

네트워크 이동성을 위한 자원 관리 구조의 설계와 분석

정희원 백은경*, 조호식**, 최양희***

Design and Analysis of Resource Management Architecture for Network Mobility

Eun Kyoung Paik* *Regular Member*, Hosik Cho**, Yanghee Choi***

요 약

이동 네트워크는 네트워크 단위로 이동하는 구조로서, 이동 라우터에 연결된 이동 노드들의 이동을 통합하여 관리한다. 이동 네트워크 내의 노드들은 이동 라우터를 통하여 인터넷과 무선 연결되며, 모든 통신이 이동 라우터를 거쳐서 이루어지므로, 이동 라우터에서의 대역폭 관리 및 신뢰성 제공이 중요하다. 또한 이동 네트워크는 이동한다는 본질적 특성에 의하여 내부의 모든 노드들에 대한 위치 관리 및 이에 따른 전력 소비 관리를 필요로 한다. 본 논문에서는 자동차나 기차와 같은 운송체에 구성되는 이동 네트워크에서의 전력 및 대역폭 자원을 효율적으로 관리하기 위한 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 이동 네트워크가 구성되는 운송체와 승객의 이동 특성을 이용하여, 불필요한 위치 관리 신호를 생략함으로써 전력을 절약한다. 또한 다중 이동 라우터를 이용한 멀티호밍 기법에 의하여 대역폭 자원을 관리한다. 제안한 전력 관리 기법을 수학적으로 분석한 결과는 정지 상태의 이동 기기 뿐 아니라 활성 상태의 이동 기기 전력도 현저하게 절약할 수 있음을 보인다. 제안한 다중 이동 라우터 선택 기법에 대한 시뮬레이션 결과는, 이 기법이 기존의 단순 라우터 중복 구조에 비하여 무선 대역폭 자원을 효율적으로 활용함을 보여준다.

Key Words : network mobility, IPv6, resource management, power saving, multihoming

ABSTRACT

The demand for next generation networks can be condensed into always-best-connected, ubiquitous, mobile, all-IP, and converged networks. IPv6 has been introduced for all-IP ubiquitous communications, and vehicles are coming to represent an important communication platform. In this paper, we propose various resource management schemes for in-vehicle mobile networks, which are adaptive to different hardware configurations. We focus on power and wireless bandwidth since they are critical resources for mobile communications. Based on the mobility characteristics of in-vehicle networks, we propose vehicle-aware power saving schemes. The main idea behind these power saving schemes is to adjust mobile router (MR) advertisement interval and binding lifetime. In addition, according to different wireless environments, we propose adaptive bandwidth management schemes using multihoming: best-connected MR selection based on location, and high-data-rate MR selection based on priority. By mathematical analysis, it is shown that our schemes save power prominently for both the dormant nodes and active nodes. In addition, simulation results show that proposed multiple mobile router architecture outperforms previous simple redundant router architecture in preserving session and providing sufficient bandwidth.

1. 서 론

이동 통신이 보편화되고 유비쿼터스 컴퓨팅이 실용화 되면서 자동차나 기차와 같이 이동하는 운송체

* 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 멀티미디어이동통신연구실 연구실(eun@mmlab.snu.ac.kr), ** 서울대학교 전기컴퓨터공학부 멀티미디어이동통신연구실 연구실(hscho@mmlab.snu.ac.kr), *** 서울대학교 전기컴퓨터공학부 멀티미디어이동통신연구실(yhchoi@snu.ac.kr)
논문번호 : 030581-1226, 접수일자 : 2003년 12월 26일

※본 연구는 2003년도 두뇌한국21과 국가지정연구실 프로젝트 지원을 받아 수행되었습니다.

(vehicle)에도 가정이나 사무실에서와 같은 이동 통신 환경을 제공하기 위한 연구가 한창이다[1-3]. 한편, 방대한 주소 공간을 제공하는 IPv6의 출현은 모든 생활 가전 제품에 IPv6 주소를 할당하여 인터넷 연결을 가능하게 한다. 이에 따라 사용자는 자신이 소유한 휴대용 라디오, 이동 전화, 팜탑(palm-top) 등을 동시에 인터넷에 연결한 상태로 이동하면서 통신을 즐기는 것이 가능하다.

네트워크 이동성(Network Mobility, NEMO) 개념[4]은 이와 같은 응용 요구들을 충족시키기 위하여, 즉 운송체 내의 여러 승객들이 함께 이동하면서 통신하거나, 한 사용자의 여러 통신 기기들을 함께 가지고 다니면서 통신하는 것을 지원하기 위하여 등장 하였다. 이동 네트워크(mobile network)는 이동 라우터(mobile router, MR)에 연결된 이동 노드들로 네트워크를 구성하고, 네트워크 단위로 이동성(mobility)을 관리 한다.

이동 통신을 위해서는 무선으로 송수신할 대역폭을 확보하고, 이동하는 위치를 관리하고, 전력 공급이 제한된 상황에서 전력 소비를 관리해야 한다. 이동 네트워크에서는 모든 노드들의 통신 트래픽이 인터넷에 무선 연결된 이동 라우터를 통과하므로 이 지점에서의 대역폭 관리가 중요하다. 한 편, 이동 네트워크에 고정되어 있지 않고 이동 네트워크의 내외로 들어오고 나가는 노드의 경우에는 자체적인 동적 이동성 관리로 인한 전력 소모 문제가 있다.

본 논문에서는 자동차나 기차와 같은 운송체에 구성되는 이동 네트워크를 중심으로 무선으로 연결되는 노드들, 즉 이동 라우터와 이에 탈착하면서 이동하는 노드들에 초점을 맞추어 전력 및 대역폭 자원을 효율적으로 관리하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 운송체와 승객의 이동 특성을 이용하여, 불필요한 이동성 관리 제어 패킷의 송수신으로 인한 전력 소모를 감소시킨다. 또 다중 이동 라우터를 이용한 멀티호밍(multihoming) 기법에 의하여 대역폭 자원을 효율적으로 분배한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서 배경 기술인 네트워크 이동성과 멀티호밍에 대하여 기술한다. 제 3장에서는 네트워크 이동성 지원에서 발생하는 자원 관리 문제를 분석하고 분류한다. 제 4장에서는 효율적인 자원 관리 기법을 제안하기 위하여, 이동성과 이동 네트워크 중첩의 관점에서 자동차나 기차와 같은 운송체의 특성을 구분하고 관계를 정의한다. 제 5장에서 운송체의 이동성 특성을

기반으로 제안하는 자원 관리 기법에 대하여 설명하고, 제 6장에서 제안한 기법의 성능을 평가한 후, 제 7장에서 결론을 맺는다.

II. 배경 연구

본 절에서는 연구의 배경이 되는 네트워크 이동성의 개념과 멀티호밍 기법에 대하여 기술한다.

1. 네트워크 이동성과 중첩 이동 네트워크

인터넷 표준화 기관인 IETF의 네트워크 이동성 워킹 그룹(Network Mobility Working Group, NEMO WG)[5]에서는 이동 IPv6[6]를 기반으로 한 네트워크 이동성 기본 지원 프로토콜[7]을 제안하였다. 이동 네트워크의 기본 이동 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서 이동 네트워크는 이동 라우터를 통하여 인터넷에 접속하고, 이동하면서 액세스 라우터(Access Router, AR)를 변경함으로써 인터넷 접속 지점을 변경한다.

128bit 주소 체계인 IPv6는 모든 노드가 사용할 수 있는 충분한 양의 IP 주소를 제공하므로, 이동 IPv6는 기존의 이동 IPv4에서처럼 이동 노드들이 방문한 외부 네트워크(foreign network)에서 외부 에이전트(Foreign Agent, FA)의 IP 주소를 받아서 CoA(Care of Address)로 공유하지 않고, IP 주소 자동 설정(autoconfiguration)을 통하여 독자적으로 임시 IP 주소를 설정하여 CoA로 사용한다. 이에 따라 이동 네트워크 내의 이동 노드로의 라우팅 문제가 발생한다[8]. 즉, 대응 노드(Correspondent Node, CN)가 이동 네트워크 내의 노드(Mobile Network Node, MNN)로 패킷을 보내고자 할 때, 라우터는 이동 네트워크 노드 주소의 프리픽스(prefix)를 보고 그 노드의 한 홉(hop) 이전 라우터인 이동 라우터로 패킷을 보낸다. 이동 라우터로 전송되는 패킷은 이동 라우터의 홈 에이전트(Home Agent, HA)가 가로챈다(intercept). 이동 라우터의 홈 에이전트는 바인딩 캐쉬(bindnig cache)에 이동 라우터의 CoA로 호스트 특정 라우팅(Host-Specific Routing, HSR)하는 엔트리(entry)만 가지고 있으므로 이동 라우터의 프리픽스를 대응시킬 엔트리를 찾지 못하고 디폴트(default) 라우터로 보낸다. 디폴트 라우터는 다시 이동 라우터로 보내려고 하다가 이동라우터의 홈 에이전트에게 가로채이므로 계속 라우팅 루프(loop)를 돌게 된다.

네트워크 이동성 기본 지원 프로토콜은, 라우팅

루프 문제를 해결하기 위하여 이동 라우터가 인터넷에 연결하는 외향 인터페이스(egress interface)와 이동 네트워크 노드들과 연결하는 내향 인터페이스(ingress interface)의 주소 설정을 독립시킨다. 즉 외향 인터페이스가 이동하면서 외부 네트워크에서 동적으로 CoA를 설정하는 반면, 내향 인터페이스는 이동에 독립적으로 IP 주소를 정적으로 유지한다. 이동할 때마다 외향 인터페이스의 CoA와 내향 인터페이스의 프리픽스(prefix)를 바인딩 갱신하여, 이동 라우터의 홈 에이전트와 이동 라우터 사이에 터널을 설정하고 이를 통하여 모든 이동 네트워크 노드들이 통신하도록 한다.

이동 네트워크 내의 이동 노드는 세 가지로 분류된다[3]. 지역 고정 노드(Local Fixed LFN, LFN)는 이동 네트워크에 고정된 노드이고, 지역 이동 노드(Local Mobile Node, LMN)는 이동 네트워크에서 IPv6 주소를 할당 받아서 이동하는 노드이다. 방문 이동 노드(Visiting Mobile Node, VMN)은 다른 네트워크를 홈 네트워크로 가지면서 이동 네트워크 내로 이동하여 들어온 노드이다. 예를 들어, 기차와 같은 운송체에 있는 노드들을 이동 네트워크로 구성하는 경우에, 기차에 부착된 각종 센서나 제어 기기 등은 지역 고정 노드가 될 것이고, 기차 내를 이동하는 역무원의 승객 승차권 확인 기기는 지역 이동 노드가 될 수 있다. 각 역에서 기차를 타고 내리는 승객이 소유한 이동 통신 기기들은 방문 이동 노드가 된다.

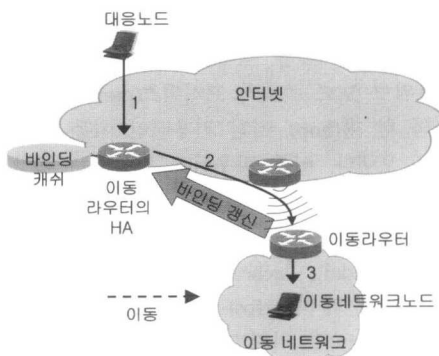


그림 1. 네트워크 이동성 기본 지원 프로토콜의 동작.

이동 네트워크는 중첩(nested)되기도 한다. 즉 한 이동 네트워크의 이동 라우터가 다른 이동 네트워크의 이동 라우터를 통하여 인터넷에 연결되면 그 이동 네트워크는 중첩되었다고 한다. 예를 들어, 무

선 개인 네트워크(Wireless Personal Area Network, WPAN)를 이동 네트워크로 구성한 사용자가 운송체에 구성된 이동 네트워크의 이동 라우터를 통하여 인터넷에 접속하면 중첩 이동 네트워크가 된다.

2. 멀티호밍과 이동 네트워크

본 논문에서는 멀티호밍을, 인터넷에 다중 연결을 갖는 구조로 정의한다. 기존의 노드 단위의 멀티호밍 기술은, 노드에 다중 인터넷 주소를 할당하거나, 다중 인터페이스를 구성하거나, 다중 링크를 연결하는 방법을 취했다. 이동 네트워크에서는 이동 라우터에 이러한 방법을 사용함으로써 멀티호밍을 구현할 수 있을 뿐 아니라, 이동 라우터를 복수로 탑재함으로써 멀티호밍 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 다중 이동 라우터 구조를 도입하는 동기를 다음과 같이 크게 두 가지로 정의한다.

1) 인터넷과의 상호 통신 능력 증가

인터넷과의 상호 통신 능력의 증가는 공간적, 시간적, 기술적으로 다중 이동 라우터를 활용함으로써 제공한다. 첫째로, 공간적으로 분산된 이동 라우터들은 한 이동 라우터가 무선 액세스 망의 유효 도달 범위 안에 있지 않아도 다른 이동 라우터가 유효 범위 내에 속할 확률을 증가시킴으로서 상호 통신 능력을 증가시킨다. 다중 이동 라우터는 또한 시간적으로 한 이동 라우터가 장애를 일으키는 동안 다른 이동 라우터가 이를 대리할 수 있게 함으로써 상호 통신 능력을 증가시킨다. 마지막으로 다중 이동 라우터들은 각각 다른 무선 액세스 기술에 접속함으로써 서로 다른 특징을 갖는 액세스 기술 중 한 기술이 인터넷 연결을 제공하기 어려운 경우에 다른 기술을 이용할 수 있게 함으로써 상호 통신 능력을 증가시킨다. 예를 들어 유효 도달 범위가 작은 무선랜(wireless LAN)을 이용할 수 없는 경우에, 유효 도달 범위가 큰 셀룰러망(cellular networks)을 이용함으로써 상호 통신 능력을 증가시킨다.

2) 부하 공유

다중 이동 라우터 이용의 또 다른 이점은 여러 이동 라우터들이 양적, 또는 질적으로 부하를 공유할 수 있다는 점이다. 양적 부하 공유는 이동 라우터들에 트래픽을 분산한다. 예를 들어, 다른 이동 라우터들이 잉여 처리 능력을 가졌음에도 불구하고 특정 이동 라우터에 트래픽이 집중되어 패킷이 손실되는 상황을 예방할 수 있다. 질적 부하 공유는 QoS(Quality of Service)를 제공하는 수단으로서, 트

래픽의 유형이나 우선순위 등에 따라 트래픽을 각 이동 라우터에 분리지킴으로써 실현 가능하다. 예를 들어, 신호나 실시간 트래픽에 높은 우선순위를 부여할 수 있으며, 가격이나 대역폭에 대한 사용자 요구에 따라 우선 순위를 부여하여 이에 대응하는 액세스 기술을 할당할 수도 있다.

위에 열거한 이점 중에서 기술적 다중 연결에 의한 상호 통신 능력 증가와 부하 공유는 단일 이동 라우터에 구현하는 다중 연결에 의해서도 가능하다. 그러나 공간적 다중 연결은 다중 이동 라우터 고유의 이점이며, 라우터의 물리적 고장을 대비하는 시간적 다중 연결 또한 다중 라우터를 탑재함으로써만 가능하다.

III. 자원 관리 문제와 관련 기존 연구

이 장에서는 네트워크 이동성과 관련한 자원 관리 문제를 분석하고 관련 기존 연구를 기술한다. 이동 네트워크에서 이동 라우터는 무선으로 인터넷에 연결된다. 이동 라우터에 연결된 노드들 중에서 방문 이동 노드는 동적으로 이동 네트워크에 착탈하므로 대부분 무선으로 이동 라우터에 연결된다. 그러므로 이동 라우터와 방문 이동 노드는 무선 채널을 통하여 연결된다는 공통점을 갖는다. 무선 채널은 다음과 같은 취약점을 갖는다[8].

- 높은 오류 발생률과 폭발적 오류
- 위치 의존적이고 시간에 따라 변동하는 무선 링크 용량
- 대역폭 부족
- 이동 노드의 전력 제약

1. 단일 고장 지점과 대역폭 제약

이동 네트워크 내의 다수의 노드들은 이동 라우터에 의존하여 통신하며, 이들의 모든 통신 트래픽이 이동 라우터와 인터넷 사이의 무선 연결을 공유한다. 그러므로 호스트 이동성(host mobility)을 지원하는 프로토콜에서 이동 노드의 통신 연결 고장이 한 이동 노드에만 영향을 미치는 데 반하여, 네트워크 이동성을 지원하는 프로토콜에서 이동 라우터의 고장은 전체 이동 네트워크에 영향을 준다. 즉, 이동 라우터는 단일 고장 지점으로서 이동 네트워크 내의 다수의 노드들의 상호 통신 능력을 마비시킬 수 있다.

무선 연결은 유선 연결과 같이 높은 데이터 전송

율을 제공하는데 한계가 있다. 이동 네트워크에 속하는 이동 노드의 수가 증가함에 따라, 특히 고속 데이터 전송을 요구하는 대용량 멀티미디어 통신 노드의 수가 증가할수록 데이터 전송율 문제는 더욱 심각해진다.

이와 같이 고장에 취약하고, 저속 데이터 전송을 갖는 무선 채널의 약점을 보완하기 위하여 멀티호밍 기법을 도입할 수 있다. 이동 라우터의 인터넷 연결을 다중화 함으로써 이동 네트워크 전체의 인터넷 연결을 다중화 하는 멀티호밍 기술은 이동 네트워크에서 중요한 이슈가 되고 있다[10][11][12]. 이동 네트워크에서의 멀티호밍은 다수의 이동 라우터, 다수의 홈 에이전트, 다수의 프리픽스를 설정함으로써 다양한 설정이 가능하다. 다수의 홈에이전트 [13-15] 또는 다수의 프리픽스 설정이 단일 이동 노드에서도 설정 가능한 반면, 다수의 이동 라우터 설정은 이동 네트워크 고유의 설정이다. 다중 이동 라우터 설정은 우선망에서의 라우터 선택 문제와 달리, 이동에 따라 동적으로 생성하고 소멸하는 무선 연결에 대한 실시간 의식(awareness)을 요구하므로 구현하기 어려운 문제가 있다.

2. 전력 자원의 제약

무선 이동 노드에서는 전력 절약이 필수이다. IP 계층에서의 전력 소모의 주요 원인은 다음과 같다.

- 신호 전달 부담
- 정지(idle) 상태에서의 신호 청취

본 절에서는 신호 송수신 전력 문제를 신호 전달의 범위에 따라 이동 네트워크로부터 외부로 전송되는 신호인 위치 관리 신호와 이동 네트워크 내에서 전송되는 이동 탐지 신호의 두 부류로 나누어 문제점을 제기한다.

1) 위치 관리 신호 부담 문제

이동 통신에서 이동에 따른 위치 관리를 위한 신호 송수신은 필수이다. 이러한 위치 관리 신호를 자주 송수신할수록 보다 정확한 위치 관리를 할 수 있는 반면, 신호 송수신에 따른 전력 소모가 증가한다[16]. 그러므로 정확성과 전력 소모 사이의 균형이 최적화되는 위치 관리 신호 송수신 빈도 값을 찾는 것이 중요하다.

네트워크 이동성 기본 지원 프로토콜은 바인딩 갱신에 의하여 위치를 관리한다. 이 프로토콜에 의해 이동 라우터는 이동 네트워크에 고정된 노드들의 위치 관리를 대신한다. 그러나 방문 이동 노드의 경우에는 스스로 위치 관리를 하기 위하여 주기적

으로 바인딩 갱신 신호를 자신의 홈 에이전트에 전송해야 한다.

IP 계층에서의 전력 소모 감소를 위하여 셀룰러 망에서 이용되는 페이징(paging) 기법을 IP 통신에 도입하는 기법이 제안되어 왔다[17-18]. IP 페이징의 주요 개념은 수면(dormant) 상태에 있는 이동 노드의 위치 관리 신호 송수신 간격을 증가시킴으로써, 불필요한 전력 소모를 감소시키는 것이다. 이와 같이 위치 관리 신호의 송수신 간격을 증가시키기 위하여 인접한 복수의 위치 관리 영역(location management area)들을 하나로 합쳐서 페이징 영역(paging area)으로 구분한다. 그러나 이동 네트워크는 이동으로 인하여 인접한 위치 관리 영역이 계속 변동되기 때문에, 다른 영역과 그룹을 지어 페이징 영역을 설정하는 것이 어렵다는 문제가 발생한다.

2) 이동 탐지 신호 부담 문제

방문 이동 노드가 이동 네트워크의 구성원으로 들어오면 이동 라우터의 라우터 공시(router advertisement, RA) 신호를 청취하고 이동을 감지한다. 즉 자신이 이동 네트워크 내에 진입 이동했음을 탐지하여, 이동 라우터에 접속한다. 방문 이동 노드는 이동 네트워크의 구성 노드로 존재하는 동안에도 라우터 공시 신호를 주기적으로 송수신 함으로써 자신의 이동 여부, 즉 이동 네트워크에의 탈착 여부를 감지한다. 방문 이동 노드가 정지 상태이거나 장거리 여행 등으로 긴 시간 동안 운송체의 이동 네트워크에 결합되어 있는 경우에는 이러한 이동 탐지 신호 송수신의 낭비 문제가 있다.

IV. 이동성의 특성

본 장에서는 대형 운송체의 자원 관리를 위한 선행 연구로 운송체의 특성을 이동성 측면에서 구분하고, 중첩 이동 네트워크로서의 특성을 구분한다.

1. 이동성의 특성

대역폭 사용의 최적화를 위하여, 대형 운송체의 이동성 특성을 구분하면 다음과 같다.

1) 이동의 제약성

운송체의 이동은 도로의 위상(topology)에 의하여 제약을 받는다. 예를 들어 기차나 비행기와 같은 운송체는 선로를 이탈할 수 없다. 자동차 도로는 기차나 비행기 선로에 비하여 시간의 변화에 따라 다양한 경로 선택이 가능하지만, 자동차 역시 고속 도로

에서 달리는 경우에는 일반 도로에 비하여 경로 선택에 제약이 있다. 그러므로 운송체의 이동은 도로 지형에 의하여 제약을 받는다고 정의할 수 있다.

2) 규칙성

대중 교통 수단으로 이용되는 대형 운송체는 규칙적으로 반복 이동하는 특성을 갖는다. 즉 예정된 경로를 이동하면서, 일정한 시간에 역이나 정거장과 같은 특정 장소에 정지하고, 일정 시간 후 다시 출발하는 것을 반복한다.

2. 중첩 이동성의 특성

운송체에 구현되는 이동 네트워크는 중첩 이동 네트워크로 볼 수 있다. 이 특성을 구분함으로써 전력 소비를 최적화할 수 있다.

1) 역 이동성

운송체의 이동 라우터와 승객이 지니고 다니는 이동 노드는 서로 역 이동성의 특성을 갖는다. 즉 운송체가 이동하는 동안 승객은 운송체 내에 정지하고, 운송체가 역이나 정거장에 정차하면 승객은 탑승하거나 하차하는 이동을 한다.

2) 대규모

운송체는 자체 제어기와 센서 및 다수의 승객이 보유한 이동 기기들을 연결하여 대규모 이동 네트워크로 구성한다. 또한 한 승객이 다수의 이동 기기를 소유할 수 있으므로 이동 네트워크의 규모는 대형화 된다. 이와 같은 대형 이동 네트워크는 운송체의 물리적 크기가 이동 라우터의 액세스 유효 범위를 초과하는 경우에, 또는 운송체 내의 승객의 수가 많아서 하나의 이동 라우터로 서비스 가능한 이동 노드의 수를 초과하는 경우에, 다중 이동 라우터의 탑재를 요구한다. 그 밖에 기차와 같이 여러 객차로 구성되는 운송체의 경우, 무선 전파의 물리적 한계로 인하여 각 객차마다 이동 라우터를 탑재해야 하는 경우가 발생한다. 예를 들어 802.11b 무선랜의 경우, 객차를 형성하는 소재를 통과하지 못하므로 각 객차마다 802.11b 액세스 포인트를 이동 라우터로 설치해야 한다. 이와 같은 이유로 대형 이동 네트워크 구현을 위해 다중 이동 라우터 관리의 필요성이 대두된다.

V. 자원 관리 기법

본 장에서는 앞 장에서 분석한 이동성 특성에 따라 전력과 대역폭 자원 관리 기법을 제안한다. 먼저 방문 이동 노드의 전력 소모 감소를 위한 기법을

설명하고, 이동 라우터의 대역폭 분배를 위한 다중 이동 라우터 관리 기법을 기술한다.

1. 신호 감소와 전력 절약

이 절에서는 중첩 이동 네트워크의 특성을 이용하여 방문 이동 노드의 전력 소모를 감소시키는 방법을 설명한다.

1) 이동 라우터 공시 신호 감소

이동 라우터는 주기적으로 자신의 존재를 공시하는 신호를 주위의 노드에 전송함으로써 이동 노드들이 서로 다른 라우터의 액세스 범위간 이동을 탐지하여 새로운 라우터에 결합할 수 있도록 한다. 또한 이동 네트워크 내의 이동 노드들은 정기적으로 전송되는 이동 라우터 공시 신호를 듣고 이동 라우터 액세스 유효 범위 내에 있음을 확인한다.

이동 노드가 한 이동 라우터의 액세스 유효 범위 내에 장시간 정적인 위치를 유지할 경우엔 이러한 라우터 공시 신호의 송수신으로 인한 전력 낭비가 있다. 앞 장에서 언급한 중첩 네트워크의 역 이동성에 의하면 운송체가 이동하는 동안은 새로운 승객이 탑승하지 않는다. 본 논문은 이 특성을 이용하여 이동 라우터의 공시 신호 전송 빈도를 감소시킨다. 즉 IPv6에서의 라우터 공시 신호 간격 값이 이동 IPv6에서의 간격 값보다 크다는 점을 이용하여, 이동 노드가 이동하지 않는 동안은 신호 간격을 IPv6에서의 값으로 증가시킴으로써 전력을 절약한다.

제한하는 방법은 다음과 같다. 운송체가 이동하는 동안은 방문 이동 노드가 이동하지 않으므로 이동 라우터 공시 신호의 간격 값을 IPv6에서의 간격 값으로 할당한다. 반대로 운송체가 정지한 동안은 방문 이동 노드가 이동하므로 이동 라우터 공시 신호 간격을 이동 IPv6에서의 값으로 할당한다. 이를 위하여 이동 라우터는 운송체의 이동을 감지하는 고정 노드로부터 정지 및 이동 상태에 대한 정보를 사건-트리거(event-trigger) 방식으로 수신한다. 지역 고정 노드인 센서가 운송체의 이동 시작 정보를 이동 라우터에 전달하면, 그림 4에서와 같이 이동 라우터는 라우터 공시 신호 간격인 RA_interval의 값을 IPv6에서 정해진 값인 RA_interval_of_IPv6 값으로 할당한다. 센서로부터 운송체의 정차 정보를 전달 받으면, 다시 이동 IPv6에서 정해진 값인 RA_interval_of_MIPv6 값으로 할당한다. 이와 같은 빈도 값 전환에 의하여 불필요한 신호 전달을 생략할 수 있다.

```

if vehicle moves
    RA_interval = RA_interval_of_IPv6
else /* while VMNs move */
    RA_interval = RA_interval_of_MIPv6
    
```

그림 4. 이동 네트워크의 라우터 공시 신호 빈도 값 할당.

2) 바인딩 갱신 신호 감소

운송체에 탑승한 승객은 목적지에 도달할 때까지 위치를 정적으로 유지한다. 본 논문은 이와 같은 특성을 이용하여 운송체의 이동 네트워크에 결합한 승객의 방문 이동 노드가 해당 시간 동안 위치 갱신 신호의 빈도를 감소시키도록 한다.

탑승한 승객의 방문 이동 노드가 운송체를 인식하도록 하기 위하여 본 논문에서는 이동 라우터의 라우터 공시 신호 포맷(format)에 그림 2와 같이 새로운 필드(field) V를 추가하여 확장한다. 그림 2의 포맷에서 각 필드의 기능은 표 3과 같다. 새로 정의된 필드 V의 값이 1로 세트(set) 되면 방문 이동 노드는 운송체의 존재를 인지하고 이 이동 라우터에 결합하는 동안 위치 갱신 신호의 빈도를 줄인다(그림 3). 즉, 운송체 이동 라우터에 들어 왔으면 라우터 바인딩 갱신을 할 때 그 유효 시간(lifetime)을 최대값인 MAX_BU_lifetime으로 할당한다. 이에 따라 방문 이동 노드는 위치 갱신을 위한 바인딩 갱신 빈도를 줄일 수 있다.

0		15		31	
Type	Code			Checksum	
Cur Hop Limit	M	O	V	Rsvd	
	Router Lifetime				
Reachable Time					
Retransmission Timer					
Options...					

그림 2. 운송체 이동 라우터로의 중첩을 알리기 위한 라우터 공시 포맷 확장.

```

If V = 1 then /* in vehicle */
    BU_lifetime = MAX_BU_lifetime
else /* out of vehicle */
    BU_lifetime = normal_BU_lifetime
    
```

그림 3. 운송체 이동 라우터로의 중첩에 따른 위치 갱신 빈도 조절.

표 1. 라우터 공시 메시지 포맷 필드.

필드명	내 용
Code	바인딩 갱신의 순차 번호
Checksum	ICMP (Internet Control Message Protocol) checksum [19]
Cur Hop Limit	IP 헤더의 홉 카운트 필드에 들어갈 기본 값
M	이 플래그가 세트되면 관리되는 주소를 설정함
O	이 플래그가 세트되면 관리되는 프로토콜을 이용하여 주소외의 정보를 자동 설정함
V	이 플래그가 세트되면 운송체 내에 이동 진입했음을 알림
Rsvd	사용되지 않는 예비 필드
Router Lifetime	라우터 유효 기간
Reachable Time	인접노드의 접근 가능 시간
Retransmission Timer	인접노드 유도 메시지 재전송 간격

2. 다중 이동 라우터 관리

본 절에서는 다중 이동 라우터를 탑재한 대형 운송체에서 대역폭을 효과적으로 배분 관리하기 위한 기법을 제안한다. 즉 다중 이동 라우터가 설정 되어 있는 경우, 각 트래픽(traffic) 플로우(flow)에 대하여 이동 라우터를 선택하는 기법에 대하여 기술한다.

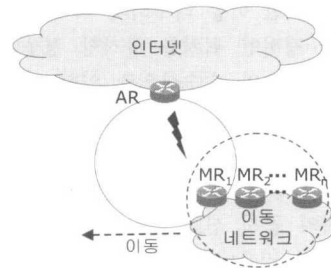
1) 위치 기반의 이동 라우터 선택 기법

비행기나 전철, 기차 등은 예정된 선로를 이탈할 수 없다. 또한 이들은 일정한 속도와 방향으로 이동하므로 - 비상사태 발생 경우를 제외하면 후진하지 않으므로 - 본 고에서는 이들의 핑퐁(ping-pong) 핸드오버(handover)를 고려하지 않는다. 그러므로 이러한 이동성은 선형 이동 모델로 표현 가능하다.

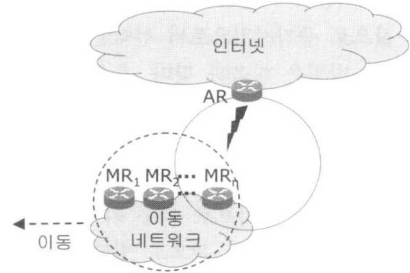
그림 5는 운송체가 액세스 라우터의 무선 액세스 유효 도달 범위에 들어왔다가(그림 5 (가)) 나가는(그림 5 (나)) 이동을 하는 경우에 다중 이동 라우터들 사이의 관계를 보인다. 그림 5에서 보듯이 이동체에 탑재된 다중 이동 라우터는 다음과 같은 특징을 갖는다.

먼저 무선 액세스 유효 도달 범위에 들어온 이동 라우터의 인터넷과의 상호 통신 수명이 나중에 들어온 이동 라우터의 수명보다 먼저 종료된다. 즉 그림 5에서 먼저 액세스 라우터 AR의 유효 도

달 범위에 들어온 이동 라우터 MR1보다 나중에 들어온 MR2가 더 늦게까지 유효 도달 범위 내에 있게 된다. 따라서 이동 라우터를 위치에 따라 관리함으로써 인터넷과의 연결 상태가 동적으로 변하는 무선 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있다. 본 논문은 공간적으로 분산 배치한 이동 라우터들 중에서, 시간적으로 인터넷 상호 통신 수명이 가장 길게 남아있는 이동 라우터에 우선순위를 부여하는 위치 기반의 이동 라우터 선택 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 다중 이동 라우터의 위치를 대형 이동 네트워크 내에 분산하고 나중에 무선 액세스 유효 도달 범위에 들어온 이동 라우터에 우선순위를 부여함으로써, 인터넷과의 상호 통신 능력을 증가시킬 수 있다.



(가) 이동 이전의 이동 라우터와 액세스 유효 범위



(나) 이동 이후의 이동 라우터와 액세스 유효 범위

그림 5. 위치 기반의 이동 라우터 선택.

제안하는 방법은 다음과 같다. 동일한 이동 네트워크에 대하여 각 이동 라우터별로 바인딩 갱신을 받은 홈 에이전트는 바인딩 캐쉬(cache)에 다수의 바인딩 갱신 엔트리(entry)를 갖게 된다. 홈 에이전트가 가로챈 패킷을 포워드(forward)할 때 이들 바인딩 엔트리 중 가장 최근의 것에 우선 순위를 두어 선택한다. 가장 최근에 갱신된 바인딩 엔트리는 가장 나중에 무선 액세스 유효 도달 범위에 들어온 이동 라우터의 바인딩 정보이므로, 이 엔트리에 우

$$E_{BU} = \alpha \cdot N_{BU} = \beta \cdot \frac{1}{S_{\text{paging}}} = \gamma \cdot \frac{1}{t} \quad (1)$$

식 (1)에서 α , β , γ 는 전력 소모 계수를 나타내며, N 은 바인딩 갱신의 수, S_{paging} 은 위치 관리 영역의 크기, t 는 바인딩 갱신 유효 기간 즉 갱신 간격을 나타낸다. 식 (1)에서 E_{BU} 값을 줄이기 위해서는 S_{paging} 의 값이나 t 의 값을 증가시켜야 한다. 이동 네트워크에서는 S_{paging} 의 값을 증가시킬 수 없으므로, 제한한 바와 같이 t 의 값을 증가시킨다.

현재 이동 IPv6의 바인딩 갱신 간격은 1초 ~ 10초이므로 t 의 값은 이 값으로 표현될 수 있다. 이에 반하여, 제한한 기법에 의하면 t 의 값은 표 3과 같은 승객의 탑승 시간이 되므로, 이동 IPv6에 비하여 위치 관리 신호 전송 전력 소모량을 최소 12배에서 최고 54,000배(비행기에 15시간 탑승하는 경우)까지 절약할 수 있다.

또한 기존의 IP 페이징이 정지 상태에서의 위치 관리 전력 소비만을 절약하는 데 비하여, 제한하는 기법은 활성 상태에서도 전력 소비를 절약할 수 있다는 장점이 있다.

표 4. 운송체별 탑승 시간

운송체	탑승 시간
자동차	최소 5~10분 이상 ≥ 300 초
버스	정류장 간격 3~15분 * 정류장 수 ≥ 180 초
지하철	역 간격 2~10분 * 역 수 ≥ 120 초
기차	역 간격 30분 ~ 2시간 * 역 수 $\geq 1,800$ 초
비행기	1시간 이상 ~ 15시간 이상 $\geq 3,600$ 초

2) 이동 라우터 공시 신호 수신 전력 감소

운송체 이동 네트워크 내의 이동 라우터 공시 신호 송수신을 위한 수신 이동 노드에서의 전력 소모는 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다. 식 (2)에서 T 는 전력 소모 측정 대상이 되는 전체 시간을 나타내고, RAI 는 라우터 공시 신호의 간격을 나타내며, μ 는 라우터 공시 신호 수신 전력 소모 계수를 나타낸다.

$$E_{RA} = T \cdot \mu \cdot \frac{1}{RAI} \quad (2)$$

전체 시간 T 는 식 (3)과 같이 운송체가 이동한 시

간 t_{moving} 과 정지한 시간 t_{stay} 의 합으로 나타낼 수 있다.

$$T = t_{\text{moving}} + t_{\text{stay}} \quad (3)$$

그러므로, 평균 이동 라우터 공시 신호 간격 RAI_{average} 는 식(4)와 같이 RAI_{frequent} 와 RAI_{rare} 의 비율에 의해 나타낼 수 있다.

$$RAI_{\text{average}} = \frac{t_{\text{moving}}}{T} \cdot RAI_{\text{frequent}} + \frac{t_{\text{stay}}}{T} \cdot RAI_{\text{rare}} \quad (4)$$

식 (4)에서 이동 기간의 라우터 공시 신호 간격을 IPv6에서와 같이 3 초로 할당하고, 정지 기간에는 이동 IPv6에서와 같이 50msec으로 할당하면, 정지 기간 동안의 전력 소모를 60배까지 절약할 수 있다.

이 기법은 역 이동성을 기반으로 하는데, 다중 이동 라우터를 탑재한 대형 운송체에서는 역 이동성에 반하는 예외의 경우가 발생할 수 있다. 즉 운송체가 이동하는 동안 운송체 내의 서로 다른 이동 라우터 유효 도달 범위 사이를 이동하는 노드가, 현재 결합한 이동 라우터와의 결합을 해제하고 새로운 이동 라우터에 결합하고자 하는 경우가 있다. 예를 들어 기차 내에서 지정 좌석을 떠나 식당 객차로 이동하는 경우가 발생 가능하다. 또한 운송체가 이동하는 동안 정지 상태에서 활성 상태로 전이하여 새로이 이동 라우터와 결합하고자 하는 노드가 존재할 수 있다. 이와 같이 역 이동성에 반하는 예외 노드들은 이동하는 동안 빈도가 낮게 설정된 라우터 공시 신호가 올 때까지 기다리지 않고, 먼저 라우터 유도(solicitation) 신호를 라우터에게 보내어 결합하면 된다. 역 이동성에 반하는 예외 노드의 수는 역 이동성을 따르는 노드의 수에 비하여 적으며 유도 신호는 한 번만 보내면 되므로, 이러한 라우터 유도 신호의 송수신이 전체 전력 소모에 미치는 영향은 무시해도 좋을 만큼 작다.

3. 대역폭 관리 시뮬레이션

본 논문에서는 시뮬레이션 도구로 ns-2 버전 2.26[20]을 사용하고, 이동 IPv6를 구현한 MobiWAN[21]의 이동 노드를 확장하여 그림 7과 같이 이동 라우터를 구현하였다. 그림 7에서 entry로 패킷이 들어오면, Hierarchical Routing에서 목적지 주소를 분류한다. 목적지 주소가 이동 라우터 자신이면 Port demux를 통하여 MIPDecapsulator로 보내고, 홈 에이전트에서 수행된 캡슐레이션을 해제하여 패킷을 수신한다. Registration Agent는 바인딩

갱신 작업을 한다. 목적지 주소가 자기 자신이 아닌 다른 곳이면 Routing Agent로 보내어 내향 인터페이스와 외향 인터페이스 중 적절한 곳을 통하여 전송하게 한다. 이동 라우터는 기존의 이동 노드나 유선 라우터의 시뮬레이션에서와 달리 외향 인터페이스와 내향 인터페이스의 두 가지 서로 다른 무선 인터페이스를 가지므로 이를 시뮬레이션 할 수 있도록 구현하였다.

그림 8은 위치 기반의 이동 라우터 선택 기법을 라운드 로빈(round-robin)에 의한 이동 라우터 선택 및 임의로 이동 라우터를 선택하는 경우(random)에 대하여 비교한 성능 실험 결과를 보인다. 예측 가능 이동성을 갖는 기차나 지하철의 경우를 시뮬레이션 하기 위하여 길이가 200 미터인 기차 객차의 양 끝에 이동 라우터를 탑재하고 36km/h의 속도로 달리는 경우(그림 8 (가))와 72km/h의 속도로 달리는 경우(그림 8 (나))를 모델링 하였다. 선로에는 액세스 라우터 기능을 하는 무선랜 액세스 포인트(Access Point, AP)를 400 미터 간격으로 설치하였다. 각 무선랜 액세스 포인트의 액세스 범위는 반경 125m이다.

그림 8에서 처리량은 수신한 패킷의 양으로 표시하였다. 그림 8에서 라운드 로빈에 의한 선택이나 임의의 선택 기법이 핸드오프하는 동안의 이동 라우터의 수신 능력을 고려하지 않음으로 인하여 패킷을 손실하는 반면, 제한한 위치 기반의 이동 라우터 선택 기법은 동적으로 변화하는 이동 라우터의 수신 상태에 따라 전송한 결과 패킷을 손실 없이 수신했음을 알 수 있다. 그림 8의 (가)와 (나)에서 운송체의 속도가 빠를 수록 제한한 기법의 상대적 효율이 더 좋아짐을 알 수 있다. 이러한 위치 분산 효과는 액세스 포인트의 유효 도달 범위에 비하여 이동 네트워크의 물리적 길이가 긴 경우에 더 큰 영향을 받는다.

한 편, 이동 네트워크가 광역에서 임의의 방향으로 임의의 거리를 이동할 경우에는 어떤 무선랜 액세스 포인트 또는 셀룰러망 기지국 등에 접속할지 예측할 수 없으므로 위치 기반 이동 라우터 선택 기법의 효율이 저하된다. 그러므로 임의의 이동성을 갖는 이동체의 다중 이동 라우터는 상호 통신 능력의 증가와 부하 공유를 위하여 대역폭 활용을 극대화 하는 이동 라우터를 선택할 수 있다.

그림 9는 임의의 이동성을 위한 대역폭 기반 이동 라우터 선택 기법 성능을 시뮬레이션 한 결과를 나타낸다. 이 실험에서는 이중 액세스 네트워크가

존재하는 환경에서 각각 다른 액세스 네트워크에 연결하는 이동 라우터들 사이의 능력별 선택에 의한 효율성을 실험하였다. 실험을 위하여 2km × 2km 크기의 지역에 4개의 셀룰러 기지국과 64개의 무선랜 액세스 포인트를 설치하고, 이들 기지국과 액세스 포인트가 액세스 라우터로 작동한다고 가정하였다. 무선랜은 11Mbps의 데이터 전송률을 제공하는 반면, 셀룰러망은 500Kbps를 제공하며, 각각의 액세스 범위는 반경 62m와 500m로 하였다. 그러므로 셀룰러 망은 거의 모든 범위에서 액세스 가능하게 한 반면, 무선랜은 비 연속적으로 액세스 된다.

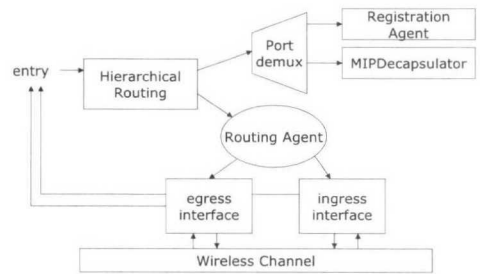
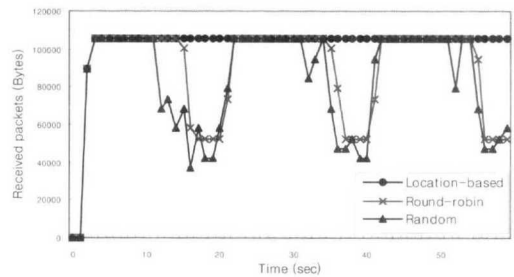
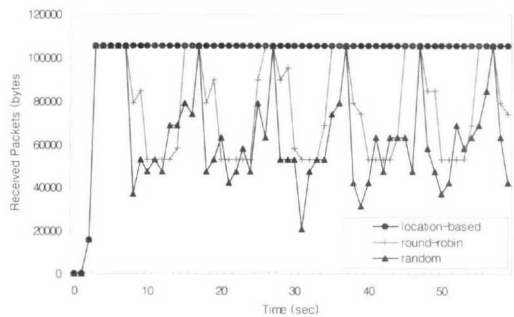


그림 7. NS-2 시뮬레이션을 위한 이동 라우터 구조



(가) 시속 36km인 경우



(나) 시속 72km인 경우

그림 8. 규칙성을 갖는 경우에 위치 기반 이동 라우터 선택 기법의 성능.

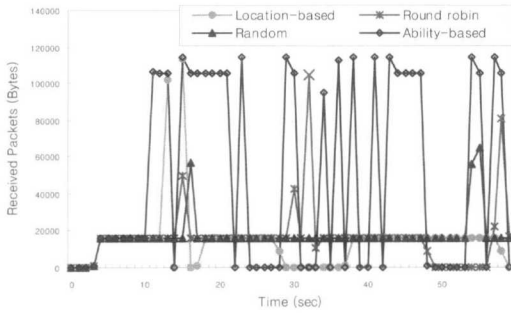


그림 9. 불규칙성을 갖는 경우에 전송율 기반 이동 라우터 선택 기법의 성능.

임의의 이동성은 네 개의 임의의 값을 이용하여 x축 방향, y축 방향, x축 이동 거리, y축 이동을 결정하게 하였다. 임의 이동의 간격은 1초로 하여 x, y축으로 각각 최대 25m씩 이동한다.

그림 9에서 전송율 정보에 의하여 라우터를 선택하는 기법이 위치 기반의 선택 기법이나 라운드 로빈 기법, 임의의 선택 기법에 비하여 양적으로 좋은 성능을 나타냄을 볼 수 있다. 이 방식은 질적 부하 분산의 목적으로도 활용 가능하다. 즉 신호나 VoIP(Voice over IP)와 같이 데이터 전송량은 작으나 상호 통신 능력 유지가 중요한 실시간 트래픽은 셀룰러망을 이용하고, 데이터 전송량이 많은 멀티미디어 데이터는 무선랜을 이용하도록 이동 라우터를 선택함으로써 통신 요구사항을 만족시킬 수 있다.

VII. 결론

본 논문에서는 운송체 상에 구현된 이동 네트워크의 자원 관리를 최적화하기 위하여 전력 절약 기법과 대역폭 활용 기법을 제안하였다. 먼저 자원 관리를 위하여 운송체에 구현된 이동 네트워크의 특성을 이동성과 중첩 이동 네트워크의 측면에서 정의하였다. 특히 전력 관리가 결정적인 방문 이동 노드가 이동 네트워크 외부로 송신하는 위치 관리 신호의 횟수를 감소시키고, 이동 네트워크 내부에서 이동 라우터로부터 수신하는 라우터 공시 신호의 횟수를 감소시키는 IP 계층에서의 전력 절약 기법을 제안하였다. 기존의 IP 계층 전력 절약 기법인 IP 페이징이 정지 노드에만 적용되는 데 비하여, 제안한 기법들은 활성 노드에도 적용할 수 있다는 장점을 가진다.

단일 고정 지점인 이동 라우터를 다중으로 탑재했

을 때 발생하는 이동 라우터 선택 문제를 해결하기 위해서는 이동 특성에 따라 적용 가능한 관리 기법을 각각 제안하였다. 기차나 전철과 같이 고정된 경로를 규칙적으로 이동하는 운송체에 탑재된 다중 이동 라우터에 대해서는 공간적으로 다중 이동 라우터를 분산하고 시간의 변화에 따라 위치 기반의 이동 라우터 선택 기법을 적용함으로써 상호 통신 능력 증가 결과를 얻었다. 자동차와 같이 이동의 규칙성이 낮은 운송체의 이동 라우터에 대해서는 각 이동 라우터별 데이터 전송율 정보에 기반한 이동 라우터 선택 기법에 의하여 대역폭 활용을 최적화 하는 결과를 얻었다.

참고 문헌

- [1] T. Ernst and K. Uehara, "Connecting Automobiles to the Internet," ITST workshop, Seoul, November 2002.
- [2] H. Lach, C. Janneteau, A. Olivereau, A. Petrescu, T. Leinmueller, M. M. Wolf, and M. Pilz, "Laboratory and Field Experiments with IPv6 Mobile Networks in Vehicular Environments," draft-lach-nemo-experiments-over-drive-01.txt, October 2003.
- [3] T. Ernst, K. Mitsuya and K. Uehara, "Network Mobility from the InternetCAR Perspective," Journal of Interconnection Networks, Vol. 4, No. 3, Sep. 2003, pp. 329-343.
- [4] T. Ernst and H. Lach, "Network mobility support terminology," Internet Draft draft-ietf-nemo-terminology-00.txt, Internet Engineering Task Force (IETF), May 2003, Work in progress.
- [5] Network Mobility (NEMO) working group (WG) home page, <http://www.ietf.org/html.charters/nemo-charter.html>.
- [6] D. B. Johnson, C. E. Perkins and J. Arkko, "Mobility support in IPv6," Internet Draft draft-ietf-mobileip-ipv6-24.txt, Internet Engineering Task Force (IETF), Jun. 2003, Work in progress.
- [7] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "NEMO Basic Support

- Protocol," IETF draft, June 2003, Work in progress.
- [8] T. Ernst, "Network Mobility Support in IPv6," Ph.D Thesis, Department of Mathematics and Computer Science, Universite Joseph Fourier, France, Oct. 2001.
- [9] Y. Cao and V. O. K. Li, "Scheduling Algorithms in Broad-Band Wireless Networks," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, No. 1, Jan. 2001.
- [10] E. K. Paik, H. Cho, and T. Ernst, "Multihomed Mobile Networks Problem Statement," Internet Draft draft-paik-nemo-multihoming-problem-00.txt, Internet Engineering Task Force (IETF), October 2003, Work in Progress.
- [11] C. Ng, J. Charbon, and E. K. Paik, "Multihoming Issues in Network Mobility Support," Internet Draft draft-ng-nemo-multihoming-issues-02.txt, Internet Engineering Task Force (IETF), October 2003, Work in progress.
- [12] J. Charbon, C-W. Ng, K. Mitsuya, and T. Ernst, "Evaluating Multi-homing Support in NEMO Basic Solution," Internet Draft draft-charbon-nemo-multihoming-evaluation-00.txt, Internet Engineering Task Force (IETF), July 2003, Work in progress.
- [13] A. Vasilache, J. Li, and H. Kameda, "Threshold-Based Load Balancing for Multiple Home Agents in Mobile IP Networks," *Telecommunication Systems*, 22:1-4, 11-31, 2003.
- [14] H. Deng, X. Huang, and K. Zhang, "A Hybrid Load Balance Mechanism for Distributed Home Agents in Mobile IPv6," in Proc. PIMRC 2003.
- [15] R. Wakikawa, V. Devarapalli, and P. Thubert, "Inter Home Agents Protocol (HAHA)," Internet Draft draft-wakikawa-mip6-nemo-haha-00.txt, Internet Engineering Task Force (IETF), Oct. 2003, Work in progress.
- [16] B. Awerbuch and D. Peleg, "Concurrent Online Tracking of Mobile Users," *Proceedings of the ACM SIGCOMM Symposium on Communications, Architectures and Protocols*, pp 221- 233, September 1991.
- [17] J. Kempf, "Dormant Mode Host Alerting ("IP Paging") Problem Statement," IETF RFC 3132, June 2001.
- [18] X. Zhang, J. G. Castellanos, and T. Campbell, "P-MIP: Paging Extension for Mobile IP," *Journal of Mobile Networks and Applications*, 7, pp. 127-141, 2002.
- [19] A. Conta and S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version (IPv6) Specification", RFC 2463, December 1998.
- [20] The Network Simulator NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [21] MobiWan: NS-2 extensions to study mobility in Wide-Area IPv6 Networks, <http://www.inrialpes.fr/planete/pub/mobiwan/>.

백 은 경(Eun Kyoung Paik)

정희원



1990년 2월 : 이화여자대학교

전자계산학과 졸업

1992년 2월 : 이화여자대학교

전자계산학과 석사

1992년 2월~현재 : KT

2000년 ~ 현재 : 서울대학교

전기컴퓨터공학부 박사과정

<관심분야> 네트워크 이동성, 이동성 관리, IPv6, QoS

조 호 식(Hosik Cho)



2002년 2월 : 서울대학교

컴퓨터공학과 졸업

2002년 3월~현재 : 서울대학교

전기컴퓨터공학부

석박사통합과정

<관심분야> 이동 네트워크, 이동 IP, IPv6, 멀티미디어 스트리밍

최 양 희(Yanghee Choi)



1975년 2월 : 서울대학교
전자공학과 졸업
1977년 2월 : 한국과학기술원
석사
1984년 : ENST 전산학 박사
1991년 ~ 현재: 서울대학교
전기컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 유무선인터넷, IPv6, 멀티미디어 통신