, respectively. In addition, based on these derived costs, we investigate the effects of various mobility/traffic-related parameters on the signaling costs generated by an MN under MIPv6 and HMIPv6. The analytical results show that as the average moving speed of an MN gets higher and the binding lifetime is set to the larger value, and as its average packet arrival rate gets lower, the total signaling cost generated during its average domain residence time under HMIPv6 will get relatively lower than that under MIPv6, and that under the reverse conditions, the total signaling cost under MIPv6 will get relatively lower than that under HMIPv6.

Key words : Mobile IPv6 (MIPv6), Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6), Signaling Load

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

† 학생회원 : 고려대학교 컴퓨터학과
 kskong@disys.korea.ac.kr

** 정회원 : 고려대학교 컴퓨터학과

mbsong@disys.korea.ac.kr
 *** 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수
 hwang@disys.korea.ac.kr

논문접수 : 2005년 1월 26일

심사완료 : 2005년 4월 25일

1. 서론

최근 인터넷의 급속한 성장과 더불어 하드웨어 기술의 지속적인 발전은 이동 단말이나 노트북, 랩탑 등을 통하여 인터넷에 접속하는 것을 가능하게 하였다. 하지만, 인터넷의 근간을 이루고 있는 TCP/IP는 이동 단말의 이동성을 고려하지 않고, 유선 네트워크를 위하여 설계가 되었기 때문에, 단말의 네트워크간 이동이 발생하는 경우, 새로운 IP 주소를 통해서만 인터넷 서비스가 가능하게 되는 문제점을 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 Mobile IPv4 (MIPv4)[1]가 제안되었고, 이를 근간으로 MIPv4보다 더 향상된 서비스를 제공하며 IPv6 네트워크에서의 이동성 지원을 목적으로 제안된 프로토콜이 Mobile IPv6 (MIPv6)[2] 이다.

MIPv6에서는 이동 노드(mobile node: MN)가 서브넷 영역을 벗어나 이동하는 경우, 항상 홈 에이전트(home agent: HA)와 상대 노드(correspondent node: CN)에게 현재 위치에 대한 위치 등록을 수행한다. 하지만, MN의 이동성이 매우 크거나 혹은 HA나 CN이 MN으로부터 상대적으로 먼 거리에 위치한 경우 이러한 위치 등록 방식은 잦은 위치 등록으로 인한 불필요한 시그널링 트래픽이나 긴 위치 등록 시간을 유발시킬 수 있다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Hierarchical Mobile IPv6(HMIPv6)[3,4]가 제안되었다. HMIPv6의 기본 개념은 각 지역 도메인이 지역 이동성 에이전트의 역할을 수행하는 MAP(mobility anchor point)을 가지며, 지역 내의 이동성은 MAP이 처리하게 함으로써 HA나 CN으로부터 지역 내에서의 MN의 이동성에 대한 투명성을 보장하게 하는 것이다. 즉, MN이 동일한 MAP 영역 내의 다른 서브넷 영역으로 이동하는 경우는 HA와 CN이 가지고 있는 regional care-of-address(RCoA)에 대한 binding update(BU)는 필요로 하지 않으며, on-link care-of-address(LCoA)를 갱신하는 지역적인 BU만이 필요하게 된다. 그리고, MN이 MAP 영역을 벗어나 다른 MAP 영역으로 이동할 경우에만 RCoA와 LCoA를 모두 갱신하게 된다. 따라서 백본 네트워크로 전송되는 BU 메시지의 수와 핸드오프 지연을 크게 감소시킬 수 있게 되었다. 하지만, MAP을 사용함으로써 MN은 HA나 CN에 보내야 하는 주기적인 binding refresh(BR) 메시지 외에도 MAP에 추가적으로 BR 메시지를 더 보내야 한다. 또한, MAP은 MN을 향하여 날아오는 패킷들을 캡슐화(encapsulation)하고 이를 터널링(tunneling)을 통하여 MN에게 전송해야 하는 새로운 문제점이 발생하게 된다.

일반적으로 IP 이동성 지원 프로토콜은 MN들의 이동

성 및 트래픽과 관련된 특성들의 변화에 따라 성능이 크게 영향 받을 수 있다[5]. 특히, 네트워크 내의 MN들의 수가 점차 증가함에 따라 이동성 관리로 인한 시그널링 트래픽은 급증하게 될 것이며, 이러한 현상은 전반적인 네트워크의 성능을 크게 좌우할 수도 있을 것이다. 따라서, 이러한 이동성 및 트래픽과 관련된 파라미터들의 변화에 대한 영향에 대하여 살펴보고, 이들 프로토콜들에 대한 보다 심도있는 성능 분석을 수행하는 것은 필수 불가결하다. 본 논문에서는 대표적인 IPv6 이동성 지원 프로토콜인 MIPv6와 HMIPv6에 대한 새로운 성능 분석 모델링 방식을 제안하고, 이동성 및 트래픽과 관련된 다양한 파라미터들의 변화에 따라 각 프로토콜 하에서 하나의 MN에 의해 발생하는 시그널링 비용들이 어떠한 변화를 보이는지에 대하여도 살펴본다. 아울러, 여러 다양한 상황 하에서 각 프로토콜간의 총 시그널링 비용들을 비교함으로써, 이들 두 프로토콜 간의 총 시그널링 부하에 대한 성능 분석을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Mobile IPv4/IPv6 에서의 성능 분석 모델링에 관한 기존의 연구 내용이 간략하게 소개되며, 3장에서는 성능 분석에 앞서 본 논문에서 가정하는 사용자 이동성 모델과 네트워크 모델을 소개하고, 이를 토대로 MIPv6와 HMIPv6에 대한 분석적 모델링 방식이 제안된다. 한편, 4장에서는 3장에서 유도된 다양한 비용 함수들을 토대로 두 프로토콜간의 성능 분석을 하며, 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구 과제를 제시하며 끝을 맺는다.

2. 관련 연구

PCS(Personal Communications Services) 네트워크에서 연구되었던 많은 위치 관리 기법들에서도 이미 소개되었듯이[6], IP 이동성 관리 프로토콜간의 성능 분석에 있어서도 총 시그널링 비용의 측면에서 볼 때, 위치 등록 비용과 패킷 터널링 비용은 함께 고려되어야 한다[7]. 그럼에도 불구하고[4]에서는 패킷 터널링으로 인하여 발생하는 비용은 고려되지 않았다. 또한, 만일 네트워크 관리자 또는 설계자가 MIPv6 또는 HMIPv6를 자신의 네트워크에 도입하려 한다면, 이들은 그에 앞서 각 프로토콜이 다양한 이동성 및 트래픽 관련 파라미터들의 변화에 따라 어떻게 영향을 받을 수 있는지 등에 대한 사항들을 충분히 고려해야 할 것이다. 그러나, [4]에서는 이동성 및 트래픽 관련 파라미터들의 변화에 따른 시그널링 비용에서의 변화에 대한 분석이 충분히 제공되지 못했다. 한편, [8]에서는 MIPv4 Regional Registration에 대한 성능 분석을 수행하였다. 여기서는 MIPv4 하에서의 성능 분석이었으며, 성능 척도로는 MN의 이동성을 처리하는 에이전트들에서의 등록 지연

시간과 CPU 프로세싱 오버헤드였다. [9]에서는 IP 기반 셀룰러 네트워크 하에서 HMIPv6에 대한 성능 분석을 위한 랜덤 워크 기반의 분석 모델을 소개하였다. 저자는 HMIPv6 하에서의 MN의 위치 등록 비용, 패킷 전달 비용 및 총 비용을 각각 유도하고, 위치 등록 비용에 대한 셀 상주 시간 변화에 따른 영향, 패킷 전달 비용에 대한 사용자 수 변화에 따른 영향 등에 대하여 분석하였다. [9]에서의 분석 모델은 HMIPv6 하에서의 다양한 이동성 및 트래픽 관련된 파라미터들의 변화에 따른 성능 분석을 하고 있기는 하지만, MIPv6와의 비교 분석은 이루어지지 않았으며, 시그널링 부하에 많은 영향을 미칠 수 있는 바인딩 라이프타임(binding lifetime) 및 주기적인 위치 갱신에 의해 발생하는 BR 비용에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않았다. 또한, [9]에서의 패킷 전달 비용은 이동성 관리 과정에서 부가적으로 발생하는 순수한 의미에서의 시그널링 트래픽에 대한 비용 분석이라기 보다는 시그널링 트래픽 뿐만 아니라 데이터 트래픽까지 포함된 비용 분석이었다. 그러나, IP 이동성 관리의 측면에서 본다면, 위치 등록과 패킷 터널링으로 인하여 부가적으로 발생하는 순수한 의미에서의 시그널링 트래픽들에 대한 분석이 이루어져야 보다 정확한 분석이 될 것이다.

위에서 제시한 기존 논문들과는 달리, 본 논문에서는 동일한 네트워크 구조 하에서 MIPv6와 HMIPv6가 각각 적용되었을 경우, MN의 평균 도메인 상주 시간을 동안에 MN에 의해 발생될 수 있는 모든 시그널링 비용들을 새로운 분석적 모델링에 기반하여 각각 유도해 낸다. 또한, 이를 토대로 이동성 및 트래픽과 관련된 다양한 파라미터들의 변화에 따른 두 프로토콜간의 시그널링 부하를 비교 및 분석함으로써, 네트워크 관리자 또는 설계자로 하여금 MIPv6 또는 HMIPv6를 자신의 네트워크에 도입하려 할 경우, 각 프로토콜들에 대한 이해의 폭을 넓혀줄 것이며, 이는 보다 효율적인 IPv6 이동성 지원 프로토콜의 설계를 위한 초석으로도 활용될 수 있을 것이다 기대된다.

3. MIPv6와 HMIPv6의 시그널링 부하에 대한 분석적 모델링

본 장에서는 MIPv6와 HMIPv6의 성능 분석에 들어가기에 앞서, 본 논문에서 제안하는 사용자 이동성 모델과 네트워크 모델을 소개한다. 그런 다음, MIPv6와 HMIPv6 하에서의 시그널링 부하에 대한 비교 및 분석을 위한 다양한 비용 함수들을 분석적으로 유도해 낸다.

3.1 사용자 이동성 모델

그림 1은 MN의 binding update 절차를 나타내는 연속 시간 마코프 체인의 상태 전이도를 나타낸다. 마코프

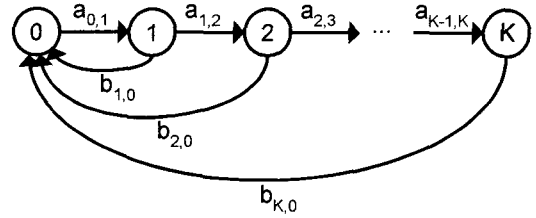


그림 1 연속 시간 마코프 체인의 상태 전이도

체인의 상태, $i(0 \leq i \leq K)$ 는 MN이 주어진 도메인 영역 내에 머무르는 동안 상주했던 서브넷의 수를 나타낸다. 또한, 상태 0은 MN이 주어진 도메인 영역 밖에서 머무르고 있는 상태를 의미한다.

$a_{i+0}(1 \leq i \leq K)$ 는 주어진 도메인 내에서의 인접 서브넷으로의 MN의 이동율을 나타내고, $a_{0,1}$ 은 다른 도메인으로부터 주어진 도메인내의 서브넷으로의 이동율을 나타낸다. 한편, $b_{i,0}(1 \leq i \leq K)$ 은 주어진 도메인으로부터 다른 도메인으로의 MN의 이동율을 나타낸다. 또한, 주어진 도메인 내에서의 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN에 의해 발생하는 모든 시그널링 비용을 고려하기 위하여, MN은 주어진 도메인 영역 내에서 유한 번의 서브넷 이동 후에 도메인을 벗어난다고 가정하고, 이때 주어진 도메인 영역 내에서의 MN의 서브넷 이동 횟수의 최대값은 K 라고 가정한다.

한편, MN의 이동율을 구하기 위하여, Fluid flow 모델을 가정한다. 즉, MN은 평균 v 의 속도로 이동하며, 이동 방향은 $[0, 2\pi]$ 사이에서 균일(uniform)하게 분포되어 있다고 가정한다. 또한, 모든 서브넷들은 사각형의 동일한 모양과 크기를 가지며 연속적으로 서로 인접하며 구성되어 있다고 가정한다. MN의 이동율 분석을 위해 사용되는 파라미터들은 다음과 같다.

- γ : MN이 서브넷을 벗어나는 이동율
- λ : MN이 주어진 도메인 내에서의 인접 서브넷으로 벗어나는 이동율
- μ : MN이 도메인을 벗어나는 이동율

[10]으로부터, MN이 서브넷을 벗어날 이동율 γ 는 다음과 같이 유도된다.

$$\gamma = \frac{4v}{\pi\sqrt{S}} \tag{1}$$

여기서, S 는 서브넷의 면적을 나타낸다.

한편, 도메인이 N 개의 동일한 크기의 서브넷으로 구성된다고 가정하면, MN이 도메인을 벗어날 이동율 μ 는 다음과 같이 유도된다.

$$\mu = \frac{4v}{\pi\sqrt{NS}} \tag{2}$$

한편, 도메인을 벗어나는 MN은 또한 서브넷도 벗어

나게 될 것이므로, MN이 주어진 도메인 내에서의 인접 서브넷으로 벗어나는 이동을 λ 는 식(1)과 식(2)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$\lambda = \gamma - \mu = (1 - \frac{1}{\sqrt{N}})\gamma \quad (3)$$

따라서, 각각 $a_{i,i+1} (1 \leq i \leq K-1) = \lambda$ 이고, $a_{0,1} = b_{i,0} (1 \leq i \leq K) = \mu$ 가 된다.

한편, π_i 를 상태 i 의 steady-state 확률이라고 한다면, 그림 1로부터 다음의 식들을 유도해 낼 수 있다.

$$\mu\pi_0 = \mu \sum_{i=1}^K \pi_i \quad (4)$$

$$\mu\pi_{i-1} = (\lambda + \mu)\pi_i, \quad i = 1 \quad (5)$$

$$\lambda\pi_i = (\lambda + \mu)\pi_{i+1}, \quad 2 \leq i \leq K-1 \quad (6)$$

$$\lambda\pi_{i-1} = \mu\pi_i, \quad i = K \quad (7)$$

한편, Total Probability의 법칙에 의하여, 모든 상태들의 steady-state 확률들의 합은 "1" 이 된다. 즉,

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_K = \sum_{i=0}^K \pi_i = 1 \quad (8)$$

식(4)를 식(8)에 적용함으로써, 상태 0의 steady-state 확률 π_0 는 다음과 같이 구해진다.

$$\pi_0 = \frac{1}{2} \quad (9)$$

마지막으로, 식(5)-(7)과 식(9)를 이용하여, π_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$\pi_i = \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{if } i = 0 \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right)^{i-1} & \text{if } 1 \leq i \leq K-1 \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right)^{i-1} & \text{if } i = K \end{cases} \quad (10)$$

3.2 네트워크 모델

[11]과 유사하게, 우리는 그림 2에서 보여지는 2 계층 (two-layer) 구조의 네트워크 모델을 가정한다. 1 계층 (first layer)은 M 개의 노드들로 구성되는 메쉬(mesh) 구조를 가진다. 각 1 계층 노드는 깊이가 1인 N 진 트리의 루트이며, CN 또는 MN이 위치한 영역에 존재하는 디폴트 액세스 라우터 (access router: AR)들을 포함한 모든 AR들과 HA는 모두 2 계층 (second layer)노드들이라고 가정한다. 한편, 각 도메인은 동일한 1 계층 노드하에 존재하는 모든 2 계층 노드들로 구성된다고 가정하고, 동일한 1 계층 노드하에 존재하는 모든 2 계층 노드들의 수를 도메인의 크기 (N) 라고 정의한다. 또한, 분석의 간략화를 위하여, CN, HA 및 MN은 모두 서로 다른 도메인 내에 위치한다고 가정한다. 동일한 네트워크 구조 하에서의 두 프로토콜들 (즉, MIPv6와 HMIPv6)의 성능 분석을 위하여, HMIPv6가 적용될 때 MAP의 기능은 1 계층 노드에 추가적으로 적용된다고 가정한다. 한편, 1 계층 노드간의 링크 흡수는 a 이고, 1

계층 노드와 2 계층 노드간의 링크 흡수는 b 라고 가정한다. 또한, CN과 CN의 디폴트 AR간의 링크 흡수는 0이라고 가정하고, 무선 링크 구간에서의 전송 비용 (transmission cost)은 고려하지 않기로 한다. 그림 2에서 보여지는 네트워크 모델에서 네트워크 스케일의 비율 (r)을 조절함으로써, 우리는 또한 MN과 CN 또는 HA간의 거리에 따른 변화의 영향을 분석할 수 있게 되고, 네트워크 스케일의 비율 r 은 $0.1 < r = b/a < 1$, $b = 3$ 이라고 가정한다. 따라서, r 의 값이 크다는 것은 MN이 HA 또는 CN에 가깝게 위치하고 있음을 의미하게 되고, r 의 값이 작다는 것은 MN이 HA 또는 CN으로부터 멀리 떨어져 위치하고 있음을 의미하게 된다.

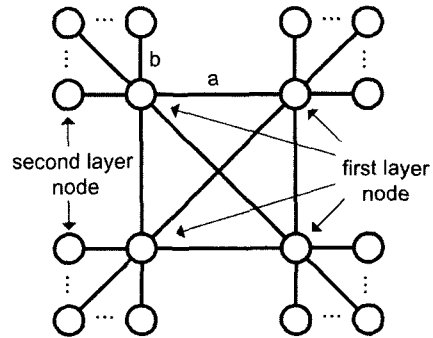


그림 2 2 계층 구조의 네트워크 모델

3.3 시그널링 비용 분석

본 절에서는 동일한 네트워크 구조 하에서 MIPv6와 HMIPv6가 각각 적용되었을 경우, MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN에 의해 발생하는 위치 등록 비용 (즉, BU 비용과 BR 비용의 합), 패킷 터널링 비용 및 총 시그널링 비용 등을 본 논문에서 제안한 사용자 이동성 모델과 네트워크 모델에 기반하여 분석적으로 유도해 낸다. MIPv6와 HMIPv6에는 두 가지 종류의 위치 등록 메시지가 존재한다. 하나는 MN이 서브넷 경계를 벗어나 이동함으로써 새로운 위치를 등록시키기 위하여 발생하는 메시지이며, 다른 하나는 바인딩 라이프 타임이 만료되기 직전에 HA 또는 CN에 존재하는 MN에 대한 바인딩 (binding) 정보를 갱신 및 유지하기 위하여 발생하는 메시지이다. 본 논문에서는 이들 두 개의 메시지를 구별하기 위하여 전자를 BU 메시지, 후자를 BR 메시지라 구분한다. 아울러, 성능 분석을 위해 3.1절과 3.2절에서 언급한 파라미터들과 가정들이 사용된다.

3.3.1 Hierarchical Mobile IPv6

본 절에서는 3.1절과 3.2절에서 주어진 분석 모델들에 입각하여, HMIPv6 하에서 발생하는 시그널링 비용을

분석한다. 먼저, HMIPv6 하에서 MAP, HA와 CN으로 위치를 등록하는 BU 비용들을 각각 U_m , U_h 와 U_c 라 정의하면, 이는 3.2절에서 주어진 네트워크 모델과 가정들에 따라 $U_m = 2S_{bu}b$, $U_h = 2S_{bu}(a+2b)$ 와 $U_c = S_{bu}(a+2b)$ 로 각각 표현된다. 여기서, S_{bu} 는 하나의 BU 메시지에 의하여 발생하는 시그널링 대역폭의 소모량(signaling bandwidth consumption)을 나타내고, 분석의 간략화를 위하여 바인딩 관련된 메시지들은 피기백(piggyback)되지 않고 단일의 패킷으로 전송되며, CN으로부터의 binding acknowledgement(BAck) 메시지는 보내지지 않는다고 가정하였다.

한편, 주어진 도메인 내에서 MN이 머무는 서브넷의 평균 개수를 $\phi(K)$ 라 정의하면, 이는 그림 1의 연속 시간 마코프 체인의 상태 전이도로부터 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\phi(K) = \pi_1 + 2\pi_2 + 3\pi_3 + \dots + K\pi_K = \sum_{i=1}^K i\pi_i \quad (11)$$

한편, MN이 도메인에 머무는 동안 CN들에게 위치 등록 (BU 또는 BR)을 수행하게 됨으로써 발생하는 시그널링 비용에 대한 계산에 앞서, MN의 평균 도메인 상주 시간 당 CN에 대한 MN의 평균 바인딩 캐쉬 엔트리 (binding cache entry) 유지 시간에 대한 비율(δ)을 구해야 한다. MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN과 i 번째로 통신했던 CN에 대하여 MN이 바인딩 캐쉬 엔트리를 유지하고 있었던 바인딩 시간을 C_i 라 하고, MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN의 binding update 리스트에 기록되었던 CN들의 총 수를 n , MN의 평균 도메인 상주 시간을 Δ 라 정의할 경우, MN의 평균 도메인 상주 시간 당 CN에 대한 MN의 평균 바인딩 캐쉬 엔트리 유지 시간에 대한 비율, δ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n\Delta} \quad (12)$$

따라서, HMIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 MN에 의해 발생하는 평균 BU 비용 (U_{Hmip})은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$U_{Hmip} = \pi_0 \times (U_m + U_h + \delta U_c) + (\phi(K) - 1) \times U_m \quad (13)$$

한편, HMIPv6 하에서 MAP, HA와 CN에 대한 바인딩 라이프타임을 각각 T_m , T_h 와 T_c 라 가정하자. 그러면, 식(1)로부터 MN의 평균 서브넷 상주 시간(t_s)은 $\frac{\pi \sqrt{S}}{4v}$ 로 표현된다. 한편, HMIPv6 하에서 하나의 서브넷에 머무는 동안에 MN이 MAP으로 BR 메시지를 보내는 평균 전송율은 $\frac{t_s}{T_m}$ 가 된다. 이와 유사한 방식으로, HMIPv6에서 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN이

HA와 CN으로 BR 메시지를 보내는 평균 전송율은 각각 $\frac{t_s \phi(K)}{T_h}$, $\delta \times \frac{t_s \phi(K)}{T_c}$ 가 된다. 따라서, HMIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 MN에 의해 발생하는 평균 BR 비용 (R_{Hmip})은 다음과 같이 표현된다.

$$R_{Hmip} = U_m \phi(K) \times \frac{t_s}{T_m} + U_h \times \frac{t_s \phi(K)}{T_h} + \delta U_c \times \frac{t_s \phi(K)}{T_c} \quad (14)$$

따라서, 식(13)과 식(14)에 의해 HMIPv6에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN에 의하여 발생하는 BU와 BR 메시지들에 의해 발생하는 평균 위치 등록 비용 (L_{Hmip})은 다음과 같이 표현된다.

$$L_{Hmip} = U_{Hmip} + R_{Hmip} \quad (15)$$

한편, 단위 시간당 MN을 향하여 날아오는 평균 패킷 도착율을 p 라 하고, 3.2절에서 주어진 네트워크 모델과 가정들을 따른다고 하면, HMIPv6 하에서 패킷이 HA를 경유하지 않고 CN에서 MN으로 직접 전송될 경우에 발생하는 패킷 터널링 비용(D_{dir})과 HMIPv6 하에서 패킷이 HA를 경유하여 CN에서 MN으로 전송될 경우에 발생하는 패킷 터널링 비용(D_{indir})은 각각 $D_{dir} = S_{pb}$ 와 $D_{indir} = S_{pb}(a+2b)$ 로 표현될 수 있다. 여기서, S_{pb} 는 패킷 당 터널링에 의하여 발생하는 부가적인 시그널링 대역폭의 소모량을 나타낸다. 또한, CN이 주어진 MN에 대한 바인딩 캐쉬 엔트리를 가지고 있을 확률을 q 라 가정하면, HMIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 MN에 의해 발생하는 평균 패킷 터널링 비용 (T_{Hmip})과 같이 표현될 수 있다.

$$T_{Hmip} = pt_s \times \phi(K) \times \{qD_{dir} + (1-q)D_{indir}\} \quad (16)$$

따라서, 식(15)와 식(16)에 의해 HMIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 하나의 MN에 의하여 발생하는 총 시그널링 비용(C_{Hmip})과 같이 표현된다.

$$C_{Hmip} = L_{Hmip} + T_{Hmip} \quad (17)$$

3.3.2 Mobile IPv6

MIPv6 하에서 HA와 CN으로 위치를 등록하는 BU 비용들 또한 HMIPv6 하에서 HA와 CN으로 위치 등록하는 BU 비용들과 동일하므로, 식(13)에서와 유사한 방식으로 MIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 MN에 의해 발생하는 평균 BU 비용(U_{Mip})을 유도할 수 있으며, 이는 다음과 같이 표현된다.

$$U_{Mip} = \pi_0 \times (U_h + \delta U_c) + (\phi(K) - 1) \times (U_h + \delta U_c) = \{\pi_0 + (\phi(K) - 1)\} \times (U_h + \delta U_c) \quad (18)$$

한편, MIPv6 하에서의 HA와 CN에 대한 바인딩 라이프타임을 각각 \bar{T}_h 와 \bar{T}_c 라 가정하자. 그러면 MIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 MN에 의해 발생하는 평균 BR 비용(R_{Mip})은 다음과 같이 표현된다.

$$R_{Mip} = \phi(K) \times (U_h \times \frac{t_s}{\bar{T}_h} + \delta U_c \times \frac{t_s}{\bar{T}_c}) \quad (19)$$

따라서, MIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN에 의해 발생하는 BU와 BR 메시지에 의해 발생하는 평균 위치 등록 비용(L_{Mip})은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$L_{Mip} = U_{Mip} + R_{Mip} \quad (20)$$

한편, 3.2절에서 주어진 네트워크 모델과 가정들을 따른다고 할 때, MIPv6 하에서 패킷이 HA를 경유하지 않고 CN에서 MN으로 직접 전송될 경우에 발생하는 패킷 터널링 비용(\bar{D}_{dir})과 MIPv6 하에서 패킷이 HA를 경유하여 CN에서 MN으로 전송될 경우에 발생하는 패킷 터널링 비용(\bar{D}_{indir})은 각각 $D_{dir}=0$ 와 $D_{indir} = S_{\mu}(a+2b)$ 로 표현될 수 있다. 따라서, MIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 MN에 의해 발생하는 평균 패킷 터널링 비용 (T_{Mip})은 다음과 같이 표현된다.

$$T_{Mip} = pt_s \times \Phi(K) \times \{q\bar{D}_{dir} + (1-q)\bar{D}_{indir}\} \quad (21)$$

따라서, 식(20)과 식(21)에 의해 MIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 하나의 MN에 의하여 발생하는 총 시그널링 비용(C_{Mip})은 다음과 같이 표현된다.

$$C_{Mip} = L_{Mip} + T_{Mip} \quad (22)$$

4. 성능 분석

이 장에서는 3.3절에서 유도된 여러 비용 함수들에 기반하여 MIPv6와 HMIPv6 하에서의 시그널링 부하에 대한 비교 분석을 수행한다. 먼저 MN의 평균 이동 속도, 바인딩 라이프타임, 네트워크 스케일의 비율, 패킷 도착율과 같은 여러 다양한 이동성 및 트래픽 관련 파라미터들의 변화에 따라 각 비용들이 어떠한 영향을 받는지에 대하여 살펴본다. 그런 다음, 총시그널링 비용 측면에서 두 프로토콜 하에서 발생하는 시그널링 부하의 차이를 살펴본다. 사용된 성능 평가 척도는 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안 발생하는 모든 패킷 당 시그널링 대역폭의 소모량과 각 패킷이 이동하는 홉 수의 곱으로써 정의하였다 (= 바이트 × 링크 홉 수 / MN의

평균 도메인 상주 시간). 또한, q , r 및 δ 는 각각 0.7, 0.2와 0.1로 가정하였고, K 는 N 과 같다고 가정하였다.

표 1에서 주어지는 파라미터들은 성능 분석을 위하여 사용되는 기본 파라미터들이다. 분석에서 사용되는 대부분의 파라미터들은 [4,8,12]에서 사용되어진 값들로 설정되었다. 한편, BU/BR/BAck 메시지의 크기는 각각 IPv6 헤더의 크기(40바이트)와 binding extension 헤더의 크기(28바이트)의 합(68바이트)과 같다고 가정하였으며[4], 패킷당 터널링에 의해 발생하는 부가적인 시그널링 대역폭의 소모량은 IPv6 헤더의 크기(40바이트)와 같다고 가정하였다[2]. 한편, [2,3]에 의해, MIPv6와 HMIPv6에서의 각 바인딩 라이프타임들(\bar{T}_h , T_h , T_m , \bar{T}_c , T_c)은 모두 같다고 가정하였으며, T 라 표기하기로 한다.

4.1 위치 등록 비용

그림 3(a)는 MIPv6와 HMIPv6 하에서의 평균 위치 등록 비용에 대한 v 의 영향을 나타낸다. 이미 앞서 언급하였듯이, 위치 등록 비용은 MN이 서브넷 경계를 벗어나 이동함으로써 새로운 위치를 등록시키기 위하여 발생하게 되는 BU 비용과 바인딩 라이프타임의 만료 직전에 HA 또는 CN에 존재하는 MN에 대한 바인딩 정보를 갱신 및 유지하기 위하여 발생하게 되는 주기적인 BR 비용으로 구성된다. 그림 3(a)에서 보여지는 결과는 v 가 증가함에 따라 두 프로토콜 하에서의 위치 등록 비용이 모두 감소한다는 것을 나타낸다. 또한, 이러한 현상은 T 가 보다 더 큰 값으로 설정될수록 더욱 두드러지게 된다. v 가 작을 때 (즉, MN의 이동성이 작을 때), 위치 등록 비용에서의 대부분의 시그널링 트래픽은 주기적인 BR 메시지에 의해 발생된다. 그러나, v 가 커짐에 따라 도메인에 머무는 동안의 MN의 주기적인 BR 메시지의 수는 상대적으로 감소하게 되고, MN의 이동성으로 인해 발생하는 BU 메시지가 대부분의 시그널링 트래픽을 차지하게 된다. 그림 3(a)에서 $T = 0.5$ hour인 경우, v 가 5 km/hour 보다 커지게 되면 MIPv6 하에서의 위치 등록 비용은 변화없이 일정한 값을 보임을 알 수 있다. 이는 v 가 커짐에 따라 MN이 BR 메시지를 발생시키기 전에 인접 서브넷으로 이동하기 때문이다. 즉, 이 경우는 MN의 이동성이 커짐에 따라 평균 서브넷 상주 시간이 바인딩 라이프타임 주기보다 짧은 경우에 해당된다. 따라서, 이 경우에 있어서의 MN의 위치 등록 비용은 평균 BU 비용과 동일하게 되며, 평균 BR 비용은 0이 된다.

그림 3(b)는 MIPv6와 HMIPv6 하에서의 평균 위치 등록 비용에 대한 T 의 영향을 나타낸다. 그림 3(b)에서 보여지듯이 T 가 커짐에 따라 두 프로토콜 하에서의 평

표 1 기본 파라미터 설정

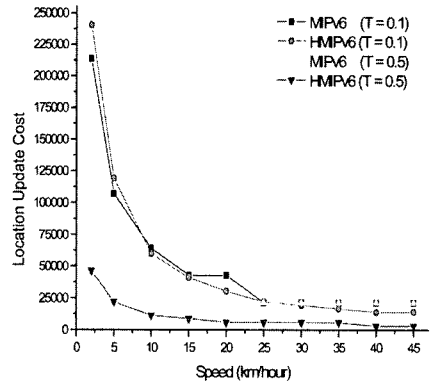
파라미터	의미	값
N	도메인 크기	64
S	서브넷 영역	10 Km ²
T	바인딩 라이프타임	0.3 hour
v	MN의 평균 이동 속도	10 Km/hour
S_{bu}	하나의 BU/BR/BAck 메시지에 의해 발생하는 시그널링 대역폭 소모량	68 byte
S_{μ}	패킷당 터널링에 의해 발생하는 시그널링 대역폭 소모량	40 byte

균 위치 등록 비용은 감소한다. 그러나, $v = 5$ km/hour 인 경우, MIPv6 하에서의 위치 등록 비용은 바인딩 라이프타임이 0.3~0.4 hour 사이의 값으로 설정되거나 또는 0.5 hour와 같거나 큰 값으로 설정될 경우, 위치 등록 비용이 변화없이 일정함을 알 수 있다. 이는 다음과 같이 설명될 수 있다. 전자의 경우는 MN이 추가적인 BR 메시지를 발생시키기 전에 인접 서브넷으로 이동하기 때문에 이 기간 중에 발생하는 BR 메시지의 수가 동일하게 유지되기 때문이며, 후자의 경우는 MN의 평균 서브넷 상주 시간이 0.5 hour보다 짧기 때문에, 따라서 서브넷에 상주하는 동안 BR 메시지가 전혀 발생하지 않기 때문이다. 그림 3(b)에서 보여지는 결과를 통하여 바인딩 라이프타임이 위치 등록 비용에 많은 영향을 미침을 알 수 있다.

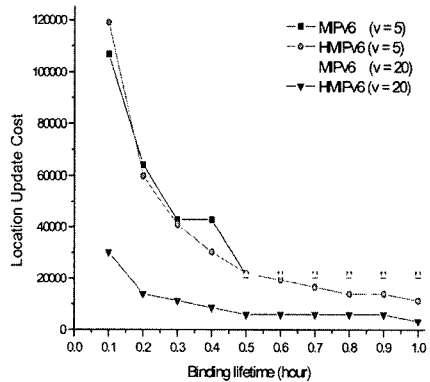
일반적으로, 바인딩 라이프타임이 작게 설정될수록 BR 비용은 증가하게 된다. 따라서, 바인딩 라이프타임이 작은 값으로 설정될수록 네트워크 상에서의 시그널링 부하는 더 증가하게 되고, 바인딩 라이프타임이 보다 큰 값으로 설정될수록 네트워크 상에서의 시그널링 부하는 감소하게 될 것이다. 그러나, 바인딩 라이프타임이 클수록 HA, MAP 과 CN에서의 바인딩 캐쉬 룩업(lookup) 시간에서의 증가와 이들의 메모리 자원에 대한 보다 많은 점유를 하게 될 것이다.

즉, 최적의 바인딩 라이프타임 주기에 대한 문제는 네트워크 상에서의 시그널링 부하와 각 네트워크 개체들에서의 바인딩 캐쉬 엔트리의 크기 문제 (즉, 메모리 문제) 및 바인딩 캐쉬 룩업 시간 사이의 trade-off 문제가 된다. 실제적으로는 바인딩 라이프타임의 주기에 대한 값은 RFC 3775 [2]에서 구체적으로 명시되어 있지 않으며, MIPv6 또는 HMIPv6의 구현 시에 명세화 되어야 한다. 따라서, MIPv6와 HMIPv6의 성능 비교시, 바인딩 라이프타임의 영향에 대한 보다 심도있는 연구가 뒤따라야 할 것이다.

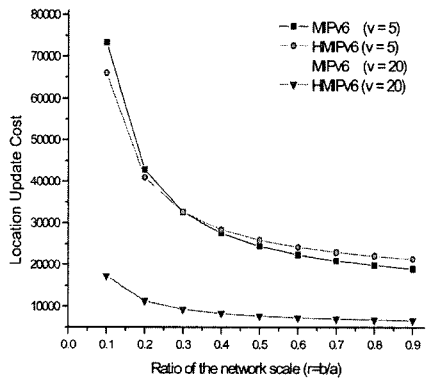
그림 3(c)는 MIPv6와 HMIPv6 하에서의 평균 위치 등록 비용에 대한 r 의 영향을 나타낸다. 네트워크 스케일을 변화시킴으로써, HA 또는 CN과 MN 사이의 거리에 따른 변화를 살펴볼 수 있다. 이미 3.2절에서 설명하였듯이, r 의 값이 크다는 것은 MN이 HA 또는 CN에 가깝게 위치하고 있음을 의미하며, r 의 값이 작다는 것은 MN이 HA 또는 CN으로부터 멀리 떨어져 위치하고 있음을 의미한다. 그림 3(c)에서 알 수 있듯이 HMIPv6 하에서의 시그널링 비용은 r 이 작아짐에 따라 MIPv6 하에서의 비용보다 더 적어짐을 알 수 있다. 그러나, $v = 5$ km/h의 경우 r 이 커짐에 따라 MIPv6 하에서의 시그널링 비용이 HMIPv6 하에서의 비용보다 약간 더 적



(a) v 에 따른 변화



(b) T 에 따른 변화



(c) r 에 따른 변화

그림 3 위치 등록 비용

어짐을 알 수 있다. v 가 작은 경우, 즉 MN이 도메인 영역 내에서 이동하는 평균 이동 속도가 작은 경우는 이동성에 의한 시그널링보다는 바인딩 라이프타임의 만료에 따른 주기적인 BR이 많아지게 되며, HMIPv6의 경우 MIPv6에 비하여 MAP에도 BR 메시지를 더 보내야 하기 때문에 이러한 경우는 오히려 MIPv6 하에서

보다 HMIPv6 하에서 상대적으로 더 많은 시그널링 비용이 발생하는 것이다. 또한, 이러한 현상은 r 이 커질수록, 즉 MN과 HA 또는 CN간의 거리가 가까워질수록 상대적으로 더욱 커지게 된다.

4.2 패킷 터널링 비용

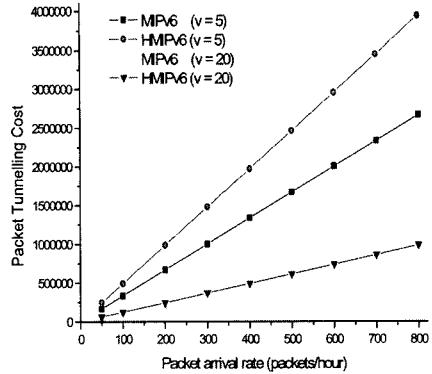
그림 4(a)는 MIPv6와 HMIPv6 하에서의 평균 패킷 터널링 비용에 대한 p 의 변화를 보인다. 그림 4(a)에서 보여지는 결과는 p 가 증가함에 따라 패킷 터널링 비용이 증가함을 나타낸다. 또한, 그림 4(a)는 시간당 동일한 패킷 도착율을 가질 때, 이동성이 작은 MN의 경우 이동성이 큰 MN에 비하여 패킷 터널링 비용에 있어 보다 크게 나타난다는 것을 나타낸다. 이는 이동성이 작은 MN의 평균 도메인 상주 시간이 상대적으로 이동성이 큰 MN의 상주 시간에 비하여 더 길기 때문이다. 또한, MIPv6와 HMIPv6간의 이러한 차이는 HMIPv6 하에서의 MAP에서 MN으로의 부가적인 패킷 터널링에 기인하는 것이다.

그림 4(b)는 평균 패킷 터널링 비용에 대한 q 의 영향을 나타낸다. 그림 4(b)는 q 가 증가함에 따라 패킷 터널링 비용이 감소함을 나타낸다. 이는 q 가 증가함에 따라, HA를 거쳐 MAP으로 전송되는 패킷의 수가 감소하기 때문이다. 한편, MIPv6와 HMIPv6간의 비용에서의 차이는 HMIPv6에서의 MAP과 AR 사이에서의 부가적인 패킷 터널링 비용 때문이며, 이는 패킷 도착율이 증가함에 따라 비례하여 증가한다.

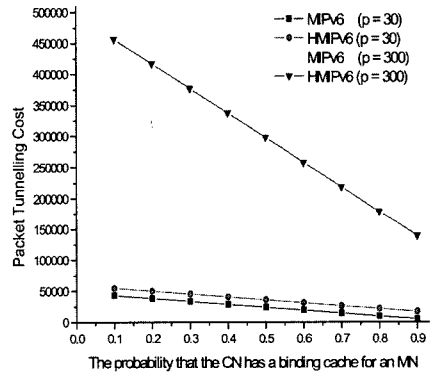
그림 4(c)는 평균 패킷 터널링 비용에 대한 r 의 영향을 나타낸다. 그림 4(b)와 4(c)에서, 패킷 도착율이 상대적으로 작을 때는 HMIPv6 하에서의 MAP과 AR 사이의 부가적인 패킷 터널링 비용이 상대적으로 무시될 수 있기 때문에 이들 두 프로토콜의 비용이 거의 비슷하게 나타난다. 하지만, 패킷 도착율이 커짐에 따라, 이들 두 프로토콜 간의 비용 차이는 점차 커지게 됨을 알 수 있다.

4.3 총 시그널링 비용

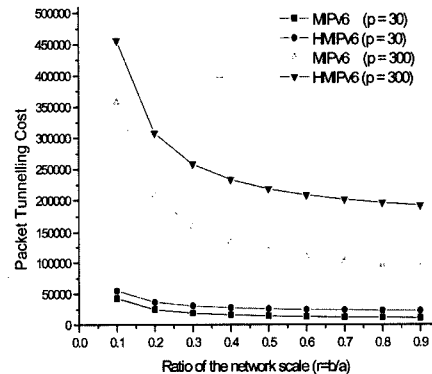
이 절에서는 표 2에서 주어진 네 개의 파라미터 셋 하에서 두 프로토콜간의 상대적인 총 시그널링 비용을 비교함으로써 MIPv6와 HMIPv6 하에서의 총 시그널링 비용의 변화를 분석한다. 본 분석은 v , p , T 의 값이 변함에 따라 MIPv6와 HMIPv6 하에서의 상대적인 총 시그널링 비용이 어떻게 변화하는지를 살펴보기 위하여 수행된다. 먼저 분석을 위하여, 우리는 HMIPv6의 상대적인 총 시그널링 비용을 MIPv6의 총 시그널링 비용에 대한 HMIPv6의 총 시그널링 비용으로서 정의한다. 따라서, 상대적인 총 시그널링 비용이 "1"이라는 것은 이들 두 프로토콜들의 총 시그널링 비용이 정확히 같다는 것을 의미하며, 총 시그널링 비용이 "1" 보다 작다는 것은 HMIPv6의 총 시그널링 비용이 MIPv6의 총 시그널링



(a) p 에 따른 변화



(b) q 에 따른 변화



(c) r 에 따른 변화

그림 4 패킷 터널링 비용

링 비용보다 작다는 것을 의미한다.

그림 5를 통하여 우리는 다음과 같은 사실들을 알 수 있다. v 가 감소함에 따라 MIPv6 하에서의 총 시그널링 비용이 HMIPv6에 비하여 상대적으로 더 작아지게 되고, 이러한 현상은 v 가 증가함에 따라 역전되어 HMIPv6 하에서의 총 시그널링 비용이 MIPv6에 비해

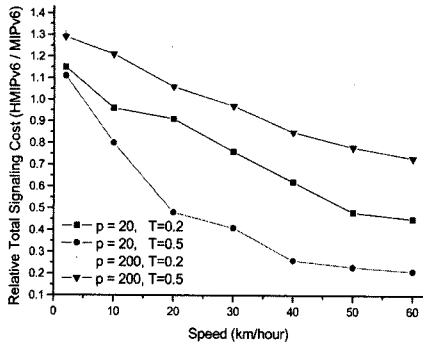


그림 5 상대적인 총 시그널링 비용 비교

여 상대적으로 더 작아지게 된다. 또한 동일한 v 하에서는 p 가 작아지거나 또는 T 가 큰 값으로 설정될수록 MIPv6에 비하여 상대적으로 HMIPv6의 총 시그널링 비용이 작아짐을 알 수 있다. 이미 앞서 언급하였듯이, HMIPv6는 MAP을 사용함으로써 백본 네트워크로 전송되는 BU 메시지의 수와 핸드오프 지연을 크게 감소시킬 수 있다. 하지만, MAP을 사용함으로써 MN은 HA나 CN에 보내야 하는 주기적인 BR 메시지 외에도 MAP에 부가적으로 BR 메시지를 더 보내야 한다. 또한, MAP은 MN을 향하여 날아오는 패킷들을 캡슐화(encapsulation)하고 이를 터널링을 통하여 MN에게 전송해야 한다. 즉, HMIPv6가 적용되었을 경우, 도메인 외부(즉, 백본 네트워크)에서의 총 시그널링 부하는 MIPv6보다 감소하게 되지만, 도메인 내부에서의 시그널링 부하의 측면을 고려해 본다면, 오히려 HMIPv6가 MIPv6보다 도메인 내부에서의 총 시그널링 부하가 증가하게 될 것이다. 또한, 이러한 현상은 MN이 도메인 내에 오랜 시간동안 상주하고 있거나(즉, v 가 매우 작을 때, 이동성이 매우 작을 때) 또는 통신을 많이 하고 있을 때(즉, p 가 매우 클 때) 더욱 두드러지게 된다. 이러한 결과는 HMIPv6에서의 MN과 MAP간의 부가적인 BR/Back 메시지 전송 비용과 MAP과 MN간의 패킷 터널링 비용이 각각 MN의 도메인 상주 시간과 패킷 도착율에 비례하여 증가하기 때문에 나타나는 것이다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 MIPv6와 HMIPv6의 성능 분석을 위한 새로운 분석적 접근 방법을 제안하였다. 먼저 이들 두 프로토콜 하에서의 시그널링 비용 함수를 유도하기 위하여, 사용자 이동성 모델과 네트워크 모델을 정의하였고, 이 두 모델을 기반으로 하여 MIPv6와 HMIPv6 하에서 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN으로부터 발생하는 위치 등록 비용, 패킷 터널링 비용 및 총 시그널

표 2 파라미터 셋

set	p	T
1	20	0.2 hour
2	20	0.5 hour
3	200	0.2 hour
4	200	0.5 hour

링 비용 함수를 각각 분석적으로 유도해 내었다. 또한, 이들 각 시그널링 비용 함수들에 대하여 여러 이동성 및 트래픽 관련된 파라미터들이 어떠한 영향을 미치는지에 대하여도 분석하였다. 본 논문에서 도출된 결과는 MN의 평균 도메인 상주 시간 동안에 MN의 평균 이동 속도가 빠를수록, 바인딩 라이프타임이 큰 값으로 설정될수록, 그리고 패킷 도착율이 적을수록 HMIPv6 하에서의 총 시그널링 비용은 MIPv6 하에서의 총 시그널링 비용보다 상대적으로 더 적어지게 되며, 이와 반대되는 상황 하에서는 MIPv6 하에서의 총 시그널링 비용이 HMIPv6 하에서의 총 시그널링 비용보다 상대적으로 더 적어지게 됨을 알 수 있었다.

향후 연구 과제는 다음과 같다. 첫 번째로, 본 논문에서 제시한 모델링 기법의 타당성을 입증하기 위하여 MIPv6와 HMIPv6 하에서의 시그널링 비용 분석을 위한 시뮬레이션을 수행할 것이다. 두 번째로, 본 논문에서 제시한 모델링 기법과 분석 결과들을 토대로 HMIPv6 네트워크 하에서 이동성과 트래픽 관련된 파라미터들의 변화에 따라 총 시그널링 비용을 줄이기 위하여 MN이 HMIPv6와 MIPv6를 적용적으로 선택하도록 하는 적응적 이동성 관리 기법 [13]을 제안하고 발전시키는 것이며, 세 번째로, 본 논문에서 제시한 모델링 기법을 FMIPv6나 F-HMIPv6와 같은 IPv6 이동성 관련 프로토콜에도 적용 가능하도록 확장시키는 것이다.

참고 문헌

- [1] C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4," RFC 3344, Aug. 2002.
- [2] D. Johnson and C. Perkins, "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, Jun. 2004.
- [3] H. Soliman, C. Castelluccia, K. Malki, L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)," draft-ietf-mipshop-hmipv6-03.txt, Oct. 2004.
- [4] C. Castelluccia, "HMIPv6: A Hierarchical Mobile IPv6 Proposal," ACM Mobile Computing and Communications Review, vol.4, no.1, pp. 48-59, Jan. 2000.
- [5] A. Campbell, J. Gomez, S. Kim, C. Wan, Z. Turanyi, and A. Valko, "Comparison of IP Micromobility Protocols," IEEE Pers. Commun, vol.9, pp. 72-82, Feb. 2002.

- [6] I. F. Akyildiz, et al., "Mobility Management in Next-Generation Wireless Systems," in Proc. of the IEEE, Aug. 1999.
- [7] J. Xie, and Ian F. Akildiz, "A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP," IEEE Trans. on Mobilecom, vol. 1, no. 3, Jul-Sept. 2002.
- [8] M. Woo, "Performance Analysis of Mobile IP Regional Registration," IEICE Trans. on Commun, vol.E86-B, no.2, pp. 472-478, Feb. 2003.
- [9] S. Pack and Y. Choi, "Performance Analysis of Hierarchical Mobile IPv6 in IP-based Cellular Networks," in Proc. PIMRC 2003, Sep. 2003.
- [10] F. Baumann and I. Niemegeers, "An Evaluation of Location Management Procedures," in Proc. UPC'94, pp. 359-364, Sept. 1994.
- [11] T. Ihara, H. Ohnishi, and Y. Takagi, "Mobile IP Route Optimization Method for a Carrier-Scale IP Network," in Proc. ICECCS 2000, pp. 11-14 Sept. 2000.
- [12] R. Ramjee, K. Varadhan, L. Salgarelli, S. Thuel, W. Yuan, T. Porta, "HAWAII: A Domain-Based Approach for Supporting Mobility in Wide-Area Wireless Networks," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 10, no. 3, pp. 396-410, Jun. 2002.
- [13] K. Kong, S. Roh, and C. Hwang, "History-Based Auxiliary Mobility Management Strategy for Hierarchical Mobile IPv6 Networks," IEICE Trans. Fundamentals (Special Issue on Multi-dimensional Mobile Information Networks), vol. E88-A, no. 7, pp. 1845-1858, Jul. 2005.



공 기 식

1999년 고려대학교 컴퓨터학과 졸업(학사). 2001년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사). 2001년~현재 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정, 고려대학교 컴퓨터정보통신연구소 연구원. 관심분야는 이동 컴퓨팅, 무선 네트워크,

이동성 관리, Mobile IP 등



송 문 배

1996년 군산대학교 이학사. 1998년 숭실대학교 이학 석사. 2005년 고려대학교 이학 박사. 2001년~현재 고려대학교 컴퓨터정보통신연구소 연구원. 관심분야는 이동 컴퓨팅, 이동객체 데이터베이스, 시공간 데이터 마이닝

황 중 선

정보과학회논문지 : 정보통신
제 32 권 제 2 호 참조