

IEEE 802.16e 기반 MIPv6망에서의 고속 핸드오버 기법

준회원 임치현*, 오 룡*, 동정식*, 정회원 이형우**, 종신회원 조충호*

Fast Handover Scheme for MIPv6 Based on IEEE 802.16e

Chi-Hun Lim*, Ryong Oh*, Jeong-Sik Dong* *Associate Members*,
Hyong-Woo Lee** *Regular Member*, Choong-Ho Cho* *Lifelong Member*

요약

Mobile IPv6 환경에서 고속 핸드오버 프로토콜은 핸드오버 지연 시간을 줄임으로써 끊임 없는 서비스가 가능하도록 해준다. 이러한 고속 핸드오버의 이점을 IEEE 802.16e 환경에 적용하고자 본 논문은 다중 동시 바인딩 기법과 IEEE 802.21에서 제안된 이중망간의 핸드오버 기법을 이용한 IEEE 802.16e 기반 MIPv6망에서의 고속 핸드오버 기법을 제안한다. 또한 수학적 분석을 통해 기존의 FMIPv6와 핸드오버 지연과 패킷 손실량을 비교 분석한다.

Key Words : FAST HANDOVER, SIMULTANEOUS BINDING, IEEE 802.16e, TRIGGER, HANDOVER LATENCY

ABSTRACT

A Fast handover protocols for Mobile IPv6 networks can support seamless service by reducing handover latency to mobile nodes. To gain advantage derived from the fast handover in IEEE 802.16e networks, we propose a new fast handover protocol using a multiple simultaneous binding mechanism and a handover protocol based on trigger event for IEEE 802.21 in order to integrate IEEE 802.16e handover protocol and FMIPv6 handover protocol using link layer trigger. Through the numerical analysis, we compare performance of the proposed protocol and FMIPv6 protocol.

I. 서론

인터넷이 정보화 사회에서 정보 인프라로 자리매김하면서 사용자 및 기기의 증가로 인해 여러 가지 문제들이 생겨났다. 이에 주소 고갈 문제 해결, 라우팅의 효율성, 보안, QoS(Quality of Services) 등의 향상을 목표로 하는 IPv6(Internet Protocol Version 6)가 탄생하였다.

이러한 IPv6의 기능들을 사용하면서 효과적인 이동성을 제공하기 위한 해결책으로 MIPv6(Mobile IPv6)^[1]가 제안되었다. MIPv6는 이동 단말이 이동 중에 AR(Access Router)을 바꿔야 할 경우 어떻게

이전의 연결을 유지할 것인가에 관해 다른 프로토콜이다. 이 때 연결을 유지하기 위한 과정을 핸드오버라고 한다. 핸드오버 시에는 Link Switching(L2 핸드오버)과 IP Processing(L3 핸드오버)으로 인해 IPv6 패킷이 통신할 수 없는(서비스 중단) 시간, 즉 핸드오버 시 단말이 새로운 prefix를 찾는 시간과 새로운 COA 생성시간 그리고 HA와 CN에게 새 위치를 알리는 시간의 지연으로 인한 Handover Latency가 불가피하게 발생하게 된다. 이러한 Handover Latency가 클 경우 실시간 서비스가 필요하거나 지연에 민감한 서비스의 경우 제대로 된 서비스가 불가능하게 된다.

* 본 연구는 학술진흥재단의 선도연구지원사업(KRF-2004-041-D00457)에 의하여 연구결과로 수행되었습니다.

* 고려대학교 컴퓨터정보학과 테이터통신및네트워크 연구실 (crusade@korea.ac.kr, chcho@korea.ac.kr)

** 고려대학교 전자및정보공학부 B-ISDN 연구실 (hwlee@korea.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-04-165, 접수일자 : 2007년 4월 9일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 1일

이에 최근 Handover Latency를 줄이기 위해 FMIPv6(Mobile IPv6 Fast Handover protocol)^[2]가 제안되었다. 이 프로토콜은 Layer 2 계층에서의 도움(L2 트리거)을 전제로 Layer 3 계층에서의 빠른 핸드오버 과정을 제안하고 있다. 그러나 Layer 2 계층에서의 핸드오버과정과 Layer 3 계층에서의 핸드오버 과정을 표준화 하는 기구가 다르다. 따라서 Layer2 핸드오버에 대한 고려 없이 L3 핸드오버 기법이 제안되어 특정 어플리케이션(VOIP, real-time streaming)의 조건에 맞는 서비스를 제공하기 어렵다. 또한 Layer 2 계층의 트리거 정보를 이용해 예측 기법을 사용하기 때문에 가변적인 링크 특성으로 예측한 정보가 정확하지 않을 수도 있다. 이 경우 불필요한 지연과 버퍼 공간을 낭비하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 IEEE802.21에서 제시된 링크 계층 트리거 이벤트^[3]를 기반으로 Layer 2 핸드오버 프로토콜인 IEEE 802.16e Handover 프로토콜^[4]과 Layer 3 핸드오버 프로토콜인 FMIPv6 Handover 프로토콜의 연동프로토콜인 MSFMIPv6 (Multiple Simultaneous Binding FMIPv6)을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 Layer 2 핸드오버 절차와 Layer 3 핸드오버 프로토콜인 FMIPv6에 대하여 간단히 살펴보고, III장에서는 IEEE 802.16e 기반 MIPv6망에서 다중 동시 바인딩 기법을 이용한 고속 핸드오버 기법을 제안한다. IV장에서는 제안된 핸드오버 기법을 분석하였으며, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 연구

2.1 Layer 2 핸드오버 절차⁽⁵⁾

Layer 2 핸드오버의 일반적인 절차는 다음과 같다.

- 1) Scan 단계: 이동 단말이 주변에 있는 기지국들에 대한 정보를 얻는 단계이다. 본 단계에서 얻어지는 정보는 접속 가능한 기지국들의 리스트 및 각 기지국의 전파 세기를 포함한다.
- 2) Join 단계: 이동 단말이 접속 가능한 기지국들 중의 하나를 사전에 정해진 원칙에 의해서 선택한 후, 선택된 기지국과 물리적으로 동기화(즉, timing parameter들의 동기화)시키는 단계이다.
- 3) Authentication 단계: 이동 단말이 접속하고자 하는 기지국에게 접속 허용을 요청 하는 단계이다. 인증이 되면 다음 단계가 수행되지만 인

증이 실패한 경우에는 연결 설정 절차가 진행되지 않는다.

- 4) Connection 단계: 이동 단말이 새로운 기지국에 통신 채널의 연결을 요청하는 단계이다.
- 5) Receive 단계: 요청을 받은 기지국은 가능하다면 기지국간 프로토콜을 이용하여 이전 기지국에서 필요한 정보를 얻고 수 정한 후 이동 단말에게 L2 update frame 을 전달한다. 이 정보를 수신한 이동 단말 은 자신의 L2 정보를 수정하여 정상적인 통신이 가능하게 한다.

위에서 제시한 절차에서 1단계는 주변 기지국을 찾는 스캔 단계라 하며, 2~5단계는 통칭하여 스위칭(switchover) 단계라 한다. 위 절차에서 가장 중요한 것은 scan 단계의 실행시점이다. 이는 전체적인 데이터 전송 효율에 영향을 미치므로 핸드오버 수행 시 지연 시간과 버퍼, 채널 대역 등의 자원의 양 등을 고려해서 적당한 실행 시점을 선택해야 한다. 또한 스캔의 주기는 전파 상황이 얼마나 빨리 바뀌느냐에 따라서 결정될 수 있다. 즉, 빠른 속도로 이동하거나 전파가 불안정할 때는 스캔의 주기도 이를 고려하여 짧아야 하고 이동이 없거나 느린 경우 혹은 안정적인 전파 세기를 가진 경우에는 주기가 상대적으로 길게 설정할 수 있다. 스캔의 주기가 짧을수록 시스템 자원은 많이 소모되므로 시스템의 성능 등을 고려하여 결정되어야 한다.

2.2 IEEE 802.16e Handover 절차

기지국(BS)은 MOB_NBR-ADV 메시지를 이동단말에게 전송하여 네트워크 토폴로지에 관한 정보를 알린다. MOB_NBR-ADV 메시지는 일반적으로 각 기지국의 DCD/UCD 메시지 전송에 의해 제공된 인접 기지국의 정보를 제공한다. 기지국은 백본을 통해 인근 기지국의 DCD/UCD 메시지를 수신한다. 이 정보는 targetBS(단말이 핸드오버의 마지막 과정에서 등록을 하려고 하는 기지국)으로부터 전송을 감시하게 하기 위해 인접 기지국과의 이동단말의 동기를 용이하게 한다.

핸드오버를 하려는 targetBS를 선택하기 위해 가용 기지국 적합성을 찾고 감시하는 이동단말을 위해 기지국은 이동단말에게 시간 간격을 할당한다. 이동단말이 가용 기지국을 위해 스캔 하는 동안의 시간은 Scanning Interval로 언급한다. 이동단말은 MOB_SCN-REQ 메시지를 사용하여 스캐닝 간격의 할당을 요구한다. 이동단말은 본 메시지에서 스캔

시 이동단말이 필요한 예상 지속시간을 지시한다. 이동단말 또는 기지국은 정상 동작의 Interleaving Interval과 Scanning Interval 할당을 위해 교환되는 MOB_SCN-REQ와 MOB_SCN-RSP 메시지의 수를 줄이기 위해 MOB_SCN-REQ/RSP 메시지의 단일 교환을 통해 할당되도록 요구된다. 해당 메시지들은 빈번한 스캔이 요구될 때 여러 scanning 기회를 만들기 위해 요구된다. Scanning Interval과 Interleaving Interval은 스캔을 반복한 만큼 반복된다.

MOB_SCN-REQ 메시지를 수신하면, servingBS (초기 망 진입 절차 또는 핸드오버 동안 단말이 최근에 등록을 수행한 기지국)는 MOB_SCN-RSP 메시지로 응답한다. 이동단말은 T³¹타이머 내에 MOB_SCN-RSP 메시지를 수신하지 못하면 MOB_SCN-REQ 메시지를 재전송한다. 해당 요구를 보증하는 MOB_SCN-RSP 메시지를 수신하고 시작 프레임의 시작하면, 이동단말은 메시지에 할당된 시간 간격 동안 하나 이상의 기지국을 스캔한다. 가용 기지국이 scanning을 통해 파악되면 이동단말은 가용 기지국의 하향링크 전송과 동기화 하기 위해 시도하고 PHY 채널 품질을 평가한다.

Interleaving Interval동안 Scanning Interval 후 또는 scanning 모드에서 나와 정상 작동을 재개한 후 servingBS는 Scanning Interval동안에 이동단말에 주소가 되어있는 수신 데이터를 버퍼링하고 해당 데이터를 전송한다. 이동단말은 Scanning Interval동안 PDU를 servingBS에 전송함으로써 언제나 scanning을 종료하고 정상 작동으로 복귀한다. servingBS가 scanning 모드라고 가정하는 이동단말로부터 Scanning Interval동안 PDU를 수신하면, 기지국은 이동단말이 더 이상 scanning 모드에 있지 않다고 가정한다.

이 후, 이동단말이 servingBS에서 targetBS로 자신의 무선 인터페이스, 서비스 플로우, 네트워크 침투를 핸드오버하기 위해 결정함으로써 핸드오버는 시작된다. 그 결정은 이동단말, servingBS, 또는 네트워크에서 발생된다. 핸드오버는 MOB_MNHO-REQ 또는 MOB_BSHO-REQ 메시지를 통한 이동단말의 의도적 핸드오버에 관한 통지와 함께 결정된다. 핸드오버 통지는 추천되지만 요구사항은 아니다. 핸드오버 통지는 servingBS 또는 이동단말에서 발생된다. 통지에 대한 MOB_BSHO-RSP의 응답 메시지는 요구된다. MOB_MNHO-REQ 메시지를 전송한 이동단말이 수신 MOB_BSHO-REQ 메시지를 검출했다면, 이동단말은 MOB_MNHO-REQ 또는

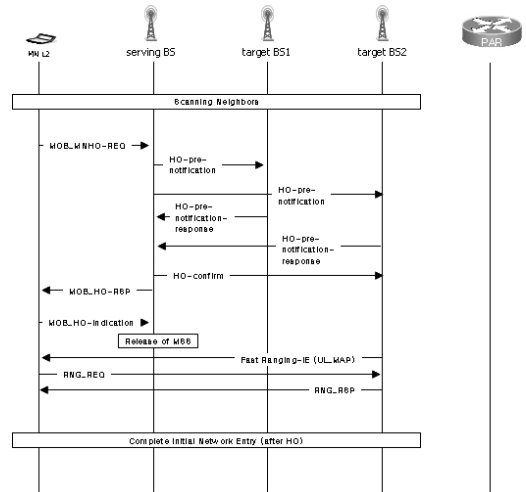


그림 1. IEEE 802.16e 핸드오버 과정

MOB_HO-IND 메시지로 응답하고 자신의 이전 요구를 무시한다. 이와 비슷하게 MOB_BSHO-REQ 메시지를 전송하고 이동단말로부터의 수신 MOB_MNHO-REQ 또는 MOB_HO-IND 메시지를 검출한 기지국은 자신의 이전 요구를 무시한다.

2.3 FMIPv6

이동단말이 NAR(new access router)로의 이동을 감지하면 PAR(previous access router)로 NAR에 대한 정보를 요청하는 RtSolRr(Router Solicitation for Proxy Advertisement) 메시지를 보낸다(Mobile Initiated). 이 때 RtSolPr 메시지에 NAR에 대한 링크 계층 ID가 포함된다. 무선랜의 경우 이 ID는 NAR의 SSID(service set identifier)가 될 수 있다. RtSolPr 메시지를 받은 PAR은 미리 가지고 있던 NAR에 대한 정보를 이용하여 NCoA(New Care-of address)를 구성하며 이를 PrRtAdv(Proxy Router Advertisement) 메시지를 통해 이동단말로 전달한다. 이 때 PAR과 NAR은 서로 통신할 수 있으며 서로에 대한 정보를 공유하고 있다고 가정한다. 만

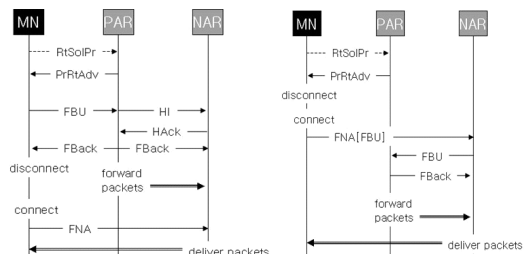


그림 2. FMIPv6 predictive 모드와 reactive 모드

일 이동단말이 아닌 PAR이 이동단말의 이동을 감지한다면 PAR은 RtSolPr없이 NAR에 대한 정보를 담은 PrRtAdv 메시지를 이동단말에게 전달한다 (Network Initiated). PrRtAdv 메시지를 받은 이동단말은 NCoA를 NAR에 대한 바인딩을 요청하는 FBU(Fast Binding Update) 메시지에 포함시켜 PAR로 보낸다. PAR이 FBU를 받게 되면 NAR과의 양방향 터널의 설정을 위하여 NAR로 HI (Handover Initiate) 메시지를 보낸다. PAR이 FBU를 받게 되면 NAR과의 양방향 터널의 설정을 위하여 NAR로 HI 메시지를 보낸다. HI 메시지는 또한 NCoA에 대한 검증을 NAR에 요구한다. NAR은 HACK(Handover Acknowledge) 메시지를 응답함으로써 양방향 터널을 구성하며 NCoA에 대한 확인을 한다. PAR은 NCoA에 대한 확인을 FBACK(Fast Binding Acknowledgment) 메시지를 통하여 이동단말로 전달하며 이동단말의 PCoA(Previous Care-of address)로 전달되는 패킷을 인터셉트하여 양방향 터널을 통하여 NAR로 포워딩 한다. NAR에서 이동단말에 대한 새로운 링크가 형성되면 이동단말은 2계층 핸드오버 완료 메시지인 FNA(Fast Neighbor Advertisement)를 RA(Router Advertisement) 메시지에 담아 전달한다. 만일 이동단말이 FBACK를 받지 못하였다면 RA 메시지를 통해 이동단말은

NCoA에 대한 확인을 NAR에 요청하며 NAR은 NAACK(Neighbor Advertisement Acknowledge) 옵션을 가지는 RA를 통하여 NCoA를 확인한다. 이후 NAR은 이동단말로 데이터를 전달하며 이동단말은 NCoA를 이용하여 Mobile IPv6에 규정된 바인딩 갱신과정을 수행한다.

III. IEEE 802.16e 기반 MIPv6망에서의 고속 핸드오버 기법

IEEE 802.16e 기반 MIPv6 환경에서 기존의 프로토콜들은 핸드오버 시 단말이 새로운 prefix를 찾는 시간과 새로운 COA 생성시간 그리고 HA와 CN에게 새 위치를 알리는 시간으로 인한 핸드오버 지연과 데이터 손실이라는 문제점을 가지고 있다. 이러한 프로토콜에 최근 연구가 활발히 진행되고 있는 고속 핸드오버 프로토콜 (Fast Handovers for Mobile IPv6, FMIPv6)을 단순히 적용시키게 되면 서비스의 지연이나 패킷 손실량 등의 여러 문제점들이 발생하게 된다. 따라서 제안된 MSFMIPv6 (Multiple Simultaneous Binding for Fast MIPv6 Based on IEEE 802.16e) 핸드오버 기법은 이러한 문제점들을 해결하기 위한 효율적인 핸드오버 방법으로 지연시간의 감소와 손실 패킷량을 줄이는 방

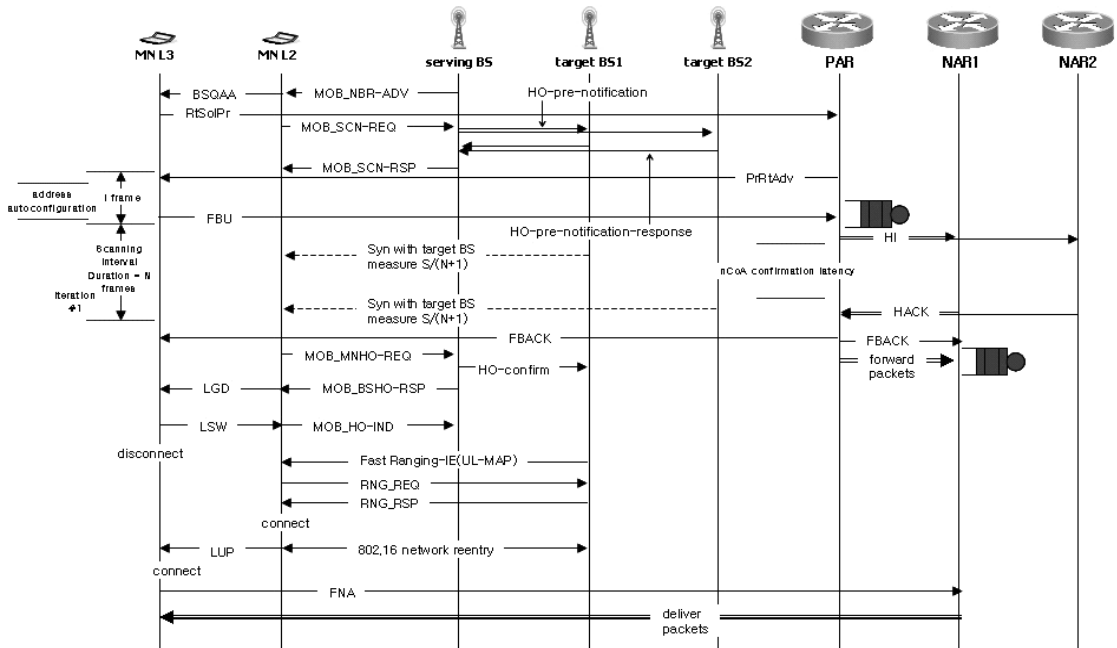


그림 3. 제안된 MSFMIPv6 기법 절차

법을 제시한다.

그림 3에서와 같이 제안된 MSFMIPv6는 고속 핸드오버를 지원하기 위해서 이동단말이 servingBS에 의해 보내진 Neighbor Advertisement (MOB_NBR-ADV) 메시지를 받은 후 Better Signal Quality AP Available (BSQAA) L2트리거^[3]를 받음으로써 핸드오버가 시작된다. 이동단말이 servingBS로부터 MOB_NBR-ADV 메시지를 수신한 후 servingBS와의 신호세기가 좋지 않다면 이동단말의 링크계층에서 네트워크계층으로 BSQAA 트리거 메시지를 보내어 현재의 servingBS보다 더 나은 서비스를 해결 수 있는 기지국들이 있음을 알린다. 이후 이동단말의 네트워크계층을 통하여 MOB_NBR-ADV 메시지를 수신하여 알게 된 추천된 기지국들의 AR의 prefix 정보를 얻기 위해 PAR과 Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtSolPr) 메시지와 Proxy Router Advertisement (PrRtAdv) 메시지를 교환한다. 동시에 scanning을 하기 위해 링크계층을 통하여 Scanning Interval Allocation Request (MOB_SCN-REQ) 메시지와 (Scanning Interval Allocation Response (MOB_SCN-RSP) 메시지를 교환한다. 여기서 이동단말이 MOB_NBR-ADV 메시지를 받은 후 BSQAA 트리거 이벤트를 전달하는 시간은 0이라고 가정한다. 그러므로 동시에 RtSolPr 메시지와 MOB_SCN-RSP 메시지를 이동단말에서 보낼 수 있다고 가정한다^[4].

또한 ServingBS가 MOB_SCN-REQ 메시지를 받음과 동시에 MOB_NBR-ADV 메시지를 수신하여 알게 된 추천된 기지국들과 HO-pre-notification 메시지와 HO-pre-notification-response 메시지를 교환하여 이동단말의 정보, 이동단말이 요구한 대역폭, 이동단말과의 연결 파라미터 정보를 교환한다. 이후, 이동단말의 링크계층에서는 MOB_SCN-RSP 메시지를 수신한 후 scanning을 시작한다. 네트워크계층에선 PrRtAdv 메시지를 수신한 후 새로운 Care-of address (NCoA)를 생성하여 PAR에게 Fast Binding Update (FBU) 메시지를 송신한다. 이와 같이 IEEE 802.21^[3]에서 제시된 링크계층 트리거 이벤트를 기반으로 하여 IEEE 802.16e 핸드오버 프로토콜과 FMIPv6 핸드오버 프로토콜을 동시에 연동시킨다. 프로토콜 연동 시 다중 동시 바인딩 기법^[6]을 기반으로 하여 L2 핸드오버 과정인 scanning 과정과 L3 핸드오버 과정인 NCoA 등록과 인증절차를 동시에 수행함으로써 scanning 시간이 NCoA 등록과 인증절차 시간보다 크다면 핸드오버 지연시

간에서 NCoA 등록과 인증 절차만큼의 시간을 줄일 수 있다. 만약 scanning 시간이 NCoA 등록과 인증 절차 시간보다 작다면 전체 핸드오버 지연시간에서 scanning 시간과 NCoA 등록과 인증절차 시간이 중첩되는 시간만큼 핸드오버 지연시간이 줄어들 것이다. MOB_SCN-REQ 메시지와 RtSolPr 메시지를 동시에 보낸 후에 이동단말과 servingBS 그리고 이동단말과 라우터간의 메시지 교환이 Fast Binding Acknowledgment (FBACK) 메시지와 BS HO Response (MOB_BSHO-RSP) 메시지를 이동단말이 받기 전까지 독립적으로 수행 된다. PAR로부터 FBACK 메시지를 받고 servingBS로부터 MOB_BSHO-RSP 메시지를 받아 LinkGoingDown (LGD) 트리거를 발생한다. 이후 LinkSwitch (LSW) 트리거가 발생하여 이동단말과 servingBS와의 연결을 끊고 선택된 targetBS와의 연결을 위해 선택된 targetBS와 레인징 과정을 통해 새로운 네트워크 엔트리를 구성한다. 만약, FBACK 메시지나 LGD 트리거가 발생하지 않는다면 LSW 트리거가 발생하지 않는다. 선택된 target BS와의 네트워크 구성이 완료되어 L2 핸드오버가 완료되면 LinkUp (LU) 트리거가 이동단말의 링크계층에서 네트워크계층으로 전달된다. LU 트리거를 전달받은 이동단말의 네트워크계층은 NAR에게 L2 핸드오버가 완료 했음을 알리는 FNA 메시지를 보내어 PAR에서 포워딩 된 패킷들을 이동단말에게 전달하고 연결을 유지한다.

IV. 제안된 기법에 대한 성능 분석

4.1 성능 비교 함수

제안된 MSFMIPv6는 L2 트리거를 사용하기 때문에 실제 고속 핸드오버 환경에서 서비스를 지원하기 위해 교환하게 되는 필요한 비용은 그림 4에서 표시된 메시지 흐름에 의해서 계산된다. 각 전송 비용 계산을 위해 다음과 같은 파라미터들이 고려되었다.

- η : 기지국과 이동단말 사이 무선 경로에서의 패킷 전송 지연시간
- ϵ : 유선 경로에서의 홑당 패킷 전송 지연시간
- Ω : NCoA 인증으로 인한 지연시간
- τ : 터널링 된 패킷의 가중치 값
- a : 기지국과 이동단말 사이의 홑 수
- b : PAR과 NAR 사이의 홑 수
- $t_{mb}(=\eta)$: 기지국과 이동단말 사이 무선 경로에

서의 패킷 전송 지연시간

- $t_{bb}(=\varepsilon)$: 유선 경로에서의 홉당 패킷 전송 지연 시간
- $t_{ma}(=\tau_1+\varepsilon a)$: 라우터와 이동단말 사이의 패킷 지연 시간
- $t_{aa}(=\varepsilon b)$: 라우터 간의 패킷 지연 시간
- ϕ : FBU 전송시간과 L2-down trigger사이의 지연 시간
- Θ : BS area switching 지연시간
- x : scanning 지연시간
- y : NCoA 생성으로 인한 지연시간

4.1.1 패킷 트래픽 모델

본 논문에서는 ‘같은 송신 주소’와 ‘같은 목적지 주소’를 갖는 패킷이 연속적으로 전달되는 기간을 세션 혹은 ‘session time’ 이라고 정의한다. 그리고 ‘패킷이 전달되지 않은 시간’부터 ‘새로운 세션이 시작하는 시간’까지를 idle time이라고 정의한다. 일반적으로 오늘날의 인터넷 트래픽은self-similar 특성을 갖는다. 따라서 session time 은 Pareto 분포를 나타낸다^[7]. 본 논문은 간단한 데이터 패킷 트래픽 모델을 사용한다. 하나의 session 동안 일정한 비율로 CN에 의해서 수십 개의 패킷이 이동단말에게 전송 된다. 즉, 세션 지속 시간 t_{st} 가 평균 $E[t_{st}]=1/\lambda_{st}$ 를 갖는 exponential 분포라고 가정^[7,8,9]한다.

4.1.2 네트워크 시스템 및 이동성 모델

본 논문은 각 subnet이 하나 이상의 기지국으로 구성되어 있다고 가정한다^[7,9]. 또한 subnet 내의 모든 BS area들이 같은 모양과 같은 크기를 갖는다고 가정한다.

t_p 와 t_s 를 각각 기지국 체류 시간과 subnet 체류 시간을 나타내는 i.i.d.(independent and identically distributed) random variable 이라고 하자. $f_p(t)$ 와 $f_s(t)$ 를 각각 t_p 와 t_s 의 density function이라고 하자. 이동단말이 subnet내의 k번 BS에 t_{sk} 동안 머무른다고 하면, t_{sk} 동안 이동단말은 t_i 동안 iBS에 머무른다. 따라서, $t_{sk} = t_1+t_2+\dots+t_k$ 는 아래의 density function 을 갖는다.

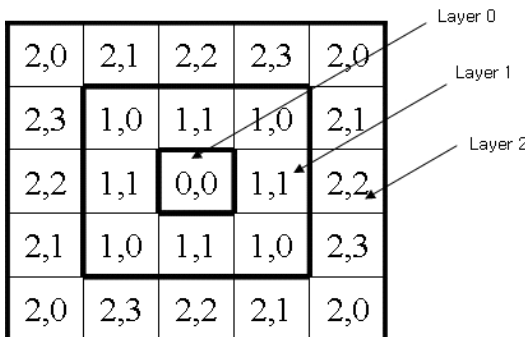
$$f_s^k(t) = \int_{t_1=0}^t \int_{t_2=0}^{t-t_1} \dots \int_{t_{k-1}=0}^{t-t_1-\dots-t_{k-2}} f_p(t_1)f_p(t_2)\dots f_p(t_{k-1}) f_p(t-t_1-t_2-\dots-t_{k-1})dt_{k-1}dt_2dt_1. \quad (식 1)$$

Laplace transform convolution을 사용하여 $f_s^{(k)}(t)$ 의 Laplace transform을 다음과 같이 구할 수 있다.

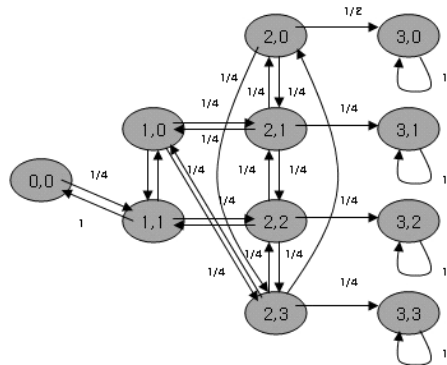
$$f_s^{(k)*}(a) = [f_p^*(a)]^k \quad (식 2)$$

위 식에서 $f_p^*(a)$ 는 $f_p(t)$ 의 Laplace transform이다. 본 논문에서는 subnet 체류시간 density function 값을 구하기 위해 그림 4의 two-dimensional random walk model을 사용한다. 이동 단말은 일정 기간 동안 BS area내에 머무르다가 같은 확률로(1/4) 이웃하는 4개의 기지국 중 하나로 이동한다. 만약 subnet이 $N=4n^2+4n+1$ 개의 BS area를 갖는다면 n-layer라고 부른다. 그림 4는 3-layer subnet을 보여준다.

이동 확률이 같다는 가정에 따라, subnet내의 BS area들을 몇 개의 BS area 타입으로 분류할 수 있다. BS area type은 <x,y>형태인데 x는 BS area가



3-Layer mesh BS area structure



State diagram of two-dimensional random walk model

그림 4. 네트워크 시스템 모델과 랜덤 워크 모델

layer x 에 존재함을 가리키며 y 는 layer x 내의 $y+1$ 번째 타입을 나타낸다. 같은 타입의 BS area는 같은 movement flow pattern을 갖는다.

Random walk model에서, (x,y) 는 이동단말이 $\langle x,y \rangle$ 타입의 BS area중 하나에 있다는 것을 나타낸다. (n,j) 는 이동단말이 $(n-1,j)$ 를 거쳐 subnet 밖으로 움직였다는 것을 나타낸다. $(0 \leq j \leq 2n-3)$ 3-layer subnet을 random walk model의 state diagram은 그림 5와 같다. 이 random walk의 transition matrix는 $P = (p_{(x,y)(x',y')})$ 이다. $P^{(k)}$ 를 계산하기 위해 Chapman-Kolmogorov 식을 사용한다. $k \geq 1$ 일 때, $P^{(k)}$ 의 원소 $p^{(k)}_{(x,y)(x',y')}$ 는 k 번 만에 (x,y) 에서 (x',y') 로 움직일 확률이다. 그래서 본 논문에서는 $p_{k,(x,y)(n,j)}$ 를 다음과 같이 정의 한다.

$$P_{k,(x,y)(n,j)} = \begin{cases} P_{(x,y)(n,j)} & \text{for } k = 1 \\ P_{(x,y)(n,j)}^{(k)} - P_{(x,y)(n,j)}^{(k-1)} & \text{for } k > 1 \end{cases} \quad (\text{식 3})$$

$p_{k,(x,y)(n,j)}$ 는 이동단말이 초기에 $\langle x,y \rangle$ BS area에서 머무르다가 $k-1$ 번째에 $\langle n-1,j \rangle$ BS area에 머무르고 k 번째에 subnet을 빠져나갈 확률이다.

그림 5는 random walk model의 타입 $\langle x,y \rangle$ 에서 다른 타입의 state로 이동시의 확률을 보여준다. 위의 식들을 이용하면, $n > 1$ 일 때 n -layer subnet의

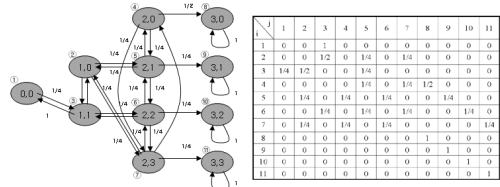


그림 5. random walk model의 상태에 따른 확률

subnet residence time density function 값과 Laplace transform 값은 다음과 같다.

$$f_s(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{y=0}^{2n-3} \sum_{j=0}^{2n-3} q_{(n-1,y)} P_{k,(n-1,y)(n,j)} f_s^{(k)}(t) \quad (\text{식 4})$$

$$f_s^*(a) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{y=0}^{2n-3} \sum_{j=0}^{2n-3} q_{(n-1,y)} P_{k,(n-1,y)(n,j)} [f_p^{(k)}(a)]^k \quad (\text{식 5})$$

Moment generation 특성으로부터 subnet residence time의 평균값을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[t_s] = (-1) \frac{df_s^*(a)}{da} \Big|_{a=0} = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{y=0}^{2n-3} \sum_{j=0}^{2n-3} q_{(n-1,y)} P_{k,(n-1,y)(n,j)} y_k \quad (\text{식 6})$$

$$y_k = -k [f_p^*(0)]^{k-1} \frac{df_p^*(a)}{da} \Big|_{a=0}$$

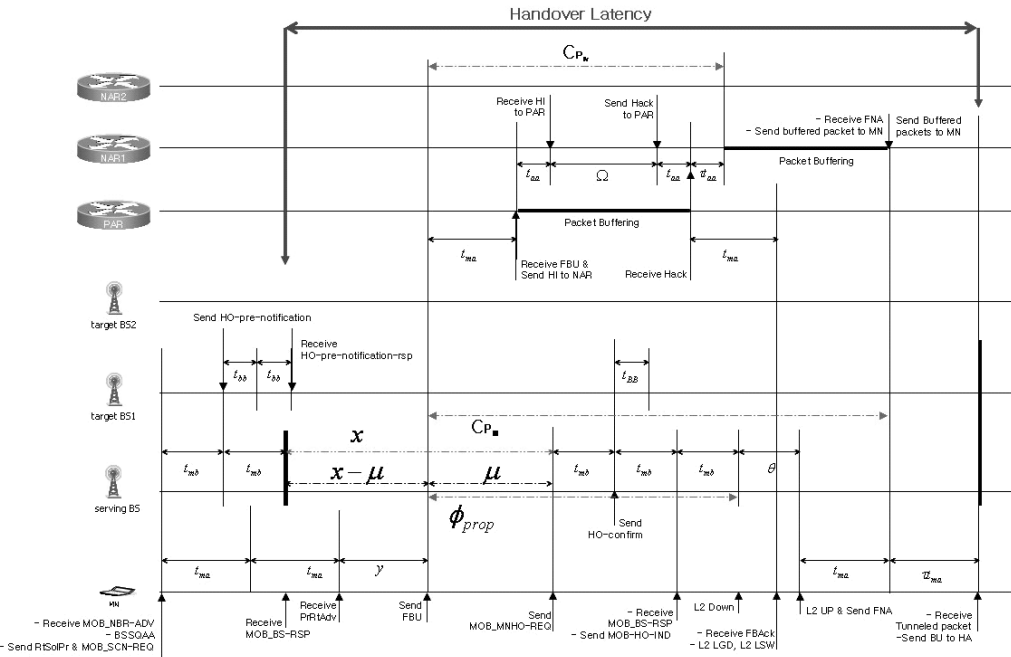


그림 6. IEEE 802.16e 환경에서의 MSFMPv6 timing diagram

그리고 이동단말의 BS area residence time은 평균 $1/\lambda_p (=E[t_p])$ 와 분산 ν 를 갖는 Gamma distribution을 따른다고 가정한다. Gamma distribution의 Laplace transform은 다음과 같다.

$$f_p^*(a) = \left(\frac{\gamma \lambda_p}{a + \gamma \lambda_p} \right)^\gamma, \quad (식 7)$$

$$\gamma = \frac{1}{\nu \lambda_p^2}$$

따라서, 이동단말이 session duration 동안 K번 BS area를 지나고 K번 subnet을 지나갈 확률 확률 $I_p(K)$ 와 $I_k(K)$ 를 ^[10]으로부터 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\Pi_p(K) = \begin{cases} 1 - \frac{E[t_p]}{E[t_p]} (1 - f_p^*(\frac{1}{E[t_p]})) & .K = 0 \\ \frac{E[t_p]}{E[t_p]} (1 - f_p^*(\frac{1}{E[t_p]}))^2 (f_p^*(\frac{1}{E[t_p]}))^{K-1} & .K > 1 \end{cases} \quad (식 8)$$

$$\Pi_s(K) = \begin{cases} 1 - \frac{E[t_s]}{E[t_s]} (1 - f_s^*(\frac{1}{E[t_s]})) & .K = 0 \\ \frac{E[t_s]}{E[t_s]} (1 - f_s^*(\frac{1}{E[t_s]}))^2 (f_s^*(\frac{1}{E[t_s]}))^{K-1} & .K > 1 \end{cases} \quad (식 9)$$

FMIPv6의 핸드오버과정은 이동단말에 의해 수행되는 과정 P_I과 양방향 터널링의 생성과 터널링 된 패킷을 보내기 위해 PAR과 NAR에서 수행되는 과정 P_{II}로 독립적인 2개의 과정으로 나눌 수 있다. 분리된 2개의 과정은 이동단말이 PAR에게 FBU 메시지를 보낼 때 시작되고 NAR이 이동단말로부터 FNA를 받을 때 하나의 과정으로 다시 합쳐진다. 본 논문에서는 FBACK 메시지가 이동단말에게 전달되었을 때 L2-down trigger가 발생한다고 가정한다. 두 과정 P_I과 P_{II}가 하나의 과정으로 결합하기까지 각 과정의 완료시간은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{P_I} = \phi_{prop} + \theta + t_{ma} \quad (식 10)$$

$$C_{P_{II}} = t_{ma} + (2 + \tau)t_{aa} + \Omega \quad (식 11)$$

제안하고자 하는 MSFMIPv6의 핸드오버 과정 또한 FMIPv6와 동일하게 이동단말에 의해 수행되는 과정 P_{III}와 다중 터널링의 생성과 터널링 된 패킷을 보내기 위해 PAR과 NAR에서 수행되는 과정 P_{IV}로 독립적인 2개의 과정으로 나눌 수 있다.

$$C_{P_{III}} = \phi_{prop} + \theta + t_{ma} = (\mu + 3t_{mb}) + \theta + t_{ma} \quad (식 12)$$

$$C_{P_{IV}} = t_{ma} + (2 + \tau)t_{aa} + \Omega \quad (식 13)$$

여기서 μ 값은 $(2t_{mb}+x)-(2t_{ma}+y)$ 이다.

앞서 기술한 파라미터값을 이용하여 아래와 같이 지연시간, 패킷 손실량을 비교할 수 있다. FMIPv6의 경우, 핸드오버 지연 값인 HL_{FMIPv6}은 아래 식과 같이 주어진다.

$$HL_{FMIPv6} = \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_p(K)(x + \theta) + \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_s(K)(x + C_{P_{II}} - \alpha_{aa} - t_{ma} + t_{ma} + t_{mb} + \theta + t_{ma} + \alpha_{ma}) \quad (식 14)$$

MSFMIPv6의 경우, 핸드오버 지연 값인 HL_{MSFMIPv6}은 $x+2t_{mb}$ 값이 $y+2t_{ma}$ 보다 클 경우

$$HL_{MSFMIPv6} = \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_p(K)(x + \theta) + \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_s(K)(MAX\{(x + \theta + t_{ma} + \alpha_{ma}), (C_{P_{IV}} + (x - \mu))\}) \quad (식 15)$$

이고, 이 이외의 경우

$$HL_{MSFMIPv6} = \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_p(K)(x + \theta) + \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_s(K)(MAX\{(x + 3t_{mb} + \theta + t_{ma} + \alpha_{ma}), (x + C_{P_{IV}} - t_{ma})\}) \quad (식 16)$$

이다. 여기서 μ 값은 $(2t_{mb}+x)-(2t_{ma}+y)$ 이다. $x+2t_{mb}$ 값이 $y+2t_{ma}$ 보다 클 경우 스캐닝 도중 FBU 메시지가 PAR에 보내어지는 경우이며, $x+2t_{mb}$ 값이 $y+2t_{ma}$ 보다 작을 경우 스캐닝이 끝난 후 FBU 메시지가 PAR에 보내어지는 경우이다. 따라서 $x+2t_{mb}$ 값이 $y+2t_{ma}$ 보다 클 경우 식 16과 같이 $y+2t_{ma}$ 시간 이후 C_{P_{IV}}과정이 스캐닝 시간 안에 마무리 되는지 마무리 되지 않는지에 따라 전체 핸드오버 지연시간에 영향을 준다.

FMIPv6의 경우, FMIPv6가 패킷 버퍼 기능을 지원하기 때문에, 다른 네트워크 도메인으로의 이동시의 패킷 손실은 일어나지 않고 scanning 하는 구간과 새로운 기지국과 레인징을 할 경우에 발생하는 핸드오버 지연으로 인해서만 패킷 손실이 발생한다. 따라서 패킷 손실량 PL_{FMIPv6}는 다음과 같이

주어진다.

$$PL_{FMIPv6} = \lambda \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_p(K)(x + \theta) + \lambda \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_s(K)x \quad (식 17)$$

MSFMIPv6의 경우, FMIPv6가 패킷 버퍼 기능을 지원하기 때문에, FMIPv6와 동일하게 다른 네트워크 도메인으로 이동 시의 패킷 손실은 일어나지 않고 scanning 하는 구간과 새로운 기지국과 레인징을 할 경우에 발생하는 핸드오버 지연으로 인해서만 패킷 손실이 발생한다. 따라서 패킷 손실 수 $PL_{MSFMIPv6}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$PL_{MSFMIPv6} = \lambda \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_p(K)(x + \theta) + \lambda \sum_{K=0}^{\infty} K \Pi_s(K)(x - \mu) \quad (식 18)$$

4.2 수치적 결과

성능 분석을 위해 다음의 고정된 파라미터값들이 사용된다. $\eta=0.01\text{sec}$, $\varepsilon=0.005\text{sec}$, $\tau=1.2$, $a=1$, $b=2$, $n=3$ (subnet layer 수는 3이다.), $\lambda_p=0.0083$ (즉, 이동 단말이 기지국 영역에 머무르는 평균 시간은 120초이다), $\lambda_o=0.0033$, $v=1$, $\lambda=100\text{packets/sec}$, $y=0.01\text{sec}$.

또한, 성능 비교를 위해 아래의 변경 가능한 파라미터를 사용하고 기본값을 아래와 같이 정한다. $x=0.3\text{sec}$, $\theta=0.03\text{sec}$, $\Omega=0.1\text{sec}$.

그림 7는 scanning interval값이 증가함에 따라 핸드오버 지연시간이 증가한다는 것을 보여준다. 또한, Ω 값이 증가할 때에도 핸드오버 지연시간 값이 증가함을 보여준다. 두 프로토콜을 비교해보면, FMIPv6의 핸드오버 지연시간에 비해 MSFMIPv6의 핸드오버 지연시간은 scanning 과정과 NCoA에 대한 바인딩 과정을 동시에 수행 되어 scanning interval이 증가함에도 핸드오버 지연시간 값의 차이가 FMIPv6에 비해 작다. 이는 FBU 메시지를 보내기 이전에 scanning 과정이 끝난다면 핸드오버 지연시간은 이동단말의 링크계층과 servingBS간의 L2 핸드오버 과정과 이동단말의 네트워크계층과 PAR간의 L3 핸드오버 과정 중 더 큰 지연시간 값을 갖는 과정에 전체 핸드오버 지연시간 값이 종속되기 때문이다.

그리고 scanning 과정 중에 FBU 메시지가 보내어 진다면 이동단말의 링크계층과 servingBS간의 L2 핸드오버 과정과 이동단말의 네트워크계층과 PAR간의 L3 핸드오버 과정에서 scanning interval

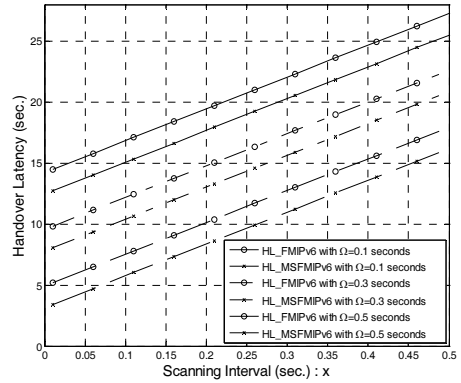


그림 7. Scanning Interval값에 따른 핸드오버 지연

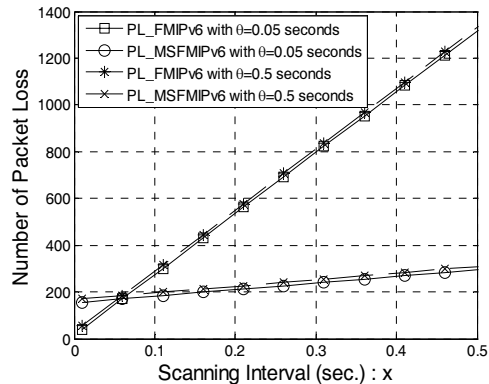


그림 8. Scanning Interval 값에 따른 패킷 손실량

구간과 바인딩 구간의 상호작용하는 시간만큼 전체 핸드오버 지연시간을 줄일 수 있기 때문이다.

FMIPv6가 패킷 버퍼링 기능을 지원하기 때문에 이동단말의 서브넷간의 이동으로 발생하는 핸드오버로 인한 패킷 손실은 scanning interval 에서만 존재한다. 기존의 FMIPv6의 경우 L2 핸드오버의 경우 scanning interval 구간과 θ 구간만큼의 지연으로 인한 패킷 손실과 L3 핸드오버의 경우 scanning interval 구간만큼의 지연으로 인한 패킷 손실이 발생한다. 그러나, MSFMIPv6의 경우 scanning interval 구간이 FBU 메시지를 보내기 이전에 끝나지 않는다면 동시에 PAR에서 버퍼링을 지원하므로 scanning interval 중 FBU 메시지를 보낼 때까지의 구간만큼만 패킷 손실이 발생한다. 또한, 패킷 손실량이 x 값에 의존하기 때문에 그림 8에 보이는 바와 같이 θ 값이 증가하여도 전체적인 패킷 손실량에 영향을 주지 않는다.

FMIPv6가 패킷 버퍼링 기능을 지원하기 때문에 이동단말의 서브넷간의 이동으로 발생하는 핸드오버

로 인한 패킷 손실은 scanning interval 에서만 존재한다. 기존의 FMIPv6의 경우 L2 핸드오버의 경우 scanning interval 구간과 θ 구간만큼의 지연으로 인한 패킷 손실과 L3 핸드오버의 경우 scanning interval 구간만큼의 지연으로 인한 패킷 손실이 발생한다.

그러나, MSFMIPv6의 경우 scanning interval 구간이 FBU 메시지를 보내기 이전에 끝나지 않는다면 동시에 PAR에서 버퍼링을 지원하므로 scanning interval 중 FBU 메시지를 보낼 때까지의 구간만큼만 패킷 손실이 발생한다. 또한, 패킷 손실량이 x 값에 의존하기 때문에 그림 8에 보이는 바와 같이 θ 값이 증가하여도 전체적인 패킷 손실량에 영향을 주지 않는다.

V. 결론

IEEE 802.16e 기반 MIPv6망에서, FMIPv6 프로토콜은 L2 핸드오버 과정과 L3 핸드오버 과정이 각 표준화 기구가 다름으로 인해 서로의 핸드오버 과정이 각각 독립적으로 수행된다. 따라서 FMIPv6 프로토콜은 링크계층의 도움을 받는다고 가정한다. 그러나 이용 가능한 링크계층 정보는 사용되고 있는 개개의 링크계층 기술에 따라 다르다. 그래서 본 논문에서 제안한 MSFMIPv6는 다중 동시 바인딩과 layer2와 layer3 사이의 핸드오버 상호작용에 의한 802.16e와 FMIPv6의 상호작용을 수행한다. 이를 이용하여 기존의 FMIPv6보다 더 빠른 바인딩을 한다. 또한 동시에 scanning과 IP등록을 함으로써 전체적인 핸드오버 지연시간을 줄일 수 있음을 확인하였다.

그러나 scanning이 시작하기 전인 MOB_NBR-ADV 메시지를 받은 후 L2 핸드오버 과정과 L3 핸드오버 과정이 독립적으로 시작되어, scanning이 끝나지 않은 상태에서 바인딩을 하기 때문에 추천된 기지국과 연결된 모든 NAR이 PAR과 터널을 형성해야 한다. 또한, NAR에서 포워딩된 패킷을 저장하여야 한다. 즉 이동단말로부터 NAR이 FNA 메시지를 받기 전까지 추천된 targetBS와 연결된 NAR과 servingBS와 연결된 PAR이 연결을 유지해야 하는 문제가 있다. 이러한 각 AR에서의 버퍼 크기의 증가가 하나의 문제가 될 수도 있지만 무선망에 영향을 주는 것 보다 유선망 자원에만 영향을 줄 것이다. 유선망 자원은 무선망 자원에 비해 상대적으로 여유가 있고 쉽게 증가시킬 수 있으므로,

유선망 자원을 더 사용하여 무선망에서의 핸드오버 지연시간을 줄이는 것이 이동단말에게 서비스 하는데 있어 더 효과적일 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, June 2004.
- [2] R. Koodli, et. al, "Fast Handovers for Mobile IPv6," RFC 4068, July 2005.
- [3] V. Gupta and D. Johnston, "IEEE 802.21, A Generalized Model for Link Layer Triggers," IEEE802.21 Media Independent Handoff Working Group, Mar.2004, http://www.ieee802.org/21/arch04_meeting_docs/21-04-0027-00-0000-Generalized_triggers.pdf, March 2004.
- [4] IEEE P802.16e/D9, "Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," June 2005.
- [5] 박재홍, "Mobile IP 적용 기술," SK Telecommunication Review, 제 14권 5호, 2004년 10월.
- [6] Karim El Malki and Hesham Soliman, "Simultaneous Bindings for Mobile IPv6 Fast Handovers," draft-el Malki-mobileip-bicasting-v6-06.txt, July 2005.
- [7] T. Janevski, Traffic analysis and design of wireless IP networks, Artech House, 2003.
- [8] S.H. Hwang, Y.H. Han, S.G. Min, and C.S. Hwang, "An Address Configuration and Confirmation Scheme for Seamless Mobility Support in IPv6 Network," Lecture Notes in Computer Science, Vol.2957, pp. 74-86, Feb. 2004.
- [9] Seung-Hee Hwang, Youn-Hee Han, Chong-Sung Hwang, "Signaling Time Analysis for Optimal Fast Handovers for MobileIPv6," Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th Volume 5, pp. 3275 - 3280, 2004.
- [10] Y. B. Lin, "Reducing Location Update Cost in A PCS Network," IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol.5, No.1, pp. 25-33, February 1997.

임 치 헌 (Chi-Hun Lim)

준회원



2004년 2월 : 고려대학교 전산학과 (학사)
2006년 2월 : 고려대학교 전산학과 (석사)
2006년 3월~현재 : 고려대학교 전산학과 (박사과정)
<관심분야> 이동통신, QoS, 스케줄링, 휴대인터넷, 홈네트워크 보안

오 룡 (Ryong Oh)

준회원



2003년 2월 : 고려대학교 전산학과 (학사)
2005년 2월 : 고려대학교 전산학과 (석사)
2005년 3월~현재 : 고려대학교 전산학과 (박사과정)
<관심분야> 이동통신, QoS, 스케줄링, 텔레매틱스, 홈네트워크&보안

동 정 식 (Jeong-Shik Dong)

준회원



2001년 2월 : 서원대학교 전자계산학과 (학사)
2003년 2월 : 고려대학교 전산학과 (석사)
2003년 3월~현재 : 고려대학교 전산학과 (박사수료)
<관심분야> 무선통신, 이동통신, 휴대인터넷, QoS

이 형 우 (Hyung-Woo Lee)

정회원



1979년 : Univ. of British Columbia Electrical Engineering (학사)
1983년 : Univ. of Waterloo, Electrical Engineering (박사)
1983~88년 : Univ. of British Columbia, 조교수
1988~1991년 : Univ. of Carleton, 조교수

1992~1995년 : Univ. of Waterloo, 조교수
1995년~현재 : 고려대학교 전자및정보공학부, 교수
<관심분야> 통신망 설계 및 성능분석, ATM 트래픽 제어, MAC프로토콜

조 총 호 (Choong-Ho Cho)

종신회원



1981년 : 고려대학교 공과대학 산업공학과 (학사)
1983년 : 고려대학교 산업공학과 (석사)
1986년 : 프랑스 INSA de Lyon 전산학과 (석사)
1989년 : 프랑스 INSA de Lyon 전산학과 (박사)

1990~1994년 : 순천향대학교 전산통계학과 조교수
1994~현재 : 고려대학교 전산학과 교수
<관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스