

# 순차적 터널링을 이용한 중첩된 이동 네트워크에서의 경로 최적화

(Route Optimization in Nested Mobile Network using  
Sequential Tunneling)

송정욱<sup>\*</sup> 한선영<sup>\*\*</sup>

(Jungwook Song) (Sunyoung Han)

**요약** 어디서나 접속이 가능한 무선네트워크는 더 이상 미래의 이야기가 아니다. 이미 우리 주변에는 이동 중에 네트워크에 접속할 수 있는 많은 장치들이 있다. 인터넷 프로토콜은 단말의 이동성뿐만 아니라 네트워크의 이동성까지도 지원하도록 확장되고 있다. 그러나 이동 단말과 이동 네트워크들이 중첩되면서 패킷의 전송 경로가 매우 복잡해지는 문제점이 있다. 중첩된 이동 네트워크 환경에서 이동 라우터는 네트워크를 빠져 나가는 패킷에 대해, 대응 단말은 이동 네트워크로 보내는 패킷에 대해 순차적으로 터널링을 하여 직접적인 경로를 형성할 수 있다. 본 논문에서는 순차적인 터널링을 수행하게 함으로써 중첩된 이동 네트워크에서 최적의 경로로 패킷을 전송할 수 있도록 하는 방법을 제시한다. 제시된 방법은 수식과 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가 하였다.

키워드 : 네트워크 이동성, 이동 네트워크, 경로 최적화

**Abstract** It is not future story that host mobility in wireless network. We already have many devices which can access network among moving our locations. Internet protocol is extended to support not only host mobility but also network mobility. But nesting mobile networks and mobile hosts, there is a problem that routing path of packet becomes complex. By sequential tunneling on outgoing packet at mobile router and toward mobile network at correspondent node, it can be setting up direct path in nested mobile network environment. In this paper, we propose a method for delivering packet through optimized path by sequential tunneling. And evaluate this method by equations and simulations.

**Key words** : Network Mobility, NEMO, and Route Optimization

## 1. 서론

충분한 IP 주소가 확보되는 IPv6 망에서는 기존의 컴퓨터 시스템뿐만 아니라, 노트북, PDA, 휴대전화, 심지어는 가전제품까지도 인터넷에 연결이 될 것이다[1]. 기존의 Mobile IP는 하나의 단말이 이동하는 것을 지원하기 위해 만들어진 것이어서[2], 네트워크가 구성된 여러 대의 단말이 동시에 이동하는 것을 지원하기에는 부족한 점이 많다. 이를 보완하기 위해 IETF(Internet En-

gineering Task Force) nemo WG(Working Group)은 네트워크 전체의 이동성(network mobility)에 초점을 맞추어 MIPv6를 확장하기 위한 연구를 진행하고 있다[3].

이동 네트워크에서는 단순히 하나의 네트워크가 이동할 수도 있지만, 여러 개의 이동 네트워크와 이동 호스트가 동시에 이동하면서 중첩될 수도 있다. 중첩된 이동 네트워크에 네트워크 이동성 지원 프로토콜[3]을 적용할 경우 중첩의 단계가 깊어질수록 이동 네트워크 내부의 단말(MNN, Mobile Network Node)에서 외부의 대응 단말(CN, Correspondent Node)까지의 경로가 매우 복잡해지는 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 중첩된 이동 네트워크에서의 경로 최적화를 위한 방법을 제시하고자 한다. 경로 최적화는 네트워크 이동성 지원에 있어 중요한 연구 과제이다[4-6]. 이후 2장에서는 이동 네트워크에 대한 개요, 3장에서는

· 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2001-000-00349-0(2003)) 지원으로 수행되었음

\* 비회원 : 건국대학교 컴퓨터공학과  
swoogi@cclab.konkuk.ac.kr

\*\* 종신회원 : 건국대학교 컴퓨터정보통신학과 교수  
(corresponding author)  
syhan@cclab.konkuk.ac.kr

논문접수 : 2003년 12월 17일

심사완료 : 2004년 10월 28일

순차적 터널링 방법, 4장에서는 성능 평가 결과를 살펴 보고, 5장 결론과 향후 과제로 논문을 마친다.

**2. 이동 네트워크 개요**

Mobile IP는 네트워크에 연결된 단말이 다른 네트워크로 이동하더라도 전송(transport) 계층 또는 그 상위 계층의 연결을 유지시켜주는 것을 목적으로 한다. 이동 단말의 위치 정보 갱신(Binding Update)에 의해 홈 에이전트의 바인딩 캐시(Binding Cache)는 이동 단말의 현재 위치를 유지하고 있으며, 경로 최적화(Route Optimization)을 위해 대응 단말 역시 바인딩 캐시를 가지고 있을 수 있다[2]. 이동 네트워크는 이동 라우터(MR, Mobile Router)가 이동의 단위가 되며, 고정 단말, 이동 단말, 다른 이동 네트워크를 서브넷으로 포함할 수 있다.

기존의 Mobile IP에서는 바인딩 캐시에서 단말에 대한 새로운 위치를 1:1로 연결하기 때문에, Mobile IP를 아무런 수정 없이 이동 네트워크에 적용할 경우 대응 단말에서 이동 라우터까지는 데이터를 전달할 수 있지만, 이동 라우터에서 하위 단말에 데이터를 전달하는 경로를 알 수 없다. 이를 지원하기 위해 MIPv6의 바인딩 캐시와 위치 정보 갱신 메시지를 확장하여 바인딩 캐시가 이동 네트워크의 prefix(NEMO prefix)를 가질 수 있도록 했다. 이것이 IETF nemo WG에서 제안한 네트워크 이동성 지원 프로토콜이다[3].

**2.1 이동 네트워크의 중첩**

이동 네트워크와 이동 단말이 중첩 되었을 경우에도 네트워크 이동성 지원 프로토콜을 적용할 수 있다. 그림 1은 중첩된 이동 네트워크를 보여준다.

이동 라우터인 MR1, MR2 그리고 이동 단말인 VMN이 각각 MR1이 새로운 위치로 이동하여 AR을

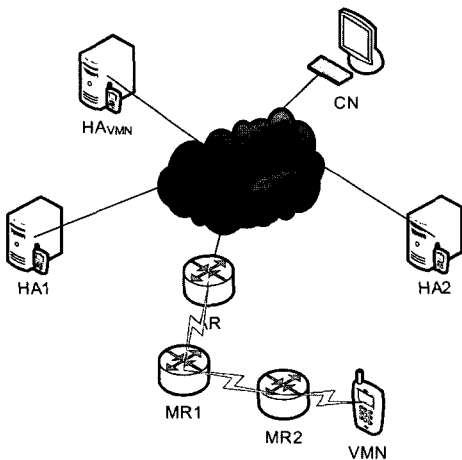


그림 1 중첩된 이동 네트워크

통해 네트워크에 연결되고, MR1의 서브넷으로 MR2가 이동해 중첩된 이동 네트워크를 형성하고, 다시 VMN이 MR2의 서브넷으로 이동해 중첩의 깊이를 더하고 있음을 보여준다. 각 단계에서 이동 라우터, 이동 단말은 자신의 홈 에이전트로 위치 정보 갱신 메시지를 보내어 자신의 새로운 위치를 알린다.

**2.2 중첩된 이동 네트워크의 Pinball Routing**

IETF에서 제안된 네트워크 이동성 지원 프로토콜에서는 이동 라우터와 홈 에이전트 사이에 양방향 터널을 통해 패킷을 전송한다. 이동 네트워크가 중첩이 되면 중첩의 깊이만큼 양방향 터널의 수가 증가하므로 패킷의 전달 경로가 매우 복잡해진다. 그림 2는 중첩된 이동 네트워크 환경에서 이동 네트워크 내부의 단말과 대응 단말 사이에 패킷의 전달 경로를 보여준다.

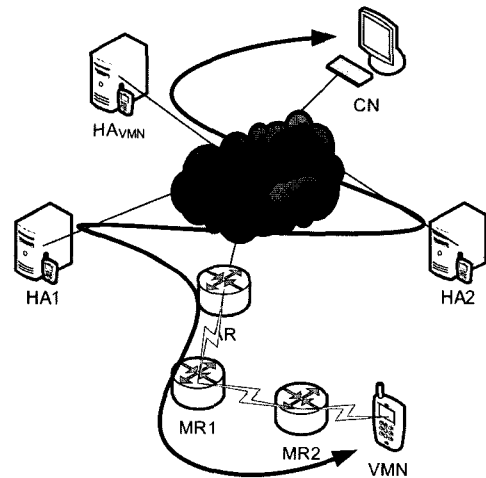


그림 2 Pinball Routing

이동 단말 VMN이 자신의 위치 정보를 갱신하면 VMN의 홈 에이전트인 HA\_VMN을 거치지 않고 패킷을 주고 받을 수 있지만, 여전히 이동 라우터 MR1, MR2의 홈 에이전트인 HA\_MR1, HA\_MR2를 모두 거쳐서 패킷이 전달 된다. 중첩된 이동 네트워크에서 이동 라우터의 홈 에이전트들을 모두 거쳐서 패킷이 전송 되는 것을 pinball routing이라고 한다. 중첩의 깊이가 깊어질수록 패킷의 전달 경로가 복잡해 지고, 전달 지연이 더욱 많이 발생하고, 오류의 가능성이 더욱 커진다.

**3. 순차적 터널링 방법**

본 논문에서 제안하는 순차적 터널링방법은 IETF nemo WG의 네트워크 이동성 지원 프로토콜과 마찬가지로, 이동 라우터에서 패킷 전송할 때 터널링을 통하여 전송한다[7,8]. 하지만, 터널의 반대쪽 종료 지점이 홈

에이전트가 아니라, 대응 단말이다. 이때 대응 단말은 이동 네트워크의 서버넷에 있는 단말의 통신 상대방이다. 대응 단말은 전달 패킷의 목적지 주소로 구분 되므로 경우에 따라 이동 라우터의 홈 에이전트가 될 수도 있다.

**3.1 위치 정보 갱신 방법의 변경**

이동 라우터가 자신의 홈 에이전트에 새로운 위치 정보를 알리는 것과 더불어, 대응 단말에도 위치 정보를 보내어, 대응 단말이 이동 네트워크로 직접 패킷을 보낼 수 있도록 한다.

그림 3은 대응 단말인 CN이 이동 네트워크 내부의 LH로 먼저 통신을 시작하는 과정을 보여준다.

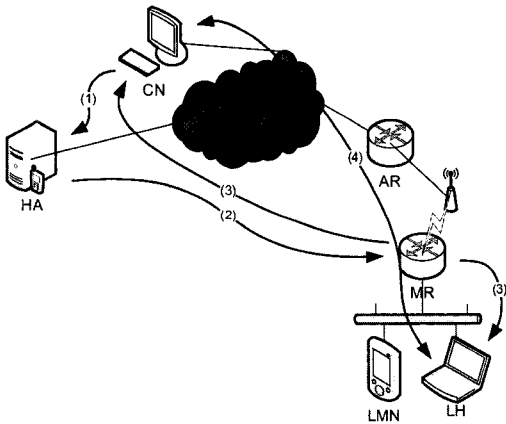


그림 3 이동 라우터의 위치 정보 갱신

(1) CN이 LH로 보낸 패킷은 라우팅 경로를 따라 이동 라우터 MR의 홈 에이전트 HA로 전달되고, (2) HA와 MR사이의 터널을 통해 MR로 전달이 된다. (3) MR은 터널을 해제하고 LH로 원래의 패킷을 전달하는 동시에, CN으로 이동 네트워크의 위치 정보 갱신 메시지를 전달한다. (4) 이후에는 HA를 거치지 않고 MR과 CN 사이에 직접적인 터널을 통해 패킷을 주고 받을 수 있다.

**3.2 이동 네트워크 Binding Cache의 추가**

MIPv6에서 홈 에이전트와 대응 단말은 이동 단말이 보내어 오는 위치 정보를 저장하기 위해 바인딩 캐시를 가지고 있다. 이를 확장하여 이동 라우터의 위치 정보를 유지하기 위해 이동 네트워크 바인딩 캐시를 추가 하여, 이동 라우터들이 보내어 오는 위치 정보를 유지하도록 한다. 이동 라우터의 위치 정보 갱신 메시지를 통해 구축된 이동 네트워크 바인딩 캐시는 최종 목적지 이동 네트워크 주소로 가지고 있고, 최종 목적지 이동 네트워크로 가기 위한 경로를 모두 가지고 있다. 이를 이용하여 대응 단말은 중첩된 이동 네트워크라 할지라도 이동

라우터의 홈 에이전트를 거치지 않고 직접적인 터널을 설정할 수 있다. 또한, 이동 라우터의 홈 에이전트도 다음 단계의 홈 에이전트를 거치지 않고 최종 목적지 이동 네트워크로 직접적인 터널을 설정할 수 있다.

**3.3 이동 라우터에서 터널링**

순차적 터널링 방법에서는 이동 라우터는 패킷을 자신의 홈 에이전트로 터널링하여 보내던 것을 변경하여 대응 단말로 직접 터널링을 한다. 위치 정보 갱신 메시지의 발송 여부를 대응 단말 테이블을 두어 판별한다. 대응 단말 테이블은 이동 라우터가 새로운 위치로 이동하면 초기화 하여야 한다. 중첩된 이동 네트워크 각 단계의 이동 라우터를 빠져 나갈 때 마다 대응 단말로 터널링이 이루어진다. 이동 네트워크 내부에서 보내어진 패킷은 이동 라우터에서 종류를 따지지 않고 서버넷 단말로 단순화 하여 취급한다. 즉, 이동 네트워크를 빠져 나가는 패킷에 대해 모두 같은 방법을 적용하면 된다.

**3.4 대응 단말에서 터널링**

대응 단말은 이동 라우터가 보내어 온 위치 정보 갱신 메시지를 바탕으로 이동 네트워크 바인딩 캐시를 생성 유지한다. 대응 단말은 바인딩 캐시 정보와 이동 네트워크 바인딩 캐시 정보를 적절히 이용하여 이동 라우터로 직접적인 터널을 형성하여 이동 네트워크 내부의 단말에 패킷을 전송할 수 있다.

그림 4는 그림 2의 VMN이 HA<sub>VMN</sub>으로 위치 정보 갱신 메시지를 보내는 과정에 (a) 각 이동 라우터에서 터널이 형성되는 패킷의 모습, (b) HA<sub>VMN</sub>에서의 바인딩 캐시, (c) HA<sub>VMN</sub>에서의 이동 네트워크 바인딩 캐시, (d) 이동 네트워크의 대응 단말인 HA<sub>VMN</sub>이 VMN으로 순차적 터널을 형성하는 모습을 보여준다.

(a) VMN은 자신의 CoA(Care of Address)를 알리기 위해 위치 정보 갱신 메시지를 HA<sub>VMN</sub>으로 보내면, 이 패킷을 전달 받은 MR2는 HA<sub>VMN</sub>으로 터널링을 하면서 이동 라우터의 위치 정보 갱신 메시지를 함께 보낸다. MR2와 마찬가지로 MR1도 HA<sub>VMN</sub>으로 터널링과 동시에 자신의 위치 정보 갱신 메시지를 함께 보낸다. HA<sub>VMN</sub>으로 도달한 패킷은 순서대로 터널이 해제되고 처리된다. (b) VMN으로부터 보내어진 위치 정보 갱신 메시지를 이용하여 바인딩 캐시 정보를 갱신한다. (c) MR1, MR2로부터 보내어진 위치 정보 갱신 메시지를 이용하여 이동 네트워크 바인딩 캐시 정보를 갱신한다. (d) 대응 단말에서는 바인딩 캐시와 이동 네트워크 바인딩 캐시를 이용하여 순차적으로 터널링 패킷을 생성하여 보내면 MR1, MR2를 거쳐 VMN으로 직접 전달할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 순차적 터널링 방법에서는 이동 라우터는 자신의 서버넷에 있는 단말은 이동 라우터

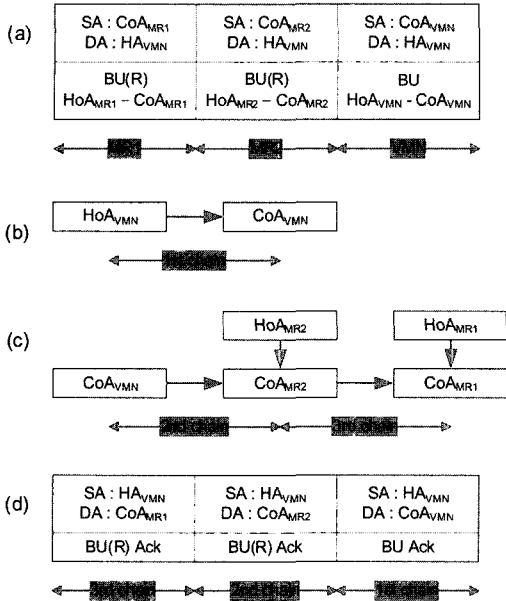


그림 4 순차적 터널링 방법

혹은 이동 단말이라 하더라도 단순화 하여 일반적인 단 말로 취급이 된다.

4. 성능 평가 및 결과

본 논문은 이동 네트워크 환경을 전제로 하고 있기 때문에 성능 평가를 위해서 이동 네트워크 환경을 갖추어야만 한다. 그러나, 현실상 이동 네트워크 환경을 만들 수가 없기 때문에 수식과 시뮬레이션을 통하여 성능 평가를 하였다. 그림 5는 성능 평가를 하기 위해 가상으로 설정한 중첩된 이동 네트워크의 모습이다.

(a)는 IETF nemo WG의 네트워크 이동성 지원 프로토콜의 경로이며, (b)는 본 논문에서 제안하는 순차적

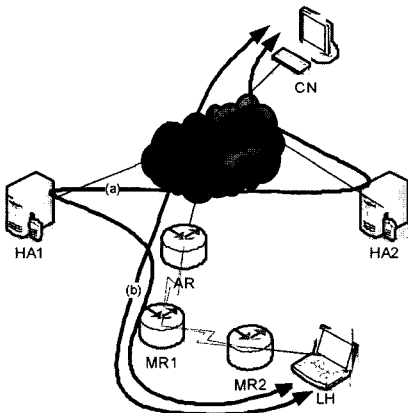


그림 5 성능 평가 모델

터널링 방법으로 형성된 경로이다.

4.1 수식을 통한 평가

그림 5와 같은 이동 네트워크 환경에서 중첩의 깊이를  $x$ 라고 했을 때 각 중요 단말(CN, HA1, HA2, MR1, MR2) 사이에 패킷이 전달 회수를  $y$ 라고 하면, (a)의 경우에

$$y = 2(x+1)$$

이고, (b)의 경우에

$$y = x+1$$

이다. 그림 5와 같이 이동 네트워크 아래에 1단계의 이동 네트워크가 중첩 되었을 경우를 중첩의 깊이를 1로 하였고, MR2와 LH 사이는 전달 회수에서 제외 하였다.

본 논문에서 제안된 순차적 터널링 방법을 이용하면 전달 횟수를 1/2으로 줄일 수 있다. 각각의 단말 사이에 평균적인 전달 시간을 같다고 보면, 전달 시간이 1/2로 줄어들 것이다.

4.2 시뮬레이션을 통한 성능 평가

네트워크 시뮬레이션에 주로 사용되는 시뮬레이션 환경인 OMNeT++[9]을 이용하여 그림 5에서 (a), (b) 각각의 경로로 통신을 하는 경우에 RTT(Round Trip Time)를 측정하였다. 각 링크의 지연시간은 10ms이다. 터널링, 터널 해제, 각 메시지 처리 등등의 모듈에서 처리시간은 2ms으로 하였다. 그림 5에서 cloud는 IPv6 네트워크 망을 표시하고, 지연 시간은 100ms에서 200ms 사이의 값을 패킷이 지날 때 마다 임의 선택하도록 하였다. 임의 선택한 값이 정규 분포를 따르도록 해서 결과에 영향을 미치지 않도록 하였다.

시뮬레이션 결과는 표 1과 같다. 평균 RTT값이 본 논문에서 제안된 순차적 터널링 방법의 경우에 약 2.75 배 작게 나타난다.

표 1 시뮬레이션 결과

	NEMO Basic Support	Sequential Tunneling
Average RTT	1.0675 sec	0.387857 sec
Minimum RTT	0.809 sec	0.288 sec
Maximum RTT	1.323 sec	0.488 sec
Standard Deviation	0.0713395	0.0412314

그림 6은 시뮬레이션에서 얻어진 결과를 히스토그램(histogram)으로 나타낸 것이다. (a)경로의 결과가 위쪽 그래프이며, (b)경로의 결과가 아래쪽 그래프이다. 결과에서 나타나듯이 경로가 최적화 되었을 때 평균 RTT 값이 낮게 형성되어 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 순차적 터널링 방법을 통해 중첩된 이

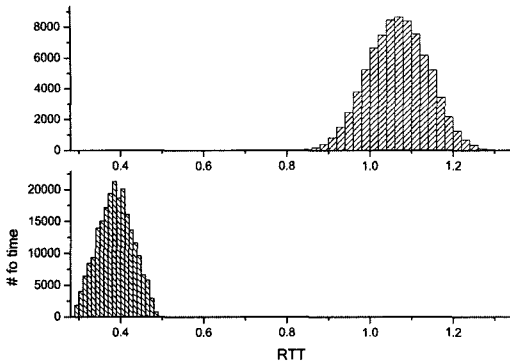


그림 6 RTT 히스토그램

동 네트워크에서 경로 최적화를 할 수 있는 방법을 제안 하였다. 수식과 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과 IETF nemo WG에서 제안된 방법보다 더 나은 성능을 기대할 수 있었다.

5.1 순차적 터널링 방법의 장단점

이동 네트워크에서 경로 최적화 방법에는 터널링을 이용하는 방법 이외에 최 상단의 라우터로부터 네트워크 프리픽스를 위임 받아서(prefix delegation) 이동 네트워크에 속한 모든 단말이 새로운 CoA를 할당 받아서 MIPv6 형태의 경로 최적화 방법이 있다[6].

터널링을 이용하는 경로 최적화에서는 각 이동라우터의 홈 에이전트를 경유하지 않는 직접적인 경로의 설정 여부와 설정되는 터널의 개수가 성능의 척도가 될 수 있다. 순차적 터널링 방법은 IETF의 기본 프로토콜과 같은 개수의 터널을 설정하면서도 각 이동라우터의 홈 에이전트를 경유하지 않는 직접적인 경로 설정이 가능하다. 또한 타 경로최적화 방법[4]에 비하여 터널의 개수가 적다. IETF의 기본 프로토콜에서는 홈 에이전트와 이동 라우터만 확장하면 되지만, 순차적 터널링 방법은 대응 단말의 확장이 반드시 필요하다.

프리픽스 위임에 의한 경로 최적화 방법[6]은 MIPv6를 확장하여 곧바로 적용할 수 있다는 장점이 있는 반면에 구현이 복잡하다는 단점이 있다. 프리픽스 위임을 구현하기 위해서는 ICMPv6, MIPv6를 모두 확장 하여야만 하고 이것이 이동 네트워크에 속한 모든 단말에 적용이 되어야 한다. 가장 큰 문제점은 네트워크의 이동이 더 이상 간편하게 다루어 지지 않는다는 점에 있다.

5.2 향후 과제

본 논문에서 제안된 방법은 IETF nemo WG에서 제안된 방법과 마찬가지로 이동 네트워크 중첩의 깊이가 깊어질수록 형성 되어야 하는 터널의 개수는 증가한다. 터널의 개수가 증가하면 할수록 전달 되는 패킷의 크기가 계속 커지게 된다. 이에 따라 네트워크의 효율이 떨어질 수 있으며, 터널을 형성하던 도중 패킷의 크기가

MTU를 초과하여 올바로 전달하지 못할 가능성도 생긴다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 MIPv6와 비슷한 라우팅 옵션 헤더를 사용하여 최적화된 경로를 형성하는 방법을 더 연구할 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] S. Deering, R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," Internet RFC2460, 1998.
- [2] D. Johnson, C. Perkins, Jari Arkko, "Mobility Support in IPv6," IETF Draft, 2003.
- [3] Vijay Devarapalli, Ryuji Wakikawa, Alexandru Petrescu, Pascal Thubert, "Nemo Basic Support Protocol," IETF Draft, 2003.
- [4] Haynsik Kang, Keecheon Kim, Sunyoung Han, Kyeong-Jin Lee, Jung-Soo Park, "Route Optimization for Mobile Network by Using Bi-directional Between Home Agent and Top Level Mobile Router," Internet Draft, 2003.
- [5] 조호식, 백은경, 최양희, "재귀적인 위치 정보 갱신을 통한 중첩된 이동 네트워크에서의 경로 최적화," 정보과학회 춘계학술대회, 2003.
- [6] Kyeong-Jin Lee, Jae-Hoon Jeong, Jung-Soo Park, Hyoung-Jun Kim, "Route Optimization for Mobile Nodes in Mobile Network based on Prefix Delegation," Internet Draft, 2003.
- [7] C. Perkins, "IP Encapsulation within IP," Internet RFC2003, 1996.
- [8] A. Conta, S. Deering, "Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification," Internet RFC2473, 1998.
- [9] OMNeT++ Home Page, <http://www.omnetpp.org>



송 정 욱  
2000년 건국대학교 물리학과 학사. 2004년 건국대학교 컴퓨터공학과 석사. 2004년 8월~현재 건국대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 IPv6, Mobile IPv6, Network Mobility, OSA (Open System Architecture)



한 선 영  
1977년 서울대학교 계산통계학과 학사. 1979년 한국과학기술원 전산학 석사. 1988년 한국과학기술원 전산학 박사. 1981년 3월~현재 건국대학교 컴퓨터 정보통신학과 교수. 1995년 6월~1997년 12월 건국대학교 산업기술연구소 정보통신 연구센터 소장. 1998년 1월~1999년 1월 미국 Maryland 컴퓨터과학과 객원교수. 2000년 3월~2002년 8월 건국대학교 정보통신원 원장. 2002년 1월~현재 한국인터넷진흥원 주소위원회 위원. 2003년 1월~12월 개방형 컴퓨터통신 연구회 회장. 2004년 9월~현재 건국대학교 정보통신대학 학장. 관심분야는 컴퓨터네트워크, 멀티캐스팅, DNS, 분산시스템