

# 계층간 이동성 지원 프로토콜들의 성능 분석

## (Performance Analysis of Mobility Support Protocol in Each Layer)

이 효 범 † 김 광 렬 † 황 승 희 † 민 성 기 ††

(Lee Hyo-Beom) (Kim Kwang-Ryoul) (Hwang Seung-Hee) (Min Sung-Gi)

**요 약** OSI 참조 모델에 따라 각 계층에 여러 개의 이동성 지원 프로토콜들이 제안 되어 왔다. 각 프로토콜이 작동하는 계층의 특징은 핸드오버 지연시간에 영향을 끼친다. 본 논문은 MN의 이동 패턴에 따른 각 계층에서 작동하는 대표적인 프로토콜들(MIPv6, mSCTP, SIP)의 핸드오버 성능을 비교 분석한다. 성능 분석을 위해 Markovian 모델에 기반한 서브넷 모델과 한 세션 동안 MN의 이동 모델을 사용하였다. 분석 결과 DAD도 핸드오버에 중요한 요인이지만 프로토콜간의 차이는 보안과 움직임 감지하기 위한 시간, 메시지의 처리 시간 등에 의해 유발됐음을 알 수 있었다.

**키워드** : MIPv6, SIP, mSCTP, 성능 분석

**Abstract** Several mobility supporting protocols have been proposed across OSI reference layers. Each protocol has similar or different characteristics based on its operating layer which affect a handover latency. In this paper, we analyze handover performance of most representative protocols in each layer. For analysis, we use SUBNET model based Markovian model and movement model. In result, difference of protocol handover latency is not occurred by DAD but also by security, movement detection, message processing time.

**Key words** : MIPv6, SIP, mSCTP, performance analysis

### 1. 서 론

IP에 기반한 무선 이동 네트워크에서 사용자는 다른 사용자 들과 통신을 하면서 서비스 지점을 바꿀 수 있다. 이 경우 새로운 위치에서 새로운 IP 주소를 할당 받아야 하기 때문에 통신은 끊어 지게 된다. 이 문제를 해결 하기 위해 사용자의 위치를 유지하고 데이터를 계속 전송할 수 있는 기술인 이동성 지원에 대한 많은 연구가 되어 왔다. 이 연구들은 OSI 참조 모델의 각 계층에 의해 분류 될 수 있다. 본 논문은 각 계층에서 가장 대표되는 이동성 지원 프로토콜의 성능을 분석할 것이다.

Mobile IPv6(MIPv6)[1]는 네트워크 계층에서 이동성을 관리하는 가장 잘 알려진 프로토콜이다. MIPv6는 두 개의 주소 HoA(Home-of Address)와 CoA(Care-of

Address)를 사용하여 이동성 문제를 해결 하였다. 기본적으로 HoA와 CoA의 변환을 통한 IP의 라우팅에 기반 하고 있고 HA(Home Agent)가 MN의 홈 네트워크에 존재하여 이 기능을 제공한다. HA를 통한 전송은 홈 네트워크에 병목현상을 야기 하고 HA가 다운되었을 경우 치명적이며 삼각 라우팅 문제점이 존재하기 때문에 경로 최적화(route optimization)를 수행하여 CN과 MN 이 직접 데이터를 주고 받을 수 있다.

SCTP[2]는 IP 네트워크에서 시그널링 메시지를 전송 하기 위해 제안된 전송 계층의 프로토콜이다. SCTP[1]는 양 단말이 여러 개의 IP 주소들을 바인드하고 여러 개의 경로들을 가질 수 있는 멀티호밍(multihoming) 기능을 제공하기 때문에 신뢰성 있는 전송을 할 수 있다. 멀티호밍 외에도 연결을 유지한 채로 사용되는 네트워크 계층의 주소를 바꿀 수 있기 때문에 이동성을 지원 해 준다. 또한 SCTP의 DAR(Dynamic Address Reconfiguration)[3] 확장은 연결이 유지된 채로 IP 주소들을 추가하고 지우거나 바꿀 수 있다. 이 DAR 확장을 가진 SCTP는 이동성 지원이 가능하기 때문에 mSCTP(mobile SCTP)라고 부른다. mSCTP는 아직 설계

† 비 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과  
embryo@hcl.korea.ac.kr  
biofrog@korea.ac.kr  
shwang@korea.ac.kr

†† 정 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수  
sgmin@korea.ac.kr

논문접수 : 2006년 3월 31일

심사완료 : 2007년 1월 16일

(draft) 단계이기 때문에 여러가지 적용 될 수 있는 방법을 분석하였다.

SIP(Session Initiation Protocol)[4]는 멀티미디어 세션을 시작하기 위해 사용되는 응용 계층의 프로토콜이다. 이 프로토콜은 기본적으로 터미널 이동성(terminal mobility), 개인 이동성(personal mobility), 세션 이동성(session mobility)을 지원한다. 이중 터미널 이동성은 상대방의 주소가 바뀔 때 마다 re-INVITE 메시지를 보낼 수 있다. 또한 SIP 레지스트러(registrar)가 MN의 위치를 저장하기 때문에 위치 관리도 지원해 준다. 하지만 SIP 자체는 시그널링만을 목적으로 디자인된 프로토콜이기 때문에 연결을 새로 만들기 위한 시간과 응용 계층의 특성상 부가적 지연시간이 필요하다.

본 논문은 서버넷과 이동 모델을 사용해서 이 세 프로토콜들의 한 세션 동안 전체 핸드오버 시간을 분석한다. 단일 핸드오버 시간을 분석하는 것 보다 이동 패턴을 포함한 분석 방법이 서로 다른 계층의 프로토콜을 비교하는데 더 유용할 것으로 고려된다. 3장에서는 사용된 분석 모델을 설명한다. 4장에서, SIP, mSCTP, MIPv6의 핸드오버 과정에 대해 설명하고 이에 따라 전체 핸드오버 시간을 수학적으로 분석한다. 5장과 6장에서는 분석 결과와 결론을 보여준다.

## 2. 관련 연구(Related Work)

지금까지 몇몇 핸드오버 연구들은 SIP, mSCTP, MIPv6 각각에 대해서만 평가하였다. 이 연구들은 분석 모델이나 시뮬레이션을 이용해 얻어진 것들이다. Chebbine, et al. [6]은 mSCTP를 위해 간단한 이종(heterogeneous) 네트워크를 제안하였지만, 그들의 연구는 분석 보다는 시뮬레이션에 의해 얻어졌다. 네트워크는 부하 경로(traffic path)들을 간단한 큐잉 모델을 사용하여 모델링 하였다. 각 경로들을 지나는 패킷들의 지연시간을 평가하여 mSCTP의 성능을 연구하였다.

SIP의 핸드오버 지연시간은 Banerjee, et al [6]에 의해 연구 되었다. Gateway, CSCF, MN, CN 같은 네트워크 요소들은 큐잉 이론을 사용하여 모델링 되었다. 때문에 MN부터 CN까지 온 각 요소에서의 체제 시간(sojourn delay)들과 전송 시간의 합이다. 하지만 MN의 이동 빈도를 고려하지 않는 단일 핸드오버 지연시간만 계산하였기 때문에 사용자가 느끼는 서비스의 수준을 고려한 성능은 알기 어렵다.

Lee, et al [7]은 MIPv6의 핸드오버 지연시간을 각 핸드오버 구성요소로 나누어 분석하였다. 또한 실험환경을 구축하여 실험하고 분석결과와 동일함을 나타내었다. 핸드오버는 이동을 감지하는 시간, 주소를 설정하는 시간, BU(Binding Update)를 보내는 시간으로 구성하고

각 시간에 영향을 끼치는 요인들을 수식으로 보여준다. 하지만 서버넷이 바뀔 때의 핸드오버 시간만을 계산하여 MN의 이동 패턴과 서버넷의 크기와 모양등을 고려하지 않았다.

Aoyama, et al. [8]는 MPLS를 이용한 Mobile Ethernet, VLAN 태그(tag)를 이용한 Mobile Ethernet, MIPv6를 비교 하였다. 이들은 마코비언(Markovian) 모델에 기반한 분석적 네트워크 모델을 도입하였다. 이 네트워크 모델에서, 핸드오버 지연시간과 비용은 각 프로토콜에 의해 사용된 위치 갱신(location update) 프레임으로 계산 되었다.

Chebbine, et al. [5-8]의 논문들은 세션의 존재를 고려하지 않았다. 세션이 존재함으로써 MN의 이동 패턴이 핸드오버에 미치는 영향이 축적되어 보여질 수 있다. 또한 어떤 논문도 한가지 분석 방법으로 다양한 계층의 이동성 지원 프로토콜의 성능을 분석하지 않았다.

## 3. 분석 모델(Analysis Model)

### 3.1 세션 모델(Session Model)

실시간 어플리케이션의 경우, 사용자가 느끼는 서비스의 품질이 단일 핸드오버 지연시간에 크게 좌우 되지만, 스트리밍 혹은 파일 전송 서비스의 경우에는 세션 동안 축적된 전체 핸드오버 지연시간을 고려해야 한다. 즉, 단일 핸드오버 뿐만 아니라 MN의 움직이는 패턴에 따른 전체 핸드오버 지연시간도 프로토콜의 성능을 평가하는 기준이 되어야 한다. 이 장에서는 Lin [9]에서 사용된 세션 모델을 이용하여 한 세션 동안 MN이 K개의 AP 혹은 서버넷을 움직일 확률을 계산한다.

그림 1은 MN이 세션들에 무관하게 움직일 때, 한 세션 동안의 시간 그래프를 보여준다.  $t_{st}$ 는 한 세션이 유지되는 시간을 의미 하는 확률 변수(random variable)이고 지수 분포(exponential distribution)를 갖는다.  $t_{APi}$ 는 MN이 i번째 AP에 이동한 후 그 AP에 머문 시간의 확률 변수이고 확률 밀도 함수(probability density function)  $f_{AP}(t)$ 는 General 분포를 갖는다. MN이  $t_{st}$  동안 K개의 AP를 움직일 확률은 두 가지의 경우로 나누어서 계산된다.

$K = 0$  일 때,

$$MP_{AP}^{st}(K) = \Pr[t_{st} \leq t_m] = 1 - \frac{1 - L_{AP}(f_{AP})(\lambda_{st})}{\rho_{AP}}$$

$K \geq 1$  일 때,

$$\begin{aligned} MP_{AP}^{st}(K) &= \Pr[t_m + t_{AP1} + \dots + t_{APK-1} < t_{st} \leq t_m + \dots + t_{APK}] \\ &= \Pr[t_{st} > t_m] \left( \prod_{i=1}^{K-1} \Pr[t_{st,i} > t_{APi}] \right) \Pr[t_{st,K} \leq t_{APK}] \\ &= \frac{E[t_{st}]}{E[t_{AP}]} (1 - L_{AP}(f_{AP})(\lambda_{st}))^2 (L_{AP}(f_{AP})(\lambda_{st}))^{K-1} \quad (1) \end{aligned}$$

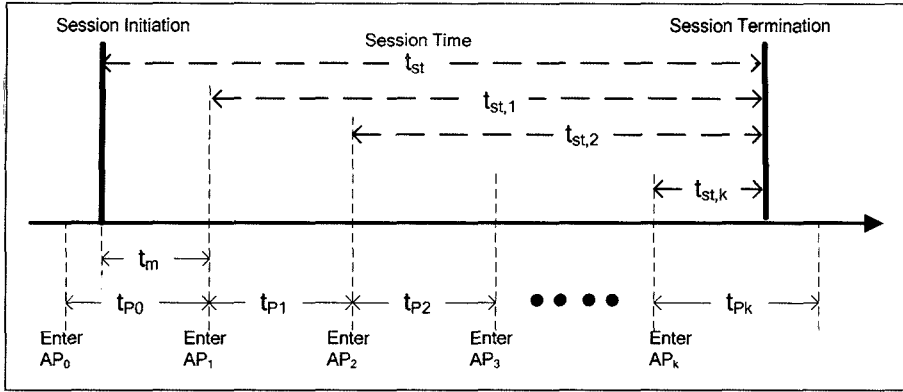


그림 1 한 세션 동안 MN의 이동

$(L_{AP}(f_{AP})(\lambda_{st}))$ 는  $t_{APi}$ 의 라플라스 변환(Laplace Transform)이다,  $E[t_{AP}]$ 와  $E[t_{st}]$ 는 각각 평균 AP 거주 시간과 평균 세션의 길이를 의미한다.)

유사한 방법으로,  $t_{st}$  동안 K개의 서브넷을 움직일 확률( $MP_{SUB}^{st}(K)$ )은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$MP_{SUB}^{st}(K) = \begin{cases} 1 - \frac{E[t_{st}]}{E[t_{sub}]} \left(1 - L_{SUB}(f_{SUB}) \left(\frac{1}{E[t_{st}]} \right)\right) & , K = 0 \\ \frac{E[t_{st}]}{E[t_{sub}]} \left(1 - L_{SUB}(f_{SUB}) \left(\frac{1}{E[t_{st}]} \right)\right)^{K-1} \left(L_{SUB}(f_{SUB}) \left(\frac{1}{E[t_{st}]} \right)\right)^{K-1} & , K \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

( $E[t_{SUB}]$ 는 평균 서브넷 거주 시간을 의미한다.)

AP 거주 시간의 분포( $f_{AP}(t)$ )를 알 수 있다면,  $E[t_{AP}]$ 와 특정 서브넷 모델을 가정하여  $f_{AP}(t)$ 를 따르는 MN의  $E[t_{SUB}]$ 를 계산해 낼 수 있다. 일반적으로 MN의 AP 거주 시간은 감마 분포를 따른다[9]. 본 논문에서도 AP 거주 시간의 분포를 평균  $1/\lambda_{AP}$  ( $= E[t_{AP}]$ )와 편차  $v$ 를 갖는 감마 분포로 정의한다. 이 감마 분포의 라플라스 변환은 다음처럼 표현된다.

$$L_{AP}(f_{AP})(a) = \left( \frac{\gamma \lambda_{AP}}{\gamma \lambda_{AP} + a} \right)^\gamma, \text{ where } \gamma = \frac{1}{v \lambda_{AP}^2}. \quad (3)$$

**3.2 서브넷 모델(Subnet Model)**

서브넷 모델은 같은 크기와 모양을 같은 AP의 영역(area)으로 구성되어 있다고 가정한다. 우리는 서브넷 거주 시간의 밀도 함수를 계산하기 위해 이차원 랜덤 워크 모델(random walk model)을 사용한다. MN은 1/4의 확률을 가지고 이웃한 네 개의 영역 중 하나로 이동한다. 가장 안쪽의 영역은 레이어-0(Layer 0)로 정의하고 이 영역들은 레이어-1에 속한 영역들에 의해 둘러싸여 있다. 레이어-1에 속한 영역들도 역시 레이어-2에 속한 영역들에 의해 둘러싸여 있다. 만약 서브넷이 n개의 레이어를 갖는다면, 전체 AP 영역의 개수는

$N = 4n^2 - 4n + 1, n \geq 0$ 이다. 서브넷을 벗어나는 것을 의미하기 위해 n 개의 레이어들로 구성된 서브넷은 바깥쪽에 바깥 영역(outside neighbor)이 존재한다.

서브넷안에 존재하는 모든 영역은 동일(homogeneous)하기 때문에, MN의 이동패턴이 같은 영역들이 존재한다. 이 영역들은 하나의 그룹으로 나타내고 레이어와 가장 안쪽의 영역과의 거리를 고려하여 구분될 수 있다. 각 그룹은  $\langle x, y \rangle$ 로 표현되고 x는 이 영역의 레이어를, y는 레이어-x의 y번째 그룹이라는 의미이다. 예를 들어, 첫 번째 줄, 첫 번째 열에 위치한 영역은 마지막 줄, 마지막 열에 위치한 영역과 같은 그룹에 속한다. 그림 2(a)는 3개의 레이어로 구성된 서브넷에서 AP 영역의 그룹을 보여준다.

각 그룹은 상태 다이어그램(state diagram)에서 상태로 나타낸다. 예를 들어, 상태  $(x, y)$ 는 MN이 그룹  $\langle x, y \rangle$ 에 속한 영역 중 하나에 있음을 의미한다. 바깥 영역의 상태  $(n, j)$ 는 MN이 마지막으로 있었던 상태가  $(n-1, j-1)$ 임을 의미한다. 그림 2(b)는 3개의 레이어로 구성된 서브넷의 상태 다이어그램을 보여준다. 표 1은 이 상태 다이어그램에 대한 변환 행렬(transition matrix)을 보여준다. 각 칸은 정확히 한 번의 움직임으로 상태  $(x, y)$ 에서 상태  $(x', y')$ 로 이동할 확률을 나타낸다. 만약 표 1을 NxN 행렬  $P^1$ 으로, 각 칸을  $P^1_{(x,y)(x',y')}$ 으로 나타낸다면, K번 이동 후 상태  $(x, y)$ 에서 상태  $(x', y')$ 로 움직일 확률,  $P^K_{(x,y)(x',y')}$ ,은 Chapman-Kolmogorov 방정식에 의해 행렬  $P^1$ 을 K번 곱한 결과에서 볼 수 있다. 또한 정확히 K번 움직인 뒤 상태  $(x, y)$ 에서 상태  $(x', y')$ 로 이동할 확률,  $P_{K,(x,y)(x',y')}$ ,는 다음처럼 정의 된다.

$$P_{K,(x,y)(x',y')} = \begin{cases} P^1_{(x,y)(x',y')} & \text{for } K = 1 \\ P^K_{(x,y)(x',y')} - P^{K-1}_{(x,y)(x',y')} & \text{for } K > 1 \end{cases}$$

표 1 Transition matrix Of Random Walk

	(0,0)	(1,0)	(1,1)	(2,0)	(2,1)	(2,2)	(3,1)	(3,2)	(3,3)
(0,0)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
(1,0)	0	0	0.5	0	0.5	0	0	0	0
(1,1)	0.25	0.5	0	0	0	0.25	0	0	0
(2,0)	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0	0
(2,1)	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0
(2,2)	0	0	0.25	0	0.5	0	0	0	0.25
(3,1)	0	0	0	0	0	0	1	0	0
(3,2)	0	0	0	0	0	0	0	1	0
(3,3)	0	0	0	0	0	0	0	0	1

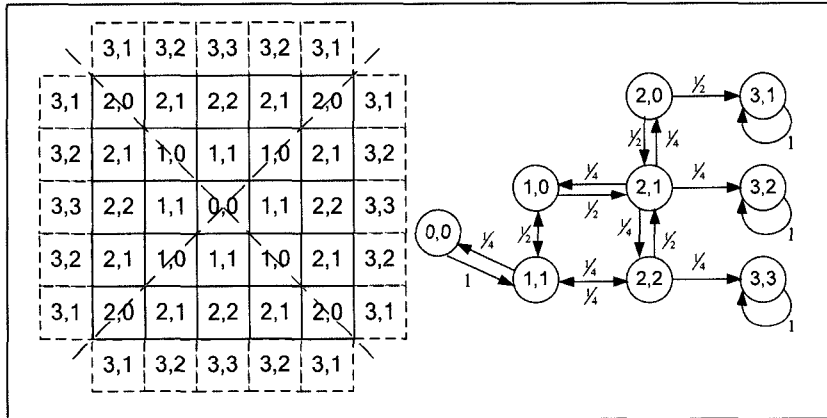


그림 2 상태 다이어그램과 3개의 레이어로 구성된 서브넷

상태  $(n,j)$ 가 바깥 영역의 상태일 때,  $P_{K,(x,y)(n,j)}$ 는 정확히  $K-1$  번째 이동에서 MN은  $\langle n-1,j-1 \rangle$  그룹에 속한 AP 영역으로 이동했고  $K$  번째 이동에 서브넷의 바깥으로 이동했음을 의미한다.

$q_{(n,j)}$ 는 MN이  $n+1$  개의 layer를 가진 서브넷으로 이동했을 때, 가장 처음 방문한 영역의 그룹이  $\langle n,j \rangle$ 일 확률을 의미한다.  $q_{(n,j)}$ 는 다음처럼 정의 된다.

$$q_{(n,j)} = \begin{cases} 2/(2n+1) & \text{for } 0 \leq j < n \\ 1/(2n+1) & \text{for } j = n \end{cases} \quad (4)$$

예를 들어 서브넷이 3개의 layer로 구성되어 있을 때, 이 서브넷에 들어올 수 있는 전체 바깥 영역의 개수는 20개 이고 그 중  $\langle 2,0 \rangle$ 으로 이동할 수 있는 것은 8개 이다. 즉, 그룹  $\langle 2,0 \rangle$ 을 통해 MN이 서브넷으로 이동해 들어 왔을 확률은 40%가 된다. 유사하게 그룹  $\langle 2,1 \rangle$ 과  $\langle 2,2 \rangle$ 에 대해 계산하여 각각  $q_{(2,1)} = 40\%$ ,  $q_{(2,2)} = 20\%$ 의 확률을 가짐을 알 수 있다.

$t_{SUB}^K$ 는 MN이 어떤 서브넷에서  $K$  번의 AP를 이동하는데 걸린 시간을 의미하는 확률 변수 이다.  $t_{SUB}^K$  시간

동안, MN은  $i$  번째 AP에서  $t_{APi}$ 만큼 머물게 된다. 즉,  $t_{SUB}^K = t_{AP1} + t_{AP2} + \dots + t_{APK}$ 의 방정식이 성립한다.  $t_{SUB}^K$ 의 확률 밀도 함수가  $f_{SUB}^K(t)$ 라고 할 때, 라플라스 변환은 다음과 같다. (Laplace convolution theorem)

$$L_{t_{SUB}}^K(f_{SUB}^K)(a) = L_{t_{AP1}}(f_{AP})(a) \times \dots \times L_{t_{APK}}(f_{AP})(a) \quad (5)$$

이 때, 모든  $i$ 에 대해  $L_{t_{APi}}(f_{AP})(a)$ 는  $\int_0^\infty e^{-st} f_{AP}(t) dt$ 로 같은 값을 가지므로, 식 (5)는 다음처럼 나타낼 수 있다.

$$L_{t_{SUB}}^K(f_{SUB}^K)(a) = (L_{t_{AP}}(f_{AP})(a))^K \quad (6)$$

마지막으로,  $t_{SUB}$ 는 MN이 서브넷에  $(n,i)$ 를 통해 들어와  $(n+1,j)$ 를 거쳐 나갈 때까지 걸린 시간을 의미하는 확률 변수이고 라플라스 변환은 다음과 같다.

$$L_{t_{SUB}}(f_{SUB})(a) = \sum_K \sum_y^n \sum_{j=1}^{n+1} q_{(n,y)} P_{K,(n,y)(n+1,j)} L_{t_{SUB}}^K(f_{SUB}^K)(a) \quad (7)$$

우리가 알고자 하는 평균 서브넷 거주 시간,  $E[t_{SUB}]$ , 은 식 (7)을  $a$ 에 대하여 미분하고 0을 대입하여 얻어질 수 있다.

$$E[t_{SUB}] = \sum_K \sum_y^n \sum_{j=1}^{n+1} q_{(n,y)} P_{K,(n,y)(n+1,j)} \left( -k(L_{L_{AP}}(f_{AP})(0))^{k-1} \frac{dL_{L_{AP}}(f_{AP})(a)}{da} \Big|_{a=0} \right) \quad (8)$$

4. 각 핸드오버 메커니즘의 분석(Analysis of handover mechanisms)

$MP_{AP}^{st}(K)$  와  $MP_{SUB}^{st}(K)$  를 이용해 세 개의 핸드오버 프로토콜들의 전체 핸드오버 시간을 측정해 볼 것이다. 이를 위해, 다음의 파라미터들을 정의한다.

Symbol	Description
$x$	AP scanning 지연시간
$\theta$	Link switching 지연시간
$\rho$	DAD
$t_I$	MN과 NAR(새로운 AR) 사이의 패킷 전송 시간
$t_H$	MN과 HA 사이의 패킷 전송 시간
$t_L$	HA를 거친 MN과 CN 사이의 패킷 전송 시간
$t_N$	MN과 CN 사이의 패킷 전송 시간
$T_{CIP}$	전송 계층 보다 위에 존재하는 계층에서 IP의 변화를 감지하는데 걸린 시간

4.1 MIPv6

MN이 CN과 연결을 유지하면서 다른 영역으로 이동할 때, 링크 계층(L2) 핸드오버 과정 후 네트워크 계층(L3) 핸드오버 과정이 순차적으로 수행된다. L2 핸드오버는 스캐닝(scanning), 인증(authentication), 재 관계(re-association)로 이루어져 있기 때문에, L2 핸드오버 지연시간은 스캐닝을 위해  $x$  시간과 인증과 재 관계 과정을 위한  $\theta$  시간이 걸린다. 일반적으로 L2 핸드오버 지연시간은 200~500ms가 걸린다[10,11].

L2 핸드오버 후에, MIPv6는 NAR(New Access Router)을 찾았을 때 L3 핸드오버를 수행한다. 이 과정

에 소비되는 시간을 줄이기 위해, MN은 L2 핸드오버가 끝나자마자 RS(Router Solicitation)을 보낸다고 가정한다. RS에 의해 NAR은 RA(Router Advertisement)를 보내고, MIPv6는 RA를 받은 후 핸드오버를 수행해야 함을 알게 된다. 이 RA에는 새로운 네트워크 프리픽스(network prefix)가 포함되어 있기 때문에, MIPv6는 새로운 CoA를 만들고 DAD(Duplicate Address Detection)과정을 통해 CoA의 중복을 검사한다. DAD에 1초가 소모되기 때문에 핸드오버 지연시간에 주요한 요소이다. CoA가 중복되지 않았다면, MIPv6는 CoA를 HA에 BU 메시지를 사용하여 등록한다. 만약 CN들과 세션이 있다면, 이 CN들 안에 있는 바인딩 정보를 갱신해야 한다. 이 때, CN에 보내는 BU를 보호(secure)하기 위해, RR(Return Routability)가 BU 메시지를 보내지기 전에 수행된다. RR 과정 동안 MN과 CN 사이에 BU 메시지에 사용될 인증키를 만들게 된다. RR 동안 MN은 CN과 직접 COTI(Care-of Test Init)와 COT(Care-of Test) 메시지를 교환하고 HA를 통해 HOTI(Home-of Test Init)와 HOT(Home-of Test)를 교환한다[1].

MIPv6에서 전체 핸드오버 지연시간( $HL_{MIPv6}$ )는 다음처럼 계산된다.

$$HL_{MIPv6} = \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^{st}(K) \cdot (x + \theta) + \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^{st}(K) \cdot (2t_I + \rho + 2t_H + \max\{2t_L, 2t_N\} + 2t_N)$$

첫 번째 항은 평균 L2 핸드오버 지연시간이고 두 번째 항은 평균 L3 핸드오버 지연시간을 의미한다.

$\max\{2t_L, 2t_N\}$ 는 RR 과정 중 HOTI/HOT와 COTI/COT 모두 수행 되어야 BU 메시지를 보낼 수 있음을 의미한다.

4.2 Session Initiation Protocol(SIP)

SIP는 응용 계층의 프로토콜이기 때문에, 네트워크 스택(network stack)의 변화없이 새로운 CoA의 획득을 없이 즉시 발견하는 것은 쉽지 않다. 본 논문은 SIP가 CoA의 변화를 찾기 위해 폴링(polling)에 의존하여 주

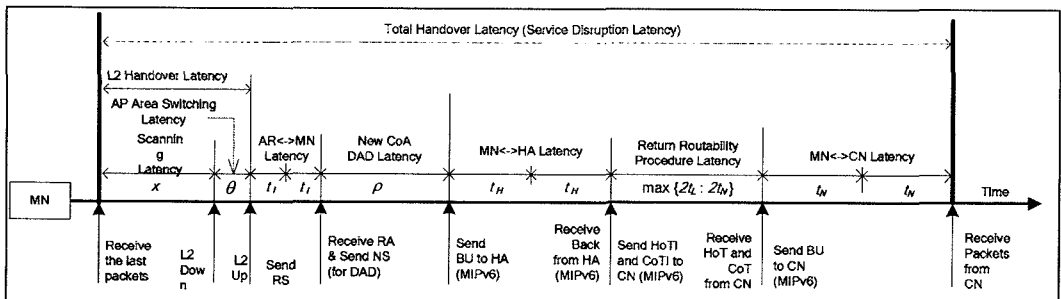


그림 3 MIPv6의 단일 핸드오버 과정

기적으로 CoA를 검사한다고 가정한다. 때문에, MN이 다른 네트워크로 움직일 때, SIP는 새로운 CoA를 얻기 위한 시간뿐만 아니라 얻어진 CoA를 찾는 폴링 시간이 존재한다. 그림 4에서  $T_{CIP}$ 는 이 폴링 간격을 나타낸다. 새로운 CoA가 찾아진 후, SIP는 홈 네트워크에 있는 레지스트리에 등록해야 하고 CN에 re-INVITE 메시지를 보내야 한다.

응용 계층의 특성상 SIP 메시지는 커널이 메시지를 커널 공간에서 유저 공간으로 복사하거나 혹은 반대로 유저 공간에서 커널 공간으로 복사하는 시간이 존재한다. 또한 SIP 메시지는 text-syntax를 기반으로 하기 때문에, 메시지 처리에 시간이 걸린다. 우리는 이 시간들을 모두 합쳐 체재 시간이라고 부르며, 이 시간의 분석을 위해 MN에서는 M/M/1 큐잉 모델을 CN에서는 M/M/m 큐잉 모델을 사용 하였다[6]. MN의 큐안에 평균 메시지의 개수는 다음과 같다.

$$E[N_{MN}] = \frac{\lambda_{MN}}{\mu_{MN} - \lambda_{MN}}$$

( $\lambda_{MN}$ 은 MN에서 SIP 메시지의 도착 비율이고,  $\mu_{MN}$ 은 MN의 SIP 메시지 처리 비율을 의미한다.)

CN의 큐안에 평균 메시지의 개수는 다음과 같다.

$$E[N_{CN}] = m\rho_{CN} + \rho_{CN} \frac{(m\rho_{CN})^m}{m!} \frac{\pi_0}{(1-\rho_{CN})^2}$$

$\pi_0$ 의 값은  $\left[ \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(m\rho_{CN})^k}{k!} + \frac{(m\rho_{CN})^m}{m!} \frac{1}{1-\rho_{CN}} \right]^{-1}$  이고 m은 SIP 메시지를 처리하는 CN의 프로세스의 개수이다.  $\lambda_{CN}$ 은 CN의 SIP 메시지 도착 비율이고,  $\mu_{CN}$ 은 CN의 SIP 메시지 처리 비율일 때,  $\rho_{CN} = \frac{\lambda_{CN}}{\mu_{CN}}$  이다.

Little's Formula를 사용하여, MN과 SIP의 체재 시간

은 다음과 같다.

$$E[R_{MH}] = \frac{1}{\mu_{MH} - \lambda_{MH}}, \quad E[R_{CN}] = \frac{E[N_{CN}]}{\lambda_{CN}}$$

전체 핸드오버 지연시간( $HL_{SIP}$ )은 다음과 같다.

$$HL_{SIP} = \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^K(K) \cdot (x + \theta) + \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^K(K) \cdot (2t_I + \rho) + \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^K(K) (2t_N + T_{CIP} + 2 \cdot E[R_{MN}] + 2 \cdot E[R_{CN}])$$

첫 항은 L2 핸드오버 지연시간이고 두 번째 항은 L3 핸드오버 지연시간이며 세 번째 항은 체재 시간이 계산된 L5 (SIP) 핸드오버 지연시간이다.

### 4.3 mSCTP

mSCTP 프로토콜은 서로 다른 네트워크에 연결된 여러 개의 인터페이스를 지원할 수 있지만, 본 논문에서 MN은 하나의 인터페이스만 가지고 있다고 가정한다. mSCTP는 본래 소프트 핸드오버(soft handover)를 위해 디자인 되어있기 때문에 하드 핸드오버(hard handover)시에는 단점이 존재한다. mSCTP는 새로 얻은 CoA를 CN에 등록하기 위해 CN의 바인딩 리스트(binding list) 안에 존재하지 않는 주소를 사용할 수 없다. 즉, 하드 핸드오버 시에, mSCTP는 새로 얻은 CoA를 사용하여 CN과 메시지를 교환해야 하나 CN의 바인딩 리스트 안에 이 주소가 없으므로 CoA 등록에 문제가 생긴다. 이전 CoA를 사용하여 CN에 등록을 시도 하더라도 인그레스 필터링(ingress filtering)등의 문제가 발생할 수 있고 CN에 의한 응답은 새로운 CoA가 아니라 등록을 위해 사용된 CoA로 보내지는 문제점이 존재한다.

mSCTP가 새로운 CoA를 인식하면, mSCTP는 "ADD IP Address" 파라미터를 가진 ASCONF(Address Configuration Change chunk)를 CN에 보내고 CN은 ASCONF-ACK chunk로 응답한다. MIPv6와

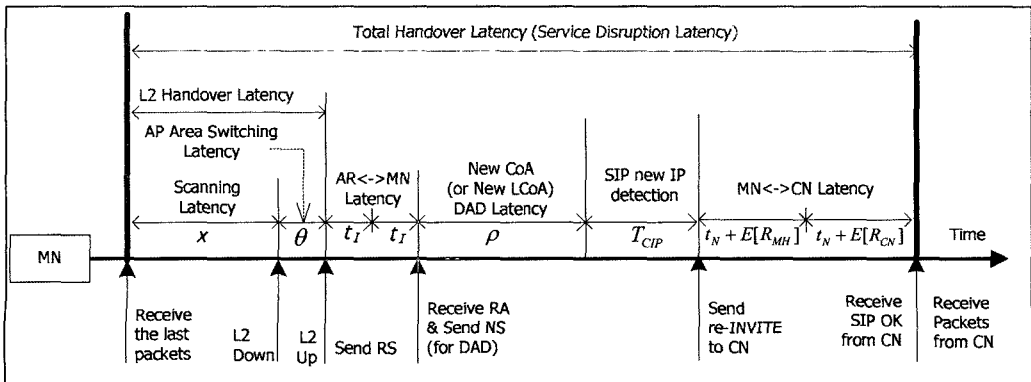


그림 4 SIP의 단일 핸드오버 과정

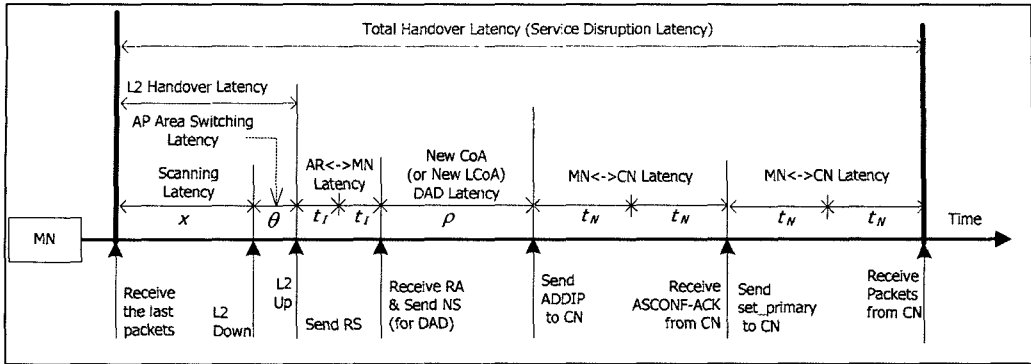


그림 5 mSCTP의 핸드오버 과정

는 다르게, mSCTP는 어드레스의 사용과 등록을 구분하여 놓았다. 등록된 어드레스를 사용하기 위해서, 이 어드레스를 주 어드레스(primary address)로 설정해야 한다. mSCTP는 주 어드레스를 설정하는 세가지 방법을 제안하고 있다[12].:

- 1) 새로운 CoA가 찾아지는 순간
- 2) 밑 계층에서 알려주는 정보를 사용하여
- 3) 윗 계층에서 알려주었을 때.

어떤 경우를 사용하든지 바뀌어진 주 어드레스로 특

정 시간 동안( $\sum_i^{Path, Max, Retrans} 2^i * RTO$ ) 통신할 수 없다면, mSCTP는 두 번째 주소를 사용하여 통신한다. 하드 핸드오버 시에 이전의 CoA는 사용할 수 없기 때문에, 첫 번째 법칙을 사용하여 주 어드레스를 설정한다.

구현에 따라 네트워크 계층이 새로운 CoA를 획득했을 때 이를 mSCTP에 알려 주거나(L3 트리거: L3 Triggering) mSCTP가 주기적으로 이를 확인해야 한다. 후자의 경우 SIP 처럼 새로운 CoA를 발견하는데 시간( $T_{CIP}$ )이 걸린다. 이 때, 전체 핸드오버 지연시간 ( $HL_{mSCTP}$ )은

$$HL_{mSCTP} = \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^{st}(K) \cdot (x + \theta) + \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^{st}(K) \cdot (2t_l + \rho + T_{CIP} + 4t_N)$$

로 계산된다. L3 Triggering을 사용할 때의 mSCTP의 전체 핸드오버 지연시간 ( $HL_{mSCTP+L3trigger}$ )은

$$HL_{mSCTP+L3trigger} = \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^{st}(K) \cdot (x + \theta) + \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^{st}(K) \cdot (2t_l + \rho + 4t_N)$$

이다.

mSCTP는 여러 개의 chunk를 한 개의 패킷 안에 넣을 수 있기 때문에 CoA를 등록하기 위해 사용되는 chunk와 주 어드레스를 설정하기 위해 사용되는 chunk를 하나의 패킷을 사용하여 수행될 수 있다. 혹은 새로운 CoA의 선등록(pre-registration)이 핸드오버 전에 수행될 수도 있기 때문에[12], mSCTP의 전체 핸드오버 지연시간( $HL_{mSCTP+bundle+L3trigger}$ )은 다음과 같이 줄어들 수 있다.

$$HL_{mSCTP+L3trigger} = \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^{st}(K) \cdot (x + \theta) + \sum_{K=0}^{\infty} K \cdot MP_{AP}^{st}(K) \cdot (2t_l + \rho + 2t_N)$$

모든 방정식에서, 첫 번째 항은 L2 핸드오버 지연시간을 의미하고 두 번째 항은 L4 핸드오버 지연시간을 의미한다.

### 5. 분석 결과

결과는 MATLAB 6.5를 사용하였고 다음의 파라미터들이 가정 된다.

$t_l = 6$  msec,  $t_N = 56$  msec,  $t_H = 71$  msec,  $x = 300$  msec,  $\theta = 30$  msec,  $t_L = 96$  msec,  $\rho = 1$  sec,  $T_{CIP} = 0.5$  sec,  $\lambda_{MN} = 10$  pkt/sec,  $\mu_{MN} = 50$  pkt/sec,  $\lambda_{CN} = 90$  pkt/sec,  $\mu_{CN} = 100$  pkt/sec,  $m = 2$ ,  $\lambda_{AP} = 0.033$ ,  $n = 2$ (서브넷 크기),  $E[t_M] = 330$  sec. 몇몇 파라미터는 변화에 따른 결과를 보여주기 위해 변량으로 선택된다.

그림 6은 각 프로토콜이 새로운 IP 찾는 데 걸린 시간이 전체 핸드오버 지연시간에 끼친 영향을 보여준다. MIPv6와 mSCTP + L3triggering은 IP를 찾는 데 걸리는 시간이 없으므로 전체 핸드오버 지연시간은 SIP와 mSCTP의 보다 적은 시간이 걸린다. SIP의 체제 시간

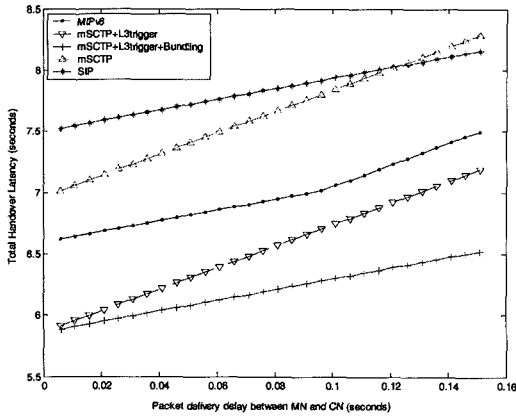


그림 6 MN과 CN사이의 거리 vs 전체 핸드오버 지연 시간

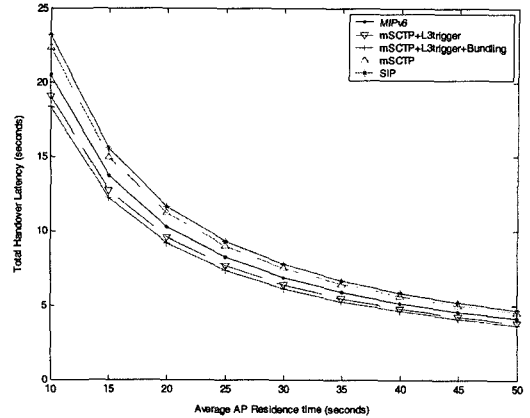


그림 7 평균 AP 거주 시간 vs 전체 핸드오버 지연시간

또한 전체 핸드오버 지연시간에 영향을 끼친다. SIP가 mSCTP보다 한 개 적은 패킷 교환을 가짐에도 전체 핸드오버 지연시간은  $t_N$ 이 0.12 초가 될 때까지 mSCTP보다 더 많이 걸리는 이유는 체제 시간 때문이다.

세 프로토콜의 전체 핸드오버 지연시간에 영향을 끼치는 또 다른 요소들은 패킷 교환 횟수와 MN과 CN 사이의 패킷 전송 지연시간이다. SIP는 단지 한 개의 패킷만을 교환 하기 때문에, 전체 핸드오버 시간의 기울기는 다른 프로토콜의 반이다. MIPv6의 경우 0.096 초가 될 때까지  $t_N$ 은 전체 핸드오버 시간에 큰 영향을 끼치지 않는다. 일반적으로  $t_L$ 이  $t_N$ 보다 큰 값을 가진다고 가정했기 때문이다. mSCTP+bundling+L3Triggering은 RR과 HA 등록 과정이 필요 없고 이동 감지 시간도 없기 때문에 가장 짧은 핸드오버 시간을 갖게 된다.

그림 7은  $E[t_{AP}]$ 과 전체 핸드오버 지연시간의 관계를 나타낸다. 세 프로토콜 모두  $E[t_{AP}]$ 가 커질수록 전체 핸드오버 지연시간은 기하급수적으로(exponentially) 줄어드는 것을 볼 수 있다.  $E[t_{AP}]$ 가 30초 일 때, 식 (2)로부터 평균 서브넷 이동 횟수는 2.2 번이며 IP를 감지 (IP detection time) 하는데 걸린 시간은 1.1 초이다. 그림 8에서 이 시간에 의한 mSCTP+L3trigger과 mSCTP 사이 차이를 볼 수 있다.

그림 8은 서브넷의 크기에 따른 전체 핸드오버 지연시간의 변화를 보여준다. 전체 핸드오버 지연시간은 서브넷의 크기에 따라 기하급수적으로 낮아져 프로토콜간의 차이가 줄어들기 때문에, 서브넷이 커질수록 프로토콜보다는 L2 핸드오버 시간이 더 중요한 요인이 된다.

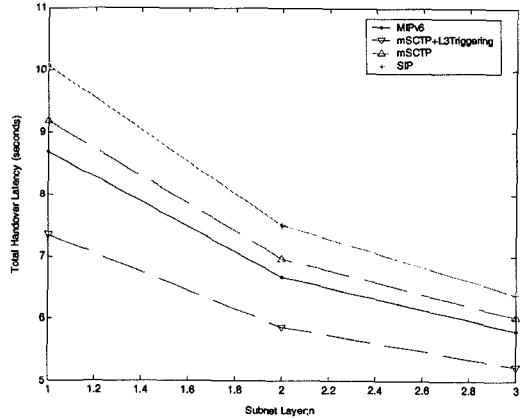


그림 8 서브넷의 크기 vs 전체 핸드오버 지연시간

## 6. 결론

Lin의 세션 모델을 사용하여 AP 거주 시간의 분포를 알고 세션 모델이 주어졌을 때 SIP, mSCTP, MIPv6의 한 세션 동안 전체 핸드오버 지연시간을 분석했다. 분석 결과는 SIP와 기본 mSCTP는 한 세션동안 핸드오버하는데 더 많은 시간을 소비하는 것을 보여줬다. 원인은 전송 계층과 응용 계층은 이동을 감지하는데 네트워크 계층보다 더 어렵기 때문이다. 하지만 MIPv6가 L2 triggering을 사용하여 움직임을 감지하는 시간을 줄인 것처럼, mSCTP나 SIP도 네트워크 계층에 L3 triggering을 도입으로써 이동 감지 시간을 줄일 수 있다. 특히 mSCTP는 L3 triggering와 bundling을 함께 함으로써 핸드오버에 사용되는 메시지의 개수를 줄일 수 있고 SIP와 달리 체제 시간이 존재하지 않는다.

MIPv6는 BU전에 CN과 MN 사이에 인증을 위해 RR 절차를 수행해야만 한다. MIPv6는 IP에 기반함으



로 비연결지향(connectionless) 성질을 피할 수 없기 때문이다. 그러나 mSCTP와 SIP는 셋업 과정에만 인증을 하고 그들의 프로토콜 디자인상 연결지향(connection-oriented) 이고 보안성을 포함하고 있다. mSCTP와 SIP는 세션 동안 BU당 인증을 위한 키 생성등을 필요로 하지 않으므로 시간을 절약 할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," IETF RFC 3775, Jun. 2004.
- [2] R. Stewart, Q. Xie et al, "Stream Control Transmission Protocol," IETF RFC 2960, Oct. 2000.
- [3] R. Stewart, M. Ramalho et al, "Stream Control Transmission Protocol (SCTP) Dynamic Address Reconfiguration," draft-ietf-tsvwg-addip-sctp-13.txt, Internet draft (work in progress), Nov. 2005.
- [4] J.Rosenberg, H. Schulzrinne et al, "Session Initiation Protocol," IETF RFC 2543, Jun. 2002.
- [5] S. Chebbine, M.T Chebbine, A. Obaid, R. Johnston, "Framework Architecture and Mathematical Optimization of Vertical handover Decision on 4G Networks using mSCTP," IEEE Inetnational Conference, Vol.2, pp.235-241, 2005.
- [6] N. Banerjee, W. Wu, K. Basu, S.K Das, "Analysis of SIP-based mobility management in 4G wireless networks," Computer Communications, Vol.27, No.8, pp.697-707, 2004.
- [7] J.S Lee, S.J Koh, S.H Kim, "Analysis of handoff delay for Mobile IPv6," Vehicular Technology Conference, Vol.4, pp.26-29, 2004.
- [8] T. Aoyama, K. Ishibashi, M.Kuroda, T. Watanabe, "Handover Latency Analysis on Mobile Ethernet," Wireless Communications and Networking Conference, Vol.3, pp.1389-1394, March. 2005.
- [9] Y.B Lin, "Reducing Location Update Cost in a PCS Network," IEEE/ACM Transactions, Vol.5, No.1, pp.25-33, Feb. 1997.
- [10] S.H Hwang, Y.H Han, S.G Min, "Performance Analysis of IPv6 Mobility Support Protocols over IEE 802.11 Network."
- [11] 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, No.2, pp.93-102, 2003.
- [12] S.J Koh, "Mobile SCTP (mSCTP) for IP Handover Support," draft-sjkoh-msctp-01, Internet draft (work in progress), Oct.2005.



이 효 범

2004년 고려대학교 컴퓨터학과 학사. 2006년 고려대학교 컴퓨터학과 석사. 2006년~현재 고려대학교 컴퓨터학과 박사 과정 재학중. 관심분야는 성능분석, 이동성 지원, IPv6



김 광 렬

1994년 경북대학교 전자공학과 학사. 1996년 경북대학교 전자공학과 석사. 1996년~2000년 LG 정보통신 중앙연구소 주임연구원. 2000년~2005년 LG 전자 시스템 연구소 책임 연구원. 2005년~현재 LG-Nortel R&D Center 책임 연구원 2002년~현재 고려대학교 컴퓨터학과 박사 과정 재학 중 관심분야는 QoS 제공, 성능분석, 이동성지원

황 승 희

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 34 권 제 1 호 참조



민 성 기

1988년 고려대학교 컴퓨터학과 학사. 1989년 런던대학교 석사. 1994년 런던대학교 박사. 1994년~2000년 LG 정보통신 중앙연구소 책임연구원. 2001년~현재 고려대학교 컴퓨터학과 부교수. 관심분야는 분산 시스템, 고속통신, 무선 통신