

와이브로 망에서 IPv6 이동 단말의 교차 계층 핸드오버 기법

(A Cross-layering Handover Scheme for IPv6 Mobile Station over WiBro Networks)

장 희 진 [†] 한 연 희 ^{††} 황 승 희 ^{†††}
(Hee-Jin Jang) (Youn-Hee Han) (Seung-Hee Hwang)

요 약 국내의 와이브로 기술은 단말의 이동성을 지원하기 때문에 사용자가 임의의 서브넷 내부에서 이동 할 때에도 지속적인 인터넷 서비스를 제공한다. 또한, 차세대 인터넷 지원 기술인 IPv6 및 Mobile IPv6 (MIPv6)은 이동 단말에 주소를 할당하고, 이러한 단말들이 서로 다른 서브넷을 이동 할 때에도 기존의 인터넷 세션을 유지할 수 있도록 지원하는 최신 기술이다. 하지만, VoIP (Voice over IP)와 같은 실시간 서비스를 만족시킬 수준의 이동성을 지원하려면, 와이브로 망 및 단말에 최적화된 고속 IPv6 핸드오버 기법 개발이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 IPv6 단말이 와이브로 망에서 서브넷 간 이동을 시도할 때, 핸드오버 지연 시간을 최소화하는 최적화된 핸드오버 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 고속 핸드오버를 지원하기 위한 IETF 대표 프로토콜인 Fast Mobile IPv6 (FMIPv6)에 기반을 두고 있으며 2계층 와이브로 MAC (Medium Access Control)과 3계층 FMIPv6 과의 밀접한 상호 작용 및 관련 핸드오버 절차로 구성된다. 마지막으로, 수학적 성능 분석을 통하여 와이브로 망에서 운영되는 FMIPv6의 핸드오버 지연 시간을 계산하여 그 결과를 제시한다.

키워드 : 와이브로, 고속 이동성, IPv6, 핸드오버

Abstract WiBro (Wireless Broadband) service, developed in Korea, can provide the host mobility while its users hang around within the subnet. Next-generation Internet protocols, IPv6 and Mobile IPv6 (MIPv6), provide a plenty of addresses to the nodes and enable the handover between different subnets. However, MIPv6 is not enough to support a real time service such as VoIP (Voice over IP) due to the long latency, and it is necessary to develop an enhanced handover mechanism which is optimized to the WiBro networks. In this paper, we suggest an improved fast handover mechanism while the mobile node moves around WiBro networks. The proposal is based on Fast Mobile IPv6 (FMIPv6) which is the representative protocol for fast handover, and reduces the handover latency by the close interaction between the link layer (WiBro MAC) and IP layer (FMIPv6). Finally, we analyze the performance of proposed mechanism through the mathematical analysis.

Key words : WiBro, Fast handover, IPv6

1. 서 론

1998년 우리나라에 초고속인터넷 서비스가 도입된 이래 매우 빠른 추세로 가입자 규모가 급증하였으며, 이동

전화 가입자도 유선전화 가입자를 추월한 이후 2005년 10월 현재 3,800만 명에 육박하고 있다. 이와 같이 초고속인터넷 및 이동전화의 보급 확대에 따라 초고속서비스에 익숙해진 사용자들은 점차 시간과 장소에 구애받지 않으면서 초고속으로 인터넷 서비스를 이용하고자 하는 욕구를 가지게 되었다. 게다가 노트북 및 PDA의 사용이 보편화 되면서 이동성을 전제로 한 초고속인터넷서비스에 대한 수요는 더욱 증가하고 있으며, 사용자들은 무선망과 인터넷이 통합되어 언제 어디서든 자유로이 인터넷을 이용할 수 있는 네트워크 환경을 기대하고 있다. 이에 따라 정지 또는 이동 중에도 고속인터넷

· 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-331-D00539)

[†] 비 회 원 : 삼성종합기술원 Networking Technology 랩 연구원
heejin.jang@samsung.com

^{††} 정 회 원 : 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부 교수
yhhan@kut.ac.kr

^{†††} 비 회 원 : 특허청 정보통신 심사본부 심사관
shhwang@kipo.go.kr

논문접수 : 2006년 3월 31일

심사완료 : 2006년 9월 5일

접속이 가능한 무선인터넷 규격인 와이브로(WiBro, Wireless Broadband Internet) 표준이 최근 한국정보통신기술협회(TTA)를 중심으로 제정되었다[1]. 와이브로 표준은 유선망이 갖는 기존 시스템의 한계를 극복하여 최소 시속 60km 이하의 이동성을 지원하며 실내외에서 끊김 없이 초고속 무선 인터넷 서비스를 제공할 수 있도록 설계되어 있다.

현재 와이브로 규격에서 볼 수 있는 이동성 지원방법은 기지국(RAS, Radio Access System)간 이동시 단말과 기지국사이에 수행되는 MAC Management 프로토콜로서 기술되어 있다. 하지만, 네트워크 서브넷(Subnet)이 다른 새로운 제어국(ACR, Access Control Router)으로 단말이 이동하면 현재 통신 중인 세션(Session)을 유지하기 위하여 IP 계층(3계층)의 이동성 지원 프로토콜을 수용해야 한다. IETF(Internet Engineering Task Force)의 MIP4와 MIP6 워킹그룹에 의해 제정된 Mobile IPv4(MIPv4)[2] 및 Mobile IPv6(MIPv6)[3] 기술은 그러한 3계층 이동성 지원을 위한 대표적 국제 표준 프로토콜이다. 본 논문은 향후 발전된 와이브로 서비스 환경에서 수용할 차세대 인터넷 프로토콜인 IPv6에 그 초점을 맞춘다. IPv6는 기존 IPv4와 함께 지원 가능한 주소 개수의 한계를 완벽하게 극복하면서 동시에 이동성 지원 방법에 있어서도 좀 더 향상된 기능을 제공한다[4].

MIPv6 기술은 이원화된 주소 체계를 통해 단말의 고유 주소(HoA, Home Address)와 이동한 네트워크에서 생성한 새로운 주소(CoA, Care-of Address)를 홈 에이전트(Home Agent)에게 바인딩 함으로써 이동성을 지원한다. 특히, 대상 노드(CN, Correspondent Node)가 MIPv6 프로토콜을 수용하고 있다면 CN에게도 그러한 바인딩을 보내어서 데이터 패킷에 대한 최적화된 라우팅 경로를 지원할 수 있는 장점을 지닌다. 하지만, MIPv6는 단지 이동 단말(MS, Mobile Station)의 위치 등록 및 현재 통신 중인 세션의 데이터 패킷들에 대한 경로 재설정과 관련된 프로토콜로, VoIP(Voice over IP)와 같은 실시간 통신을 만족시킬 수준의 이동성을 지원하기에는 여러 문제점이 존재한다[4,5].

IETF의 MIPSHOP (MIPv6 Signaling and Handoff Optimization) 워킹그룹은 고속 IPv6 핸드오버를 지원하기 위하여 Fast Mobile IPv6 (FMIPv6) 프로토콜을 최근에 제정하였다[6]. FMIPv6는 링크 계층(2계층)의 지원과 함께 새롭게 이동할 위치를 파악하고 IPv6 핸드오버 및 서비스 재개에 필요한 정보들을 사전에 교환함으로써 실제로 이동이 발생할 경우 신속한 서비스 재개가 가능하도록 한 프로토콜이다. FMIPv6는 기본적으로 링크 계층에 의존하여 단말의 이동성을 예측하게 되므

로, 링크 계층으로부터 이벤트 지원 및 그러한 이벤트 교환 방식에 대한 정확한 메커니즘이 필요하다. 또한 링크 계층에서 활용 가능한 정보는 링크 종류마다 다르고 정보가 제공되는 타이밍 또한 링크 계층의 프로토콜에 의존적이므로 실제 망에 FMIPv6를 적용 시 FMIPv6은 해당 링크의 특성을 반영하여 링크 계층과의 상호 작용이 최적화되도록 재 설계 되어야 한다. 최근 IEEE 802.21 워킹그룹[7-9]에서는 그러한 링크 계층과 상위 계층간의 상호 작용 메커니즘에 대한 표준을 링크 독립적으로 제정하고 있으며, [5-11]에서는 그러한 IEEE 802.21에서 제공하는 이벤트를 IEEE 802.11 WLAN 네트워크에 특화된 형태로 FMIPv6과 WLAN사이의 상호 작용 방안을 제안하고 있다.

본 논문에서는 IPv6 탑재 단말이 와이브로 망에서 서브넷이 다른 지역으로 이동할 때 핸드오버 지연 시간을 최소화하기 위한 핸드오버 메커니즘을 제안하고 있다. 본 논문은 고속 핸드오버를 지원하기 위해 FMIPv6에 기반을 두고 있으며, FMIPv6(3계층)과 와이브로(2계층)와의 밀접한 연동작용 및 이를 위한 지원 메시지를 정의함으로써 단말의 핸드오버 과정을 최적화 하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장의 관련 연구에서는 FMIPv6 및 와이브로 표준에 따른 3계층 및 2계층의 핸드오버 절차를 간략히 살펴본 후, 3장에서는 FMIPv6가 탑재될 때 고려될 수 있는 와이브로 망 구조에 대해 기술하였다. 4장에서는 핸드오버 지연시간 단축을 위한 와이브로 및 FMIPv6 프로토콜 간의 계층간 지원 메시지를 정의하고, 이를 활용한 연동작용 및 최적화된 핸드오버 절차에 관해 기술한다. 5장에서는 제안 방안의 성능을 분석한 후, 마지막 6장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 관련연구

2.1 Fast Mobile IPv6

앞 장에서 설명한 바와 같이 FMIPv6는 이동성 예측에 바탕을 둔 프로토콜로써 이동 예측 및 핸드오버 준비 과정이 성공적으로 수행되었을 경우와 그렇지 못한 경우에 따라 Predictive Mode와 Reactive Mode로 구분된다[6].

2.1.1 Predictive Mode의 핸드오버 절차

그림 1은 Predictive Mode인 경우 이동 단말의 핸드오버 과정을 도시하고 있다. 이동 단말이 해당 네트워크에서 새로운 인접 기지국(NRAS, New RAS)을 감지하게 되면, NRAS와 연관된 새로운 제어국(NACR, New ACR)의 정보를 얻기 위해 현재 서비스 받고 있는(이전) 제어국(PACR, Previous ACR)에 RtSolPr(Router Solicitation for Proxy) 메시지를 전송한다. PACR은

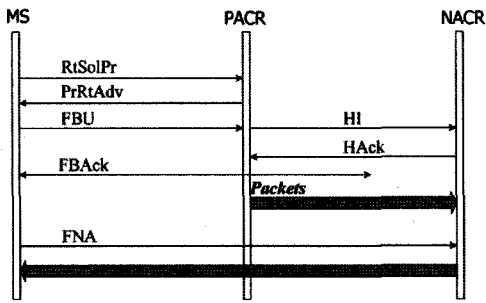


그림 1 Fast Mobile IPv6의 핸드오버 과정(Predictive mode)

RtSolPr 메시지로부터 추출된 NRAS의 MAC 주소를 바탕으로 NACR의 정보를 검색하여 NACR의 IP 주소, MAC 주소 및 서브넷 Prefix 정보를 포함한 PrRtAdv (Proxy Router Advertisement) 메시지로 단말에게 답신한다. 단말은 PrRtAdv에 포함된 Prefix 정보를 이용하여 새로운 NACR로 이동 후 사용 가능한 새로운 IP 주소(NCoA, New CoA)를 생성하고, 현재 사용하고 있는 주소와 (PCoA, Previous CoA)와 NCoA의 바인딩을 위하여 PACR에게 FBU(Fast Binding Update) 메시지를 보낸다. 이때, 이동 단말이 핸드오버 이전에 PACR로부터 FBU 메시지에 대한 FBAck(Fast Binding Acknowledgement) 메시지를 성공적으로 수신하게 되면 이 시점 이후로 단말은 Predictive Mode로 동작함을 확신하게 된다. 만약 단말이 핸드오버 개시 이전에 FBU를 전송하지 못하거나, 전송하더라도 FBAck 메시지 수신을 못한다면 Reactive Mode로 동작해야 한다.

한편, PACR은 단말로부터 FBU 메시지를 수신하면 NACR과 HI(Handover Initiation) 및 HAck(Handover Acknowledge) 메시지를 교환한다. 이 때 PACR은 HAck 메시지 수신을 통해 NACR로부터 이동할 네트워크에서 NCoA에 대한 유일성(Uniqueness)을 확인하고 곧바로 PCoA-NCoA 간 터널을 생성한다. 한편, 이러한 NCoA 유일성 검사 결과는 FBAck을 통하여 단말에게도 전달된다.

터널이 생성된 시점부터 PCoA로 향하고 있는 모든 패킷은 NCoA로 터널링 된다. 한편 NACR은 터널링되어서 전달되고 있는 NCoA로 향하는 패킷을 가로채어 버퍼링하고 있다가 이동을 완료한 단말로부터 FNA (Fast Neighbor Advertisement)를 수신하면, 그동안 버퍼링 한 패킷을 모두 단말에게 전달한다. 이로써 모든 핸드오버 절차는 마무리 된다.

2.1.2 Reactive Mode의 핸드오버 절차

핸드오버 이전에 단말이 FBU를 전송하지 못 하였거나, 전송하였더라도 FBAck 메시지를 수신하기 전에

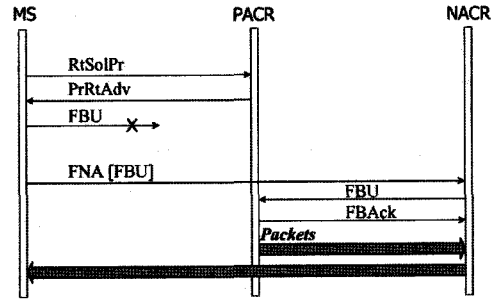


그림 2 Fast Mobile IPv6의 핸드오버 과정(Reactive mode)

드오버를 개시하였다면 단말은 Reactive Mode로 동작한다. 이 경우 단말은 FBAck를 받지 못하여 PACR측에 FBU가 제대로 도착했는지 알 수 없으므로, FNA 메시지에 FBU를 캡슐화(encapsulation)하여 전송한다. NACR이 단말로부터 FBU를 받으면 우선 포함된 NCoA가 해당 네트워크에서 사용 중인 주소와 중복되지 않은지를 확인한다. 이러한 유일성 검사 이후 주소가 중복되지 않으면 NACR은 FNA에 포함된 FBU를 PACR에게 전송하고 FBAck가 도착하면 PCoA-NCoA 간의 터널을 생성하여, 터널링 된 패킷을 최종적으로 단말에게 전달한다. 이때, FBAck의 목적지는 NCoA이므로 터널링 되는 패킷들과 함께 단말에게 전달된다. 만일 NCoA가 이미 사용 중이면, NACR은 단말에게 NAACK(Neighbor Advertisement Acknowledgment) option을 포함한 Router Advertisement 메시지를 단말에게 전송하고 FBU 메시지는 폐기한다. Reactive Mode의 핸드오버 절차는 그림 2에 도시되어 있다.

2.2 와이브로 망에서의 핸드오버 절차

이번 절에서는 [1,12,13]에 기술된 와이브로 망에서의 핸드오버 절차를 요약하여 설명한다. 그림 3은 와이브로 망에서의 핸드오버 과정을 도시하고 있다. 와이브로 망에서의 핸드오버는 개념적으로 '인접 네트워크 탐색',

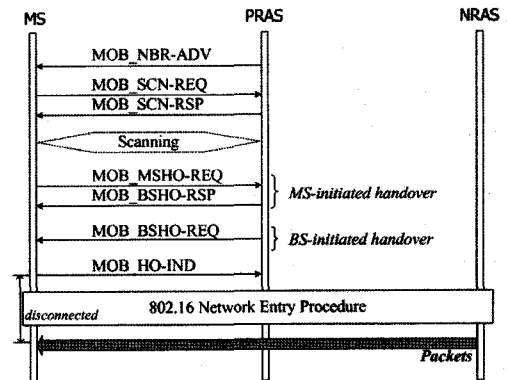


그림 3 와이브로 망에서 링크 계층 핸드오버 과정

‘핸드오버 준비 단계’와 ‘핸드오버 실행 단계’로 나뉘어진다.

2.2.1 인접 네트워크 탐색 및 정보 획득

와이브로 망에서의 핸드오버 절차는 무선 랜에서의 망진입 및 핸드오버 절차와 비교해볼 때, 파라미터의 정교한 조정과 절차상의 유연성을 지원하기 위하여 더욱 복잡한 과정으로 구성된다. 와이브로 단말은 네트워크의 임의 위치에 있을 때에 해당 네트워크로의 무선 연결성을 제공하는 RAS로부터 주기적으로 광고되는 MOB_NBR-ADV (Neighbor Advertisement) 메시지를 수신한다. 이 메시지는 인접한 위치에 존재하는 모든 RAS들에 대한 정보 및 해당 RAS의 네트워크 속성들을 포함하고 있다. 그래서, 이동 단말은 MOB_NBR-ADV 메시지를 수신하면 인접한 RAS들의 ID, QoS (Quality of Service) 파라미터 및 채널 정보를 획득하여 추후에 보다 신속한 핸드오버를 수행하기 위하여 그러한 정보를 이용할 수 있다.

네트워크 정보를 취득하는 또 다른 방법은 단말에 의해 수행되는 스캐닝(scanning) 절차로써 이웃 RAS들로부터 수신되는 하향링크(downlink) 신호품질을 측정하는 절차를 일컫는다. 이동 단말은 MOB_NBR-ADV 메시지를 통해 인접 RAS들의 ID의 목록을 획득하고 스캐닝을 통해 취득한 실시간 링크 정보를 바탕으로 적절한 RAS를 선택하여 핸드오버를 수행할 후보 RAS로서 그 리스트를 관리할 수 있다.

핸드오버 지연 시간을 줄이기 위해 스캐닝 과정에서 인접한 RAS와의 연관(association) 과정을 수행할 수 있다. 이러한 연관 과정동안 이동 단말은 특정 기지국과 초기 레인징(initial ranging) 절차를 수행할 수 있다. 레인징은 단말이 새로운 네트워크로 진입하는 과정 중 가장 초기에 수행하는 절차이다. 이 과정을 통해 단말은 NRAS에서 사용하는 주파수를 포함한 채널의 물리적 특성, Time 및 전력제어에 관련된 기본적인 정보들을 재사용함으로써 핸드오버 절차를 최적화한다.

2.2.2 핸드오버 준비 단계

핸드오버 준비 단계 동안 단말은 이전 단계에서 얻어낸 인접 RAS들로부터 수신되는 신호의 세기와 QoS 파라미터 등을 기준으로 핸드오버하기에 가장 적절한 타겟(target) RAS를 결정한다.

또한, 현재 RAS로부터 제공되는 서비스 품질과 신호 세기 등을 고려하여 이동 단말이 핸드오버를 결정하여 이를 서비스 기지국(단말이 속한 해당 네트워크에서 현재 단말에게 서비스 중인 기지국)인 서빙 기지국에게 통보한다. 이 때 사용하는 메시지는 Mobile Station Handover Request(MOB_MSHO-REQ) 메시지로써 PRAS에게 전송하고 PRAS는 추천하는 RAS들의 리스트(후

보 RAS)를 Base Station Handover Response (MOB_BSHO-RSP) 메시지에 포함하여 회신한다. 이때 PRAS는 백본망을 통해 후보 RAS들에게 핸드오버를 통지하여 단말의 세션 및 설정 정보를 미리 전송함으로써 추후 핸드오버 수행 시간을 단축시킬 수 있다. 한편, 본 단계에서 PRAS가 Base Station Handover Request (MOB_BSHO-REQ)를 단말에게 전송함으로써 핸드오버를 통지할 수도 있다.

2.2.3 핸드오버 실행 단계

이동 단말이 타겟 RAS를 결정하고 이동할 준비가 되었다면 PRAS에게 Handover Indication (MOB_HO-IND) 메시지를 보내어 최종적으로 이 사실을 알리고 핸드오버를 실행한다. 단말은 MOB_HO-IND를 전송한 시점부터는 PRAS를 통해 더 이상 패킷을 송수신할 수 없다. 이동 이후 단말은 네트워크 진입(network entry) 과정을 수행한다. 먼저 레인징을 수행하여 NRAS와 링크 동기를 맞추고 레인징이 성공적으로 완료되면 NRAS와 수행 능력 조정(capability negotiation)에 들어간다. 그 후, 단말은 인증과정(authentication)을 거쳐 최종적으로 NRAS에 등록(registration) 한다. 이때, 만약 NRAS가 백본망을 통해 수행 능력 및 인증에 관한 단말의 정보를 미리 수신하였다면, 단말은 해당 과정을 생략하여 핸드오버 과정을 단축할 수 있다. 등록 과정이 완료되어 네트워크 진입 과정이 성공적으로 완료되면 이 시점부터 NRAS는 이동 단말에게 서비스를 개시할 수 있다.

만약 단말이 네트워크 서브넷이 틀린 곳으로 이동한다면 유효한 NCoA를 다시 획득하고 이를 활용한 IP 접속 재확립 과정이 추가적으로 뒤따라야 한다. 또한 NCoA를 이용하여 이전 네트워크에서 수행하던 세션을 재개하기 위해 단말은 MIPv6와 같은 IP 핸드오버 프로시저를 별도로 수행해야 한다.

3. 와이브로 망 구조

본 장에서는 FMIPv6가 탑재될 때 고려될 수 있는 와이브로 망 구조를 살펴보고 이것을 바탕으로 다음 장에서 제안하는 방안을 기술하고자 한다. 그림 4의 (a) 및 (b)는 그러한 와이브로 망 구조의 두 가지 경우를 보여준다. 그림 4(a)에서 네트워크는 ACR로 대표되는 두개의 서브넷으로 분할되어 있으며, 하나의 ACR은 다수 개의 RAS를 관리한다. 이 경우에서는 모든 RAS간의 이동이 항상 IPv6 이동성 관리를 필요로 하지 않는다. 임의의 ACR내의 RAS간 이동시에는 동일한 서브넷 내에서의 이동이 되기 때문에 IPv6 이동성 관리 없이 와이브로 표준에 따른 핸드오버만을 이용하여 통신을 지속할 수 있다. 그러나, 그림 4(a)에서 RAS5에서

RAS6으로 이동하는 경우처럼 새로운 서브넷으로 이동하는 경우에는 세션 유지를 위해 IPv6 이동성 관리 및 핸드오버가 지원되어야 한다.

그림 4(b)의 경우 하나의 ACR과 하나의 RAS가 일대일로 매핑되는 경우로, 이 경우 물리적으로 RAS는 ACR과 통합되어 하나의 네트워크 장비로 구현될 수 있다. 이와 같은 환경에서 단말의 임의의 이동은 항상 새로운 ACR로의 이동을 의미하므로 MIPv6와 같은 이동성 지원 프로토콜이 지원되어야만 기존의 세션 유지가 가능하다.

이에 따라, FMIPv6을 바탕으로 본 논문에서 제안하는 방안은 단말이 새로운 서브넷으로 이동할 경우, 즉 그림 4(a)에서 새로운 ACR로 이동하는 한정된 경우 및 그림 4(b)에서 모든 이동에 적용될 수 있다.

4. 제안 방안

본 장에서는 핸드오버 지연시간을 최소화하기 위한 링크 계층 및 IP 계층 간의 밀접한 연동작용 및 FMIPv6를 기반으로 하는 최적화된 핸드오버 절차를 Predictive Mode와 Reactive Mode 각각의 경우로 나누어 제안한다.

4.1 NRAS 정보 획득 방안

2.2에서 설명한 인접 네트워크 탐색 및 정보 획득 방법을 이용하여 일단 타겟 RAS 후보가 결정되면 이동 단말은 타겟 RAS와 연동된 ACR정보를 획득해야 한다. 이때 단말은 FMIPv6에서 제안된 3계층 메시지인 RtSolPr 및 PrRtAdv 메시지 교환을 통해 타겟 RAS와 연결된 ACR정보를 알아낼 수 있다. 2계층에서 새로운 RAS가 감지되는 즉시 이를 3계층에 알림으로써 연관된 ACR의 정보를 가능한 신속히 얻기 위해, 본 논문에서는 단말 내 내부 Primitive로서 다음과 같이 New_RAS_Found를 정의한다.

• New_RAS_Found (New RAS IDs)

Sender: 단말내 2계층

Receiver: 단말내 3계층

보내는 때: 새로운 타겟 RAS 후보를 발견

받을 때 조치: RtSolPr 메시지를 PACR에게 보냄

새로운 RAS들의 ID가 포함된 New_RAS_found 메시지를 수신하면 단말내의 3계층은 RtSolPr 메시지에 그러한 ID를 포함시켜 신속히 PACR에게 전송한다. 한편 PACR이 RtSolPr 메시지를 받으면, [BSID, ACR-Info]의 목록을 포함한 PrRtAdv 메시지로 회신한다. ACR-Info는 NACR의 IP 및 MAC 주소와 NACR이 관리하는 Prefix가 포함된다.

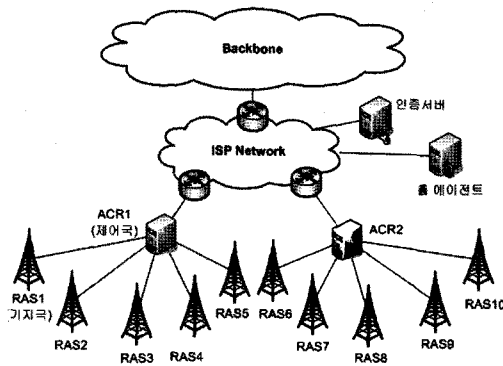
인접 RAS들의 정보 수집 및 후보 RAS 선정과 이와 연관된 NACR의 정보 취득 과정은 와이브로의 핸드오버의 절차 중 특정 타이밍에 실행될 필요는 없으며 이동 단말은 유희시간과 같이 자신이 편리한 시간에 수행할 수 있다.

4.2 핸드오버 제안방안

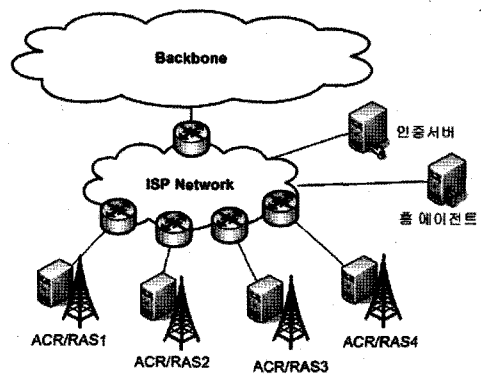
본 절에서는 3 계층의 FMIPv6 및 2 계층의 와이브로 표준 사이의 밀접한 연동을 통하여 최적화된 핸드오버 방안을 자세히 기술한다. 제안하는 핸드오버 절차는 크게 1) 이동 준비 단계, 2)이동 실행 단계, 3) 와이브로 망 진입 단계, 4) 이동 완료 단계로 구분된다.

4.2.1 이동 준비 단계

이동 단말이 최종적으로 타겟 RAS와 핸드오버를 결정하여 MOB_MSHO-REQ를 보내어 MOB_BSHO-RSP를 수신하거나 또는 RAS로부터 MOB_MSHO-RSP를 수신하게 되면 2계층에서 와이브로 핸드오버 절차가 개시된다. 핸드오버 시간을 최소화하기 위해서 단말의 2계층은 MOB_BSHO-RSP/MOB_BSHO-REQ를 수신한 후, 지연 없이 PACR에게 FBU를 전송해야한다. 그러나



(a) 적용 구조 1



(b) 적용 구조 2

그림 4 와이브로 망의 적용 구조

2계층의 와이브로 핸드오버 과정과 3계층의 고속 핸드 오버 메커니즘은 기존에는 독립적으로 동작하므로 MOB_BSHO-RSP/MOB_BSHO-REQ 수신 전에 FBU가 전송되거나, MOB_BSHO-RSP 또는 MOB_BSHO-REQ 이 수신되었다더라도 3계층인 FMIPv6가 이 사실을 인지하지 못하여 FBU의 전송을 지연함으로써 전체적으로 핸드오버 수행이 지연되는 결과를 초래할 수 있다. 그러므로, 2계층에서의 MOB_BSHO-RSP/MOB_BSHO-REQ 수신을 3계층에 통보하기 위한 다음과 같은 Primitive가 새로이 필요하다.

•Link_Going_Down

Sender: 단말내 2계층

Receiver: 단말내 3계층

보내는 때: MOB_BSHO-RSP 또는 MOB_BSHO-REQ 메시지 수신

받을 때 조치: FBU 메시지를 PACR에게 보냄

PACR은 단말로부터 FBU를 수신하면 NACR과 HI 및 HAcK 메시지 교환을 통해 PCoA-NCoA 간의 터널을 생성하고 FBACk 메시지를 단말에게 전송한 이후 곧바로 데이터 패킷을 NCoA로 터널링 한다. HAcK 메시지는 이동할 네트워크에서 사용할 주소인 NCoA 유일성에 대한 여부가 포함된다.

와이브로 표준에 따르면 이동 단말이 PRAS에 MOB_HO-IND 메시지를 전송하고 PRAS가 이를 수신하면, RAS에서 해당 단말에 대한 자원 유지 타이머가 만료되지 않더라도, 단말과 RAS간의 통신은 더 이상 허락되지 않는다. 그러므로 이동 단말이 Predictive Mode로 동작하기 위해서는, MOB_HO-IND를 보내기 전에 PACR와 FBU 및 FBACk 메시지 교환이 성공적으로 이루어져야한다.

4.2.2 이동 실행 단계

이동 단말이 핸드오버 실행 전에 FBACk 메시지를 성공적으로 수신하고 그 메시지를 통해 NCoA에 대한 유일성을 회신 받았다면, 단말은 빠르게 2계층 핸드오버를 수행해야 한다. 특히, PACR은 이 때 이미 패킷을 NCoA로 터널링을 하고 있으므로 가능한 신속하게 단말이 핸드오버를 수행해야 한다. 이러한 2계층 핸드오버는 MOB_HO-IND 메시지를 단말이 PRAS에게 보냄으로써 개시된다. 본 논문에서는 FBACk 메시지 수신 후 즉시 MOB_HO-IND 메시지를 보내고 신속한 핸드오버를 수행하기 위해 다음과 같은 primitive를 정의한다.

•Link_Switch

Sender: 단말내 3계층

Receiver: 단말내 2계층

보내는 때: FBACk 메시지 수신

받을 때 조치: MOB_HO-IND 메시지를 PRAS에게 보내고 이동을 수행함

이 primitive는 3계층에서 2계층으로 내보내는 일종의 명령 (command)과 같은 것으로서 단말의 3계층이 FBACk 메시지를 수신 이후에 MOB_HO-IND를 전송하도록 하는 기능도 포함한다. 즉, FMIPv6가 가능한 Predictive Mode로 동작하도록 유도하기 위하여 단말의 2계층은 정의된 Link_Switch 명령을 받을 때 까지 MOB_HO-IND 송신을 지연해야 한다.

MOB_HO-IND 송신 전에 FBACk를 받지 못하더라도 단말이 매우 빠른 속도로 이동하거나 해당 RAS로부터의 하향링크 신호품질이 급속도로 나빠진다면 단말은 신속하게 MOB_HO-IND 송신할 수 밖에 없다. 이런 경우에는 FMIPv6은 Reactive Mode로 동작한다. 즉, Link_Switch는 단말이 3계층에서 이동 준비가 완료되는 즉시 신속히 이동을 개시하거나, 3계층의 이동 준비가 완료될 때까지 2계층에서의 이동 개시를 보류하기 위해 사용함으로써 핸드오버의 지연 시간을 단축하고 가능한 Predictive Mode로 동작할 확률을 높이는 효과가 있다. 그러나 해당 RAS로터의 신호품질이 급격히 저하되어 서비스의 단절이 예상되면, 단말은 3계층의 이동 준비가 완료되지 않더라도 NRAS로의 이동을 개시해야 한다. 이 경우, Link_Switch 메시지는 활용되지 않으며 단말은 핸드오버 이후 Reactive Mode로 동작하게 된다.

4.2.3 새 네트워크 진입 단계

단말이 새로운 네트워크로 이동을 한다면 NRAS와 동기를 맞추고 네트워크 진입 절차(network entry)를 수행한다. 이 단계에서 단말은 NRAS와 RNG-REQ/RSP, SBC-REQ/RSP, PKM-REQ/RSP, REG-REQ/RSP 메시지를 교환한다. 핸드오버 전 혹은 핸드오버 동안 NRAS가 PRAS로부터 단말의 세션이나 설정에 관한 정보를 이미 수신하였다면 해당 정보를 위한 메시지 교환은 생략될 수 있다[1]. 네트워크 진입 절차의 완료와 함께 2계층에서의 핸드오버 과정은 완료된다.

2계층에서 핸드오버 과정이 완료되는 즉시 다음과 같은 primitive를 3계층으로 보낸다.

•Link_Up

Sender: 단말내 2계층

Receiver: 단말내 3계층

보내는 때: 네트워크 진입 절차 완료

받을 때 조치: FNA 메시지를 NACR에게 보냄

단말은 Link_Up을 통하여 3계층에게 2계층 핸드오버가 모두 완료되어 링크를 통한 패킷 송수신이 가능함을 통보하고 3계층은 이를 수신하는 대로 바로 NACR에 FNA 메시지를 전송한다. 이때 Reactive Mode의 경우에는 FNA 메시지 내에 FBU를 포함해야 한다.

4.2.4 핸드오버 완료 단계

NACR이 단말로부터 FNA를 수신하면 Predictive Mode인 경우 NACR은 핸드오버 동안 자신이 버퍼링하던 터널링 패킷들을 단말에게 전송한다. Reactive mode 일 경우, NACR은 수신된 FNA 메시지에 포함된 FBU 메시지를 추출하여 PACR에게 전송하여 PCoA-NCoA 간의 터널을 설립한 후, 터널을 통해 전달받은 패킷을 최종적으로 단말에게 전달한다. Reactive mode에서 NACR은 FBU에 들어 있는 NCoA에 대한 유일성 검사를 수행해야 한다.

4.3 핸드오버 시나리오

본 절에서는 Predictive Mode와 Reactive Mode의 경우에 있어서 앞서 제안된 핸드오버 절차에 따라 단말이 핸드오버를 수행하는 시나리오를 보여준다(그림 5, 6 참조).

4.3.1 Predictive Mode 시나리오

1. PRAS는 MOB_NBR-ADV를 주기적으로 broadcast 한다.
2. 단말의 2계층이 이 메시지에서 인접한 새로운 RAS들을 발견하면 New_RAS_Found를 3계층으로 보낸다. 이전에 단말은 보다 자세한 링크 정보를 얻기 위해 스캐닝을 수행할 수 있다.

3. 3계층이 New_RAS_Found 메시지를 수신하면, PACR과 RtSolPr 및 PrRtAdv 메시지를 교환하여 새로 발견된 RAS와 연결된 ACR 정보를 취득한다.
4. 단말이 핸드오버를 결정하였다면 PRAS와 MOB_MSHO-REQ 및 MOB_BSHO-RSP를 교환하고 타겟 RAS, 즉 NRAS를 선정한다. 혹은 현재 PRAS가 단말에게 MOB_BSHO-REQ를 보냄으로써 핸드오버를 시작할 수 있다.
5. 단말이 PRAS로부터 MOB_MSHO-REQ에 대한 MOB_BSHO-RSP 또는 MOB_BSHO-REQ를 받으면, 단말의 2계층은 Link_Going_Down을 발생하여 3계층에게 알린다.
6. 3계층은 Link_Going_Down 수신 즉시 PACR과 FBU 및 FBACk을 교환한다. PACR은 FBACk를 보내기 전에 NACR과 HI 및 HACk 메시지를 교환하여 터널을 설립한다. NACR은 HACk 메시지를 통해 NCoA의 유일성 여부를 알려준다. 이 순간에 패킷은 NCoA로 터널링된다.
7. FBACk을 수신한 단말은 Link_Switch를 이용하여 2계층으로 하여금 MOB_HO-IND를 전송하도록 한다.
8. 단말은 와이브로 표준에 따른 네트워크 진입 절차를 수행한다.
9. 네트워크 진입 절차가 완료되면 단말의 2계층은 Link_Up을 발생시켜 3계층에 알리고 3계층은 NACR에게 즉시 FNA를 전송한다.
10. NACR이 단말로부터 FNA를 수신하면, 해당 단말을 위해 버퍼링하고 있던 터널링 패킷들의 전송을 시작한다.

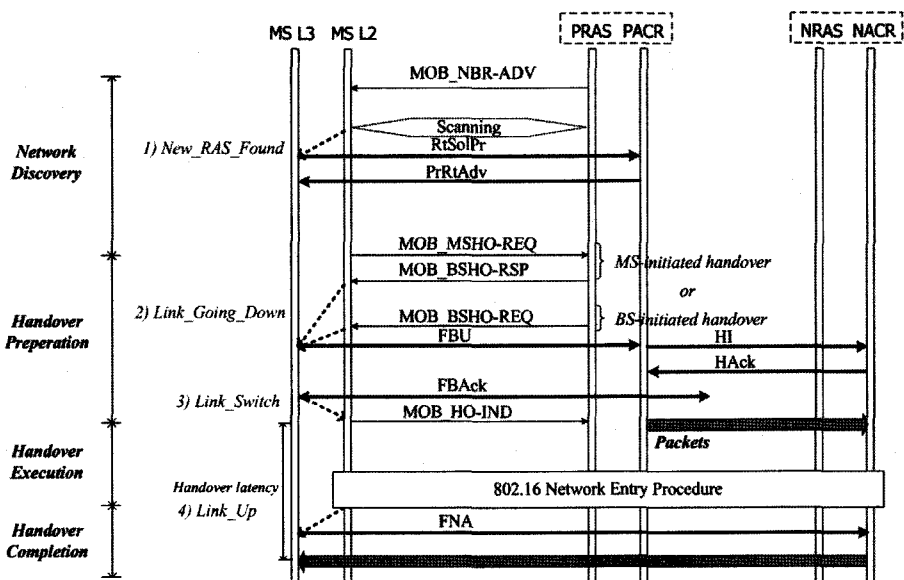


그림 5 Predictive Mode에서 제안 핸드오버 시나리오

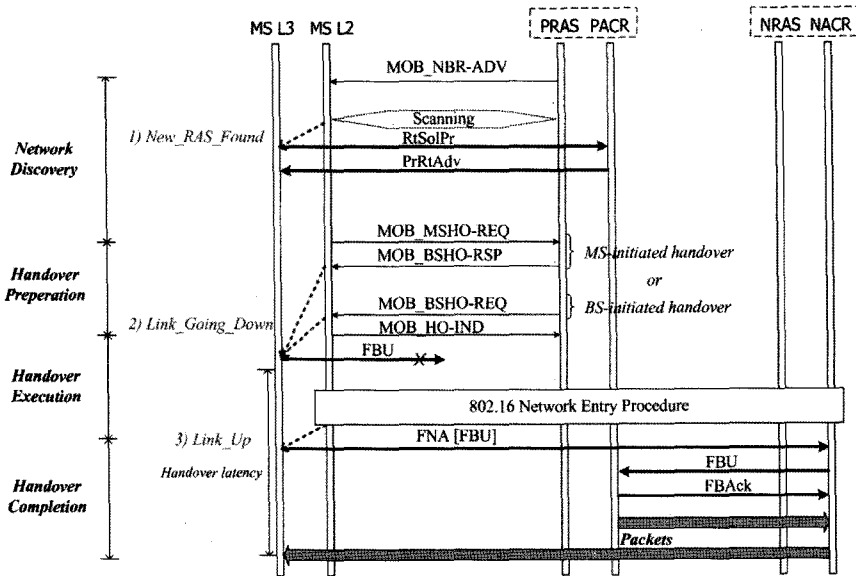


그림 6 Reactive Mode에서 제안 핸드오버 시나리오

4.3.2 Reactive Mode 시나리오

- 1~5. Predictive Mode와 동일함.
- 6. 3계층은 Link_Going_Down 수신 즉시 PACR에게 FBU 메시지를 전송한다. 이러한 전송을 할 수 없거나 전송을 하더라도 FBU에 대한 응답으로 FBAck 수신에 실패하면 Reactive 모드로 동작한다.
- 7. 단말은 와이브로 표준에 따른 네트워크 진입 절차를 수행한다.
- 8. 네트워크 진입 절차가 완료되면 단말의 2계층은 Link_Up을 발생시켜 3계층에 알리고 3계층은 NACR에게 즉시 FNA를 전송한다. 이때 이동 단말은 Reactive 모드로 동작하므로 FNA 메시지에 FBU 메시지를 포함한다.
- 9. NACR이 FNA 메시지를 수신하면, 포함된 NCoA의 유일성을 점검하고, 주소가 유일하다면 PACR과 FBU 및 FBAck 메시지를 교환하여 터널을 만들고 터널링된 패킷을 최종적으로 단말에게 전달한다. 만일 NCoA가 이미 사용 중이면, NACR은 단말에게 NAACK 메시지를 포함한 Router Advertisement 메시지를 단말에게 전송하고, FBU 메시지는 폐기한다.

5. 성능 분석

성능분석을 위해 본 논문에서는 패킷수준 트래픽 모델, 시스템 모델 및 단말의 이동성 모델을 정의한다. 이러한 모델을 이용하여 본 장에서는 FMIPv6의 성능을 분석할 것이며, 중요한 분석 기준은 한번 이동하는데 요구되는 L2/L3 핸드오버 지연시간이다.

5.1 시스템 및 이동성 모델

일반적으로, 하나의 서브넷은 하나이상의 RAS 영역으로 구성된다. 편의상 모든 RAS 영역은 같은 모양과 같은 크기를 가지는 메시형 사각형 구조를 갖는다고 가정한다. 또한 단말은 [14,15]에서와 같이 2차원 랜덤워크 모델(Random Walk Model)을 따라 이동한다고 가정한다. 본 논문에서는 RAS 및 ACR 밑에 산재한 단말들의 밀도는 고려하지 않고 단지 하나의 단말에 대한 시그널링 비용 및 핸드오버 시간을 비교한다.

임의의 서브넷이 $N = 4n^2 - 4n + 1$ RAS영역들로 구성된다면 이 서브넷을 n -layer 서브넷이라 부른다. 그림 7(a)는 3-layer 서브넷 구조를 보여준다. 각 서브넷은 중심부로부터 링을 그리며 layer 0, layer 1, layer 2... 등으로 명기하고 layer $x-1$ RAS영역을 둘러싸고 있는 RAS영역을 layer x RAS영역이라고 한다. n -layer 서브넷은 layer 0 RAS영역부터 layer $n-1$ RAS영역까지 구성된다.

단말이 어느 기간 동안 하나의 RAS영역에 머물다가 그림 7(b)처럼 이웃한 4계층 하나의 RAS영역으로 동일한 확률(즉, 1/4)로 이동한다고 가정한다면, 하나의 서브넷 내의 모든 RAS영역들은 몇 가지의 RAS영역 그룹으로 나눌 수 있다. RAS영역 그룹은 $\langle x, y \rangle$ 형태로 구분된다. 이때 x 는 RAS영역이 layer x 내에 있음을 나타내고, y 는 layer x 내에서 $y+1$ 번째 그룹임을 나타낸다. 동일한 유형의 RAS영역은 동일한 이동 패턴을 보인다. 그림 7(a)는 3-layer 서브넷에 대한 RAS영역의 유형들을 표시하고 있다.

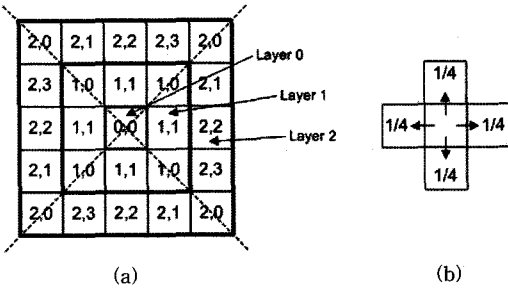


그림 7 (a) 3-layer 서버넷 구조, (b) 단말의 이동 패턴 및 확률

랜덤워크 모델에서 상태 (x,y) 는 임의의 단말이 $\langle x,y \rangle$ 그룹의 RAS영역중 하나에 위치하고 있음을 나타낸다. $0 \leq j \leq 2n-3$ 인 j 에 대해서, 흡수(absorbing) 상태 (n,j) 는 단말이 $(n-1,j)$ 상태에서부터 해당 서버넷 밖으로 나간 상태를 의미한다. 3-layer 서버넷에서의 랜덤워크 상태 전이도(State Transition Diagram)은 그림 8과 같다.

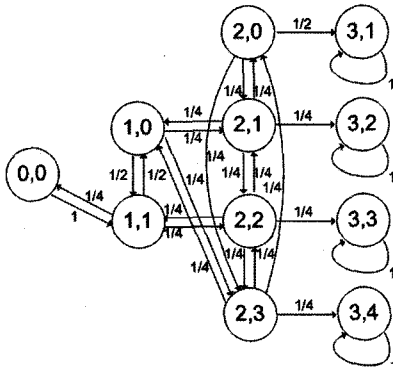


그림 8 랜덤워크 모델을 따르는 단말의 이동 형태에 대한 상태 전이도

한편 이와 같은 랜덤워크 상태 전이도에 대한 전이행렬(Transition Matrix)은 $P=(p_{(x,y)(x',y')})$ 으로서 다음과 같이 표현된다.

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{4} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

위 행렬을 이용하여 Chapman-Kolmogorov 등식을 이용하여 행렬 $P^{(k)}$ 를 구할 수 있다[16]. $k \geq 1$ 에 대해서, $P^{(k)}$ 의 임의의 구성 원소 $p_{(x,y)(x',y')}^k$ 는 상태 (x,y) 에서 상태 (x',y') 로 정확히 k 단계 만에 이동할 확률을 의미한다.

두 행렬 F 와 $P^{(k)}$ 를 이용하여 마지막으로 $p_{k,(x,y),(n,j)}$ 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

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

위 식으로 부터 $p_{k,(x,y),(n,j)}$ 는 초기에 $\langle x,y \rangle$ 그룹의 RAS중 하나에 위치하던 단말이 $k-1$ 번째 단계에서 $\langle n-1,j \rangle$ 그룹의 RAS로 이동했다가 마지막 k 번째 단계에서 해당 서버넷을 벗어날 확률을 의미한다.

또한, $0 \leq j \leq 2n-3$ 인 j 에 대해서 $q_{(n-1,j)}$ 를 단말이 $\langle n-1,j \rangle$ 유형의 RAS영역을 통해서 서버넷으로 들어올 확률이라고 정의한다. 이와 비슷하게 $\tilde{q}_{(n-1,j)}$ 를 $\langle n-1,j \rangle$ 유형의 RAS영역을 통해서 서버넷을 나갈 확률이라고 정의한다. 이 때, $n > 2$ 이고 $0 \leq j \leq 2n-3$ 인 n 과 j 에 대하여 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\sum_{j=0}^{2n-3} \tilde{q}_{(n-1,j)} = 1$$

$$\tilde{q}_{(n-1,j)} = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{y=0}^{2n-3} q_{(n-1,y)} p_{k,(n-1,y)(n,j)}$$

위 식에서 오른쪽의 세부 식들이 의미하는 것은 단말이 초기에 $\langle n-1,y \rangle$ RAS 영역에 위치하다가 k 번째 이동 이후 $\langle n-1,y \rangle$ RAS 영역에서 현재 위치하는 서버넷을 빠져나가는 확률의 곱을 표현하고 있다. 그림 7(a)와 그림 9로부터 다음을 알 수 있다.

$$\tilde{q}_{(n-1,j)} = q_{(n-1,j)}$$

위 식으로부터 $q_{(n-1,j)}$ 에 대한 선형 시스템(linear

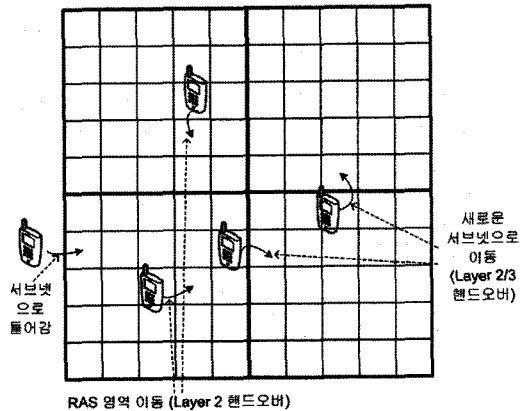


그림 9 RAS 영역 및 서버넷 영역과 단말의 이동 패턴

system) 및 해를 얻을 수 있다. 2-layer 서브넷에 대해서는 $q(1,0) \approx 66.667\%$ 및 $q(1,1) \approx 33.333\%$ 을 얻을 수 있다. 또한, 3-layer 서브넷에 대해서 $q(2,0) \approx 40\%$ 이고, $0 < j \leq 3$ 일 때 $q(2,j) \approx 20\%$ 임을 얻을 수 있다. 또한 4-layer 서브넷의 경우 $q(3,0) \approx 28.571\%$ 이고 $0 < j \leq 5$ 에 대해서 $q(3,j) \approx 14.285\%$ 임을 알 수 있다. 마지막으로 5-layer 서브넷의 경우 $q(4,0) \approx 22.222\%$ 이고 $0 < j \leq 7$ 에 대하여 $q(4,j) \approx 11.111\%$ 을 구할 수 있다[13]. 이러한 확률은 동일한 방법에 의해서 임의의 layer까지 확장될 수 있다. 위 해를 구할 때에 무한대까지의 합을 위하여 500개의 항을 더하였으며 이 때 오차는 10^{-17} 이하이다.

마지막으로, 단말이 임의의 서브넷을 들어가서 나올 때까지 M개의 RAS영역을 이동한다고 가정할 때, $n=1$ 이면 $E[M]=1$ 이고 $n \geq 2$ 일 때 $E[M]$ 은 다음과 같다.

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

5.2 성능 평가 결과

본 논문에서 평가 대상이 되는 FMIPv6 핸드오버 지연시간에 대한 정의는 이전 RAS영역에서 받은 마지막 패킷의 시각과 새로운 RAS영역에서 받은 첫 번째(터널링) 패킷의 시각차이로 정한다. 한편, IEEE 802.16e에서 기술된 Layer 2의 핸드오버 지연시간의 정의는 이전 RAS영역에서 단말이 MOB_HO-IND를 보내는 시각과 새로운 RAS영역에서 네트워크 진입과정을 완료하고 Layer 3에게 Link_Up 트리거를 보내는 시각차이로 정한다.

이와 같은 정의와 함께 FMIPv6의 핸드오버 지연시간을 정확하게 구하기 위하여 다음과 같은 파라미터를

정의한다.

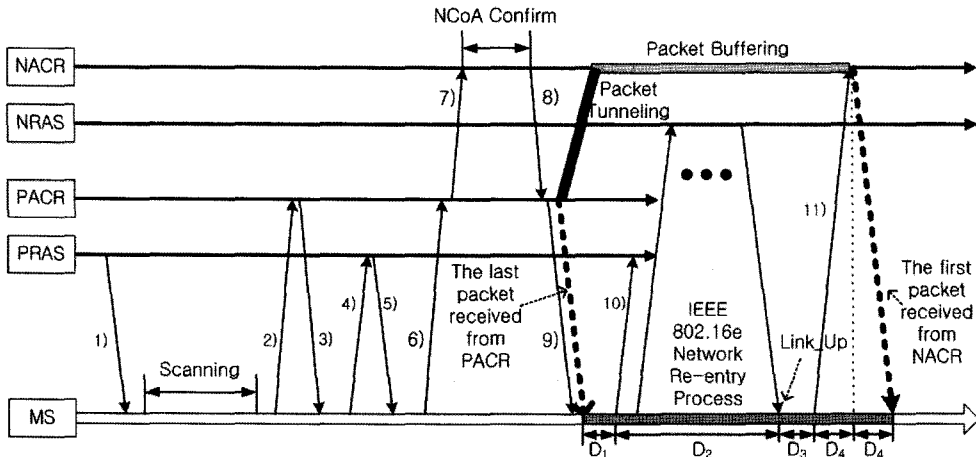
- D_1 : PACR로부터 FBAk과 마지막 패킷을 받은 후 MOB_HO-IND 메시지를 내보내는 시간
- D_2 : Layer 1/2 핸드오버 지연시간
- D_3 : Link_Up 트리거를 받고 FNA를 내보내는 시간
- D_4 : 단말부터 NACR까지 (또는 NACR에서 단말까지) 패킷 전달 시간
- D_5 : NACR에서 수행하는 NCoA에 대한 유일성 테스트 지연 시간
- D_6 : NACR에서 PACR까지 (또는 PACR에서 NACR까지) 패킷 도달 시간
- D_7 : PACR에서 FBU를 받고 데이터 패킷 터널링을 시작할 때까지의 시간

본 논문의 간단명료성을 위하여, 핸드오버에 관련된 모든 시그널링 및 데이터는 그 근원지와 목적지가 같다면 시그널링 메시지와 데이터의 크기에 관계없이 같은 지연시간이 걸린다고 가정한다. 이 때, FMIPv6의 Predictive 모드가 사용될 때 ACR간 이동 시 핸드오버 지연시간은 다음과 같다(그림 10 참조).

$$D_1 + D_2 + D_3 + 2D_4$$

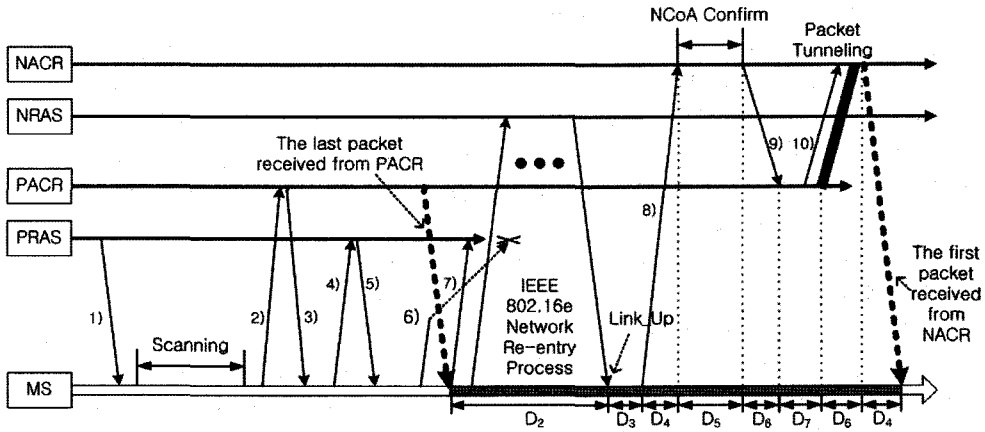
또한 ACR간 이동 없이 단지 RAS간의 이동도 함께 고려하여, FMIPv6의 Predictive 모드가 사용될 때 단말의 임의 이동시에 요구되는 평균 핸드오버 지연시간 H_p 은 다음과 같다.

$$H_p = \frac{(E[M]-1)D_2 + D_1 + D_2 + D_3 + 2D_4}{E[M]} = D_2 + \frac{D_1 + D_3 + 2D_4}{E[M]}$$



- 1) MOB_NBR-ADV, 2) RtSolPr, 3) PrRtAdv, 4) MOB_MNHO-REQ, 5) MOB_BSHO-RSP
- 6) FBU, 7) HI, 8) HAcK, 9) FBAcK, 10) MOB_HO-IND, 11) FNA

그림 10 Predictive Mode로 동작되는 FMIPv6 over IEEE 802.16 성능평가



1) MOB_NBR-ADV, 2) RtSolPr, 3) PrRtAdv, 4) MOB_MNHO-REQ, 5) MOB_BSHO-RSP
6) FBU, 7) MOB_HO-IND, 8) FNA[FBU], 9) FBU, 10) FBBack

그림 11 Reactive Mode로 동작되는 FMIPv6 over IEEE 802.16 성능평가

한편, FMIPv6의 Reactive 모드가 사용될 때 ACR간 이동 시 핸드오버 지연시간은 다음과 같다(그림 11 참조).

$$D_2 + D_3 + 2D_4 + D_5 + 2D_6 + D_7$$

또한 ACR간 이동 없이 단지 RAS간의 이동도 함께 고려하여, FMIPv6의 Reactive 모드가 사용될 때 단말의 임의 이동시에 요구되는 평균 핸드오버 지연시간 H_R 은 다음과 같다.

$$H_R = \frac{(E[M]-1)D_2 + D_2 + D_3 + 2D_4 + D_5 + 2D_6 + D_7}{E[M]}$$

$$= D_2 + \frac{D_3 + 2D_4 + D_5 + 2D_6 + D_7}{E[M]}$$

성능분석을 위하여 사용될 각 파라미터에 대한 기본 값 리스트는 표 1에서 보여준다. 이 값들은 가정에 의한 값이며 무선 환경, 네트워크 구조, 단말과 RAS, ACR 내부의 프로토콜 구현 방법 등에 의하여 다양하게 바뀔 수 있다.

그림 12는 표 1에 제시된 파라미터 값들을 이용하여 FMIPv6의 Predictive Mode와 Reactive Mode의 평균 핸드오버 지연시간을 보여주고 있다. 우선 서브넷의 크기가 클수록, 즉 한 서브넷 내에 RAS의 개수가 많을

표 1 파라미터 기본 값 리스트

파라미터	값
$D_1 = D_3 = D_7$	5ms
D_2	30ms
D_4	2ms
D_5	10ms
D_6	3ms

수록 단말의 평균 핸드오버 지연 시간은 줄어들 수 있다. 이러한 결과의 원인은 네트워크 레벨의 L3 핸드오버가 발생하는 경우가 줄어들기 때문이다. 한편, 모든 RAS가 하나의 서브넷으로 구성될 때, 즉 $n=1$ 때는 Reactive Mode와 Predictive Mode의 핸드오버 지연시간이 Layer 1/2 평균 핸드오버 지연시간 (30ms)에 비해 각각 2배와 1.5배 정도 늘어남을 알 수 있다. 마지막으로, 서브넷의 크기가 커질수록 Predictive Mode와 Reactive Mode의 성능 차이가 줄어들는 것도 알 수 있다. 일반적으로 VoIP와 같이 실시간 서비스에서 제시하는 핸드오버 지연시간의 요구사항은 50ms이하로 알려져 있다. 그러므로, 그림 12는 임의의 서브넷에 RAS가 2개 이상만 배치만 되면 제안하는 방안이 그러한 실시간 서비스의 핸드오버 요구사항을 만족시킴을 알 수 있다.

그림 13은 표 1에 제시된 파라미터 중 단말 및 ACR

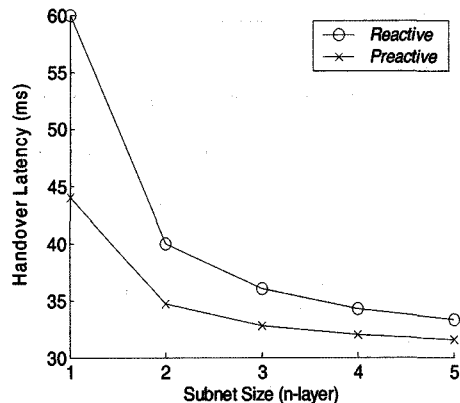


그림 12 평균 핸드오버 지연시간 비교

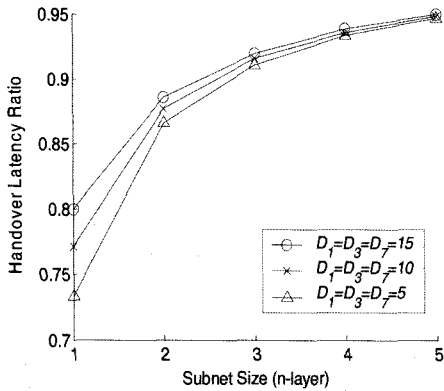


그림 13 단말 및 ACR 내부 프로세싱 지연 시간이 핸드 오버 지연시간에 미치는 영향

내부 프로세싱(Processing) 지연 시간이 전체 핸드오버 지연시간에 미치는 영향에 대한 분석 결과를 보여준다. 이 분석에서는 Predictive Mode 핸드오버 지연시간을 Reactive Mode 핸드오버 지연시간으로 나눈 비율 값, H_P/H_R 을 Metric으로 정하였다. 그러므로, 이 비율 값이 작으면 작을수록 Predictive Mode가 Reactive Mode보다 성능면에서 더 좋다는 것을 알 수 있다. 그림 11에서 이미 알 수 있었듯이 서브넷 크기가 커질수록 Predictive Mode의 성능은 Reactive Mode보다 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 또한, 서브넷 크기가 작은 네트워크 환경에서는 전체 핸드오버 지연 시간이 커지므로 가급적 Predictive Mode를 사용하여 더욱 더 그 지연 시간을 줄일 필요가 있음을 알 수 있다. 한편, 단말 및 ACR이 가급적 빨리 내부 프로세싱을 끝내야지 Predictive Mode의 성능이 높아짐도 알 수 있다. 이러한 결과로부터 Predictive Mode의 성능이 내부 프로세싱 지연 시간에 민감하다는 사실을 알 수 있다.

그림 14는 파라미터 D_4 , 즉 단말부터 NACR까지(또는 NACR에서 단말까지) 패킷 전달 시간에 대하여 H_P/H_R 값의 변화 분석 결과를 보여준다. 그림 6에서 보여준 분석과 비슷하게 D_4 값이 작을수록 Predictive Mode가 Reactive Mode보다 더 성능이 좋아짐을 알 수 있다. 즉, Predictive Mode의 성능이 단말부터 NACR까지(또는 NACR에서 단말까지) 패킷 전달 시간에 대해서도 민감하다는 사실을 알 수 있다. 또한, 이 그림으로부터 서브넷의 크기가 상당히 커서 Layer 1/2 핸드오버가 상대적으로 Layer 3 핸드오버보다 매우 많이 발생하는 환경에서는 Predictive Mode나 Reactive Mode간의 성능 차이는 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

한편, 파라미터 D_5 , 즉 NACR에서 수행하는 NCoA에 대한 유일성 테스트 지연 시간에 대하여 H_P/H_R 값의

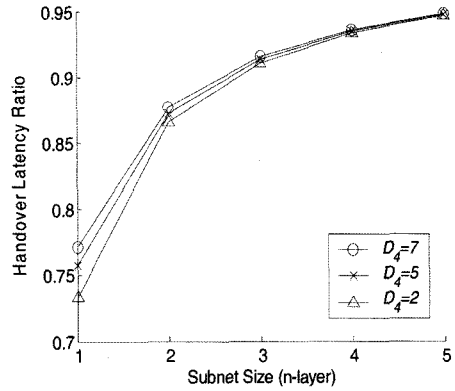


그림 14 단말부터 NACR까지(또는 NACR에서 단말까지) 패킷 전달 시간이 핸드오버 지연시간에 미치는 영향

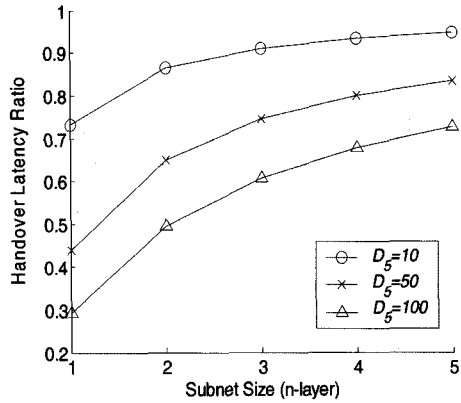


그림 15 NACR에서 수행하는 NCoA에 대한 유일성 테스트 지연 시간이 핸드오버 지연시간에 미치는 영향

변화 분석 결과는 그림 15에 도식화되어 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이, D_5 는 Predictive Mode와 Reactive Mode 성능에 상당히 큰 영향을 준다. 그 이유는 NACR에서 수행하는 NCoA에 대한 유일성 테스트 지연 시간은 Reactive Mode인 경우 핸드오버 지연 시간을 이루는 요소가 되지만 Predictive Mode일 경우는 그렇지 않기 때문이다. 그래서, D_5 값이 클수록 Predictive Mode의 성능이 Reactive Mode보다 월등히 앞서는 것을 알 수 있다. 또한, D_1, D_3, D_4, D_7 과 같은 파라미터에 대한 영향과는 달리 D_5 값은 서브넷 크기에 관계없이 일정한 영향을 H_P/H_R 값에 준다는 점도 특이할 만하다.

마지막으로, 그림 16은 파라미터 D_6 , 즉 NACR에서 PACR까지(또는 PACR에서 NACR까지) 패킷 도달 시간에 대하여 H_P/H_R 값의 변화 분석 결과를 보여준다.

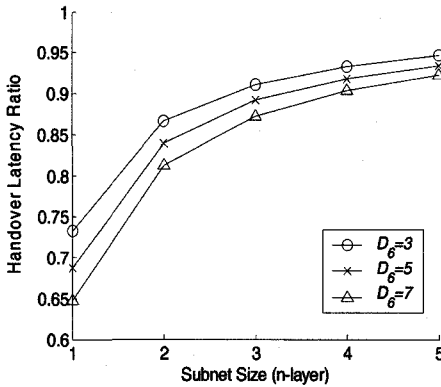


그림 16 NACR에서 PACR까지(또는 PACR에서 NACR까지) 패킷 도달 시간이 핸드오버 지연시간에 미치는 영향

우선, D_6 에 대한 변화 분석 결과와 비슷하게 D_6 값도 서브넷 크기에 관계없이 일정한 영향을 H_p/H_R 값에 준다는 점을 알 수 있다. 한편, D_6 은 Reactive Mode의 핸드오버 지연시간의 요소가 되지만 Predictive Mode에서는 그렇지 않기 때문에 D_6 의 값이 클수록 Predictive Mode의 성능은 Reactive Mode 보다 좋아진다.

6. 결론

와이브로는 기존 고정 사용자를 지원하는 것 외에 이동 사용자까지 지원하기 위한 핸드오버 기술을 가장 핵심 기능으로 표방하고 있다. 그러므로 단일 ACR(단일 서브넷) 하에 두 RAS간 이동에 관한 표준 스펙이 이미 잘 정의되어 있다. 하지만 IPv6 서비스를 와이브로 망에서 실현할 때 고려해야 할 두 ACR(다른 서브넷) 사이의 IP 핸드오버 기술에 대한 구체적인 언급은 아직 어느 표준에서도 찾아보기 힘들다. 본 논문은 IETF에서 최근에 RFC로 제정한 IPv6 핸드오버 기술인 FMIPv6을 와이브로 망에 적용할 때 고려해야 할 네트워크 탐색, 이동 준비, 이동 실행, 네트워크 진입, 이동 완료 등과 관련된 구체적 기술을 설명하고 있다. 특히, 본 논문은 표 2에서와 같이 핸드오버 수행 단계마다 필요한 2

계층과 3계층 사이의 상호 연동을 위한 Primitive들을 제안한다. 또한, 이러한 Primitive들을 활용하여 FMIPv6 핸드오버 절차와 와이브로 핸드오버 절차가 어떻게 섞여서 동작해야 하는지를 Predictive mode 와 Reactive mode로 나누어 제안하고 구체적 시나리오를 제시한다.

마지막으로, 성능평가에서는 전체 핸드오버 과정을 시간축으로 다시 전개하면서 지연 시간 파라미터들을 도출하고 각각의 도출된 파라미터마다 적절한 값을 가정하면서 와이브로 망에서 FMIPv6의 핸드오버 지연시간을 분석하였다. 파라미터 값에 따라 크게 변동은 있겠지만 분석 결과로서 적절한 파라미터 값 하에 FMIPv6을 활용할 때에 2계층과 3계층 통합 핸드오버 지연시간이 Predictive mode인 경우 30~45ms, Reactive mode인 경우 35~60ms 정도로 분포됨을 알 수 있었다. 또한, Predictive mode가 Reactive mode보다 여러 가지 파라미터 값들에 따라 대체로 5~30% 정도 핸드오버 지연시간을 줄일 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] TTAS.KO-06.0082, 2.3GHz 휴대인터넷 표준-물리계층 및 매체제어계층, 2005년 6월 29일.
- [2] C. Perkins, Ed., "IP Mobility Support for IPv4," RFC 3344, August 2002.
- [3] Johnson, D., Perkins, C., and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, June 2004.
- [4] N. Montavont and T. Noel, "Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks," IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 38-43, Aug. 2002.
- [5] L. Leoleis, G. Venieris, I.O. Dimopoulou, "Fast handover support in a WLAN/WMAN environment: challenges and perspectives," IEEE Network, Vol. 19, No. 3, pp. 14-20, May-June 2005.
- [6] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," RFC 4068, July 2005.
- [7] IEEE 802.21 TG document, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services, P802.21 /D00.01, July 2005.
- [8] V. Gupta and D. Johnston, "IEEE 802.21, A Generalized Model for Link Layer Triggers," IEEE

표 2 2계층과 3계층 간의 Primitive

Primitive	전송방향	설명
New_RAS_Found	L2->L3	2계층에서 새로운 RAS가 발견되었으므로 RAS와 연결된 ACR의 정보를 획득해야 할 필요가 있음을 3계층에 통보함
Link_Going_Down	L2->L3	링크에서 감지되는 신호의 세기가 점차 약화되어 핸드오버가 임박하다고 판단되므로 3계층에게 핸드오버 프로시저를 준비해야 함을 통보함
Link_Switch	L3->L2	3계층의 핸드오버 준비가 완료되었으므로 2계층에 실질적인 핸드오버 수행을 지시함
Link_Up	L2->L3	핸드오버 후, 새로운 링크에서 네트워크 진입과정 완료 후, 링크가 사용 가능함을 3계층에게 통보함

802.21 WG, Mar. 2004, http://www.ieee802.org/21/march04_meeting_docs/21-04-0027-00-0000-Generalized_triggers.pdf, March 2004.

[9] X. Liu and Y.-H. Han, "Interaction between L2 and Upper Layers in IEEE 802.21," IEEE 802.21 WG, Mar. 2004, http://www.ieee802.org/21/march04_meeting_docs/21-04-0008-00-0000-L2_upper_layer_interaction.ppt, March 2004.

[10] P. McCann, "Mobile IPv6 Fast Handovers for 802.11 Networks," draft-ietf-mipshop-80211fh-04 (work in progress), February 2005.

[11] K. Mitani, "Unified L2 Abstractions for L3-Driven Fast Handover," draft-koki-mobopts-l2-abstractions-02 (work in progress), February 2005.

[12] IEEE 802.16 TGe WG draft (Draft Standard), "Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands", 802.16e/D9, Jun 2005.

[13] WiMAX Network WG document, "End-to-End Network Systems Architecture," (Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model and 12 Reference Points), September 2005.

[14] I. F. Akyildiz, Y.-B. Lin, W.-R. Lai, and R.-J. Chen, "A new random walk model for PCS networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 7, pp. 1254-1260, July 2000.

[15] S.-H. Hwang, Y.-H. Han, and S.-G. Min, "Performance Analysis of IPv6 Mobility Protocols over IEEE 802.11 Network," IEICE Transaction on Communication, Vol.E87-B, No.9, pp.2613-2625, September 2004.

[16] S. M. Ross, Stochastic Processes, Wiley, Jan. 1995.



황 승 회

2000년 고려대학교 컴퓨터학과 이학사
 2002년 고려대학교 컴퓨터학과 이학석사
 2005년 고려대학교 컴퓨터학과 이학박사
 2006년 2월~6월 우송대학교 컴퓨터학과 초빙교수. 2006년 7월~현재 대한민국 특허청 특허심사사무원



장 회 진

2001년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 공학사. 2003년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 공학석사. 2003년~현재 삼성종합기술원 연구원



한 언 회

1996년 고려대학교 수학과 이학사. 1998년 고려대학교 컴퓨터학과 이학석사. 2002년 고려대학교 컴퓨터학과 이학박사. 2002년~2006년 삼성종합기술원 전문연구원. 2005년~현재 TTA IPv6 PG, WiBro6 WG 공동의장. 2006년~현재 한국과학기술교육대학교 인터넷미디어공학부 교수

국기기술교육대학교 인터넷미디어공학부 교수