

Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 Proxy Mobile IP 기반의 고속 3계층 핸드오버 방안

준회원 김 민*, 김 중 민** 종신회원 김 화 성**

A Proxy Mobile IP based Fast Layer-3 Handover scheme for Mobile WiMAX based Wireless Mesh Networks

Min Kim*, Jong Min Kim** Associate Members, Hwa-sung Kim** Lifelong Member

요 약

무선 메쉬 네트워크는 기존 무선 네트워크의 단점을 해결하기 위한 차세대 기술로서 많은 연구가 이루어졌다. 특히 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크는 다양한 장점을 지녀 더욱 주목 받고 있다. Mobile WiMAX 표준에서는 MIP와 PMIP를 기반으로 하는 두 개의 3계층 핸드오버 방안을 제공한다. MIP 기반 핸드오버는 많은 핸드오버 메시지 유발로 인한 긴 핸드오버 지연 단점을 지닌 반면, PMIP 기반 핸드오버는 이동 노드가 자신의 핸드오버에 관여치 않아, 무선 구간의 핸드오버 메시지를 줄이는 장점을 지녀 Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버에 좀 더 효과적이다. 하지만 Mobile WiMAX에서 제공하는 기존의 PMIP 기반 핸드오버는 2계층 핸드오버 완료 후에 바인딩을 수행하기 때문에 여전히 핸드오버 지연 발생 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 2계층 핸드오버 완료 전에 수행 되는 고속 바인딩 과정을 통해 핸드오버 지연을 줄이는 PMIP 기반 무선 메쉬 네트워크에서의 고속 3계층 핸드오버 방안을 제안한다. 제안 방안은 기존 PMIP 기반 핸드오버 방안의 문제점을 개선했으며 이는 시뮬레이션 결과를 통해 증명하였다.

Key Words : Wireless Mesh Networks, Mobile WiMAX, Proxy Mobile IP, Fast Handover, Seamless Handover

ABSTRACT

Wireless mesh networks have been widely studied as the next generation technology to solve the problems of conventional wireless networks. Particularly, Mobile WiMAX based wireless mesh networks are noticed due to many advantages. Mobile WiMAX standard provides two kinds of layer-3 handover schemes: Mobile IP and Proxy Mobile IP based handover schemes. MIP based handover scheme has a problem in that it incurs the long handover latency because mobile nodes generate a lot of handover messages. On the other hand, PMIP based handover scheme decreases the handover latency by reducing the number of handover messages, because mobile nodes do not participate in handover procedure. Therefore, layer-3 handover for Mobile WiMAX should be designed based on PMIP. However, conventional PMIP based handover still has latency overhead, because of many message exchanges between PBU and PBA after completing the layer-2 handover. Hence, in this paper, we propose a fast layer-3 handover scheme that achieves the lower handover latency for Mobile WiMAX based wireless mesh networks. Proposed scheme has advantages in terms of handover latency. Simulation results show that proposed scheme achieves low handover latency during the layer-3 handover.

※ 본 연구는 2010년 광운대학교 교내연구비 및 한국전자통신연구원의 정보통신 연구개발사업 위탁연구과제에 의해 수행되었습니다.
* 삼성전자(beyond@kw.ac.kr), ** 광운대학교 전자통신공학과 네트워크 컴퓨팅 & 이동 네트워크 연구실(sazemic hwkim@kw.ac.kr)
논문번호 : KICS2010-03-103, 접수일자 : 2010년 3월 13일, 최종논문접수일자 : 2010년 7월 15일

1. 서 론

기존의 무선 네트워크를 보다 넓은 영역으로 확장시켜 다양한 무선 서비스 지원을 가능하게 하는 무선 메쉬 네트워크는 기존의 유선 인프라 스트럭처 (Infrastructure)와 비교해서 적은 비용으로 무선 백본 (Backbone) 네트워크를 구성할 수 있고, 빠르고 유연한 네트워크 확장을 가능하게 하므로 무선 네트워크를 효율적으로 좀 더 광범위하게 사용할 수 있어, 높은 잠재력을 인정받아 최근에 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 라우터와 메쉬 클라이언트로 구성되어 있다. 메쉬 라우터는 이기종 네트워크를 연결시켜 줄 수 있는 브리지 (Bridge)의 역할과 인터넷 연결을 제공하는 게이트웨이 (Gateway) 역할을 통해 메쉬 백본 네트워크를 구성하며, 사용자 단말인 메쉬 클라이언트에게 네트워크 서비스를 제공하는 전통적인 라우터의 역할을 수행한다. 메쉬 클라이언트는 메쉬 라우터에 접속함으로써 무선 서비스를 제공하는 이동 무선 단말이다^{[1][2]}. 하지만 현재 접속중인 메쉬 라우터로부터 멀리 이동해서 다른 메쉬 라우터에 접근하게 되면, 메쉬 클라이언트는 새로운 메쉬 라우터를 통해 서비스를 제공 받는 것이 효율적이다. 그러므로 메쉬 클라이언트가 더 가까운 메쉬 라우터에 연결될 때, 2계층 핸드오버가 일어나게 되며 2계층 핸드오버로 인해 3계층 핸드오버 또한 발생한다. 핸드오버 발생 시 핸드오버 지연이 일어나고, 핸드오버 지연이 커짐으로써 실시간성을 요구하는 서비스의 연속성을 어렵게 만들 뿐만 아니라, 많은 양의 데이터 손실을 유발하여 무선 메쉬 네트워크 전체의 성능을 저하시키는 문제를 초래할 수 있다.

현재 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 바탕으로 많은 연구가 이루어지고 있으나, 이는 기본적으로 유선 네트워크에 비해 적은 링크 용량과, 넓은 간섭 영역으로 인해 여러 노드들이 적은 링크 용량을 공유하므로 실제 사용 가능 용량이 줄어드는 문제점이 존재한다^[3]. 또한, IEEE 802.11 MAC 프로토콜인 CSMA/CA는 원래 단일-홉 (Single-hop) 무선 LAN 환경을 위해서 설계되었기 때문에, 메쉬 라우터들 사이의 홉 연결성 (Connectivity) 제공에 용이하지 않다. 따라서 무선 메쉬 네트워크는 Mobile WiMAX를 바탕으로 고려되어야 한다. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크보다 커버리지 (Coverage)가 넓고, 높은 대역폭이 제공되기 때문에 무선 메쉬 네트워크의 백본 네트워크로 적합하다. 뿐만 아니라,

Mobile WiMAX가 단말의 이동성을 제공하기 때문에^{[4][5]}, 끊김 없는 멀티미디어 데이터 서비스 및 인터넷 서비스를 제공하기에 적합하다.

본 논문에서 다루는 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 클라이언트는 멀티미디어 및 인터넷 서비스를 Mobile WiMAX를 통하여 제공받는다. Mobile WiMAX는 기본적으로 이동성을 제공하기 때문에 메쉬 클라이언트는 이동 중에도 Mobile WiMAX를 통하여 인터넷 서비스를 제공받을 수 있다. 하지만 앞선 언급과 같이, 메쉬 클라이언트의 이동으로 인해 새로운 메쉬 라우터로의 교체가 일어나게 되고, 이에 따라 2계층 핸드오버를 수반한 3계층 핸드오버가 발생하게 되므로 멀티미디어 및 인터넷 서비스의 단절이 발생하게 된다. 따라서 Mobile WiMAX에서는 이러한 인터넷 서비스의 단절을 해결하기 위해 두 가지의 3계층 핸드오버 방안을 제공한다. 이들은 전통적인 3계층 이동성 제공 프로토콜인 MIP (Mobile IP)와 최근 차세대 IP 이동성 프로토콜로 각광받고 있는 PMIP (Proxy Mobile IP)이다. Mobile WiMAX에서 정의한 두 가지의 3계층 핸드오버 방안 중에 MIP 기반의 3계층 핸드오버 방안은 무선 구간이 많은 핸드오버 관련 메시지를 유발한다^[6]. 그러므로, Mobile WiMAX 네트워크보다 무선 구간이 더 넓은 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서는 긴 핸드오버 지연이 발생하며, 핸드오버 실패를 빈번하게 유발할 수 있다. 게다가 성능 및 자원이 한정된 이동 단말에 MIP 프로토콜을 구현해야 하는 근본적인 문제점도 존재한다. 따라서 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 3계층 핸드오버는 네트워크 기반의 이동성 제공 프로토콜인 PMIP를 기반으로 연구되어야 하며, PMIP를 통하여 3계층 핸드오버를 제공하게 되면, 이동 단말은 자신의 핸드오버에 관여하지 않아 무선 구간의 많은 핸드오버 관련 메시지를 줄이고, 한정된 무선 자원을 아낄 수 있다. 따라서 본 논문에서는 PMIP 기반의 3계층 핸드오버를 고려한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련 연구로써, Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크, Mobile WiMAX에서 정의한 3계층 핸드오버 메커니즘에 대하여 설명하고 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 3계층 핸드오버의 고려사항들을 분석한다. 3장에서는 분석된 고려사항을 바탕으로 개선된 고속 3계층 핸드오버 메커니즘을 제안한다. 4장에서는 기존 연구들과 본 논문에서 제안한 핸드오버 메커니즘의 성능을 비교 분석하며, 5장에서 결론을 내린다.

II. 관련 연구

2.1 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크

Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크 모델은 그림 1과 같다. 일반적인 무선 메쉬 네트워크^[1]와 유사한 구조를 가진 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크는 무선 BS (Base Station)간 그리고 무선 BS와 ASN-GW (Access Service Network-Gateway) 사이에 무선 백bones을 형성한다. 그림 1의 네트워크 모델은 메쉬 라우터의 기능이 추가된 무선 BS, 메쉬 라우터의 기능에 외부 네트워크와 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 서로 연결하는 게이트웨이의 기능이 추가된 ASN-GW, 그리고 메쉬 클라이언트의 역할을 하는 MS (Mobile Station)로 구성된다. 무선 BS는 기본적으로 두 종류의 네트워크 인터페이스를 사용하는데, 하나는 무선 BS들 사이의 무선 메쉬 네트워크를 구성하기 위한 백홀 (Backhaul) 프로토콜로써 WiMAX Mesh Mode를 사용하고, 다른 하나는 메쉬 클라이언트인 MS에게 네트워크 접속 서비스를 제공하기 위해서 Mobile WiMAX를 사용한다. ASN-GW는 WiMAX Mesh Mode를 위한 인터페이스와 게이트웨이 역할을 수행하기 위한 인터페이스가 필요하다. MS는 Mobile WiMAX 기반의 메쉬 클라이언트으로써, 기존의 Mobile WiMAX 시스템에서 사용하는 무선 이동단말과 동일하다.

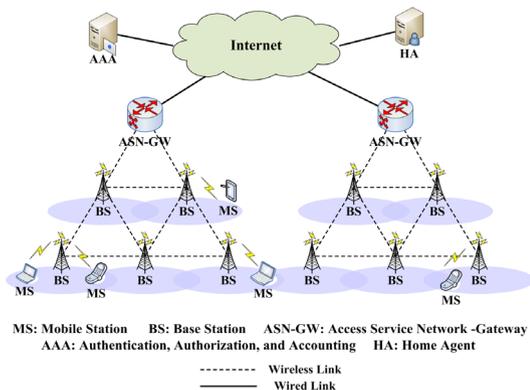


그림 1. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크

2.2 Proxy Mobile IP

이동하는 노드가 자신의 이동과 관련된 시그널링에 직접적으로 참여하는 MIP는 IP의 이동성 제공 프로토콜로써 꾸준한 연구가 진행되어왔다. 하지만 기존 단말에 MIP 스택을 탑재해야 하는 현실적인 문제 등으로 인해 최근 네트워크 기반 이동성 제공 프로토콜

인 PMIP가 IETF NETLMM WG (Network-based Localized Mobility Management Working Group)에 의해 제안되었다^[7]. 그림 2는 기존의 MIP와 PMIP의 차이점을 나타낸다.

호스트 기반의 이동성 관리 프로토콜인 MIP에서 이동 노드는 그림 2에서 보는 바와 같이 핸드오버 발생 시 세션 연속성을 제공받기 위해 자신이 직접 바인딩 과정을 통해서 위치 등록을 수행한다. 반면에 네트워크 기반의 이동성 관리 프로토콜인 PMIP는 이동 노드 자신이 직접 바인딩 과정을 수행하지 않고, MAG (Mobile Access Gateway)라 불리는 액세스 라우터가 이동 노드 대신에 바인딩 과정을 수행하기 때문에 이동 노드는 바인딩이 수반되는 특별한 MIP 스택이 아닌 기존의 IP 프로토콜만으로도 이동 중에 인터넷 서비스를 연속적으로 제공받을 수 있다. 또한 이를 통해 한정된 무선 자원을 좀 더 효율적으로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

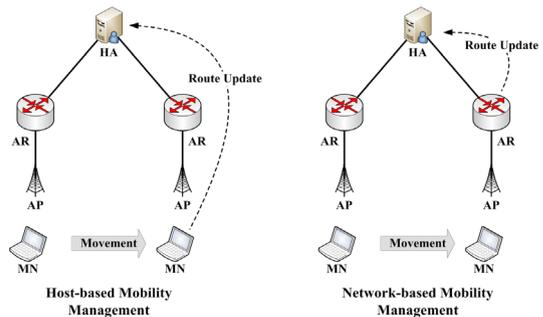


그림 2. MIP와 PMIP의 차이점

2.3 Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버

Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버는 이동성 관리 프로토콜에 따라서 크게 MIP와 PMIP 기반의 핸드오버로 나뉜다. 2.2절에서 논의된 바와 같이, MIP 기반의 핸드오버는 MIP 프로토콜 스택을 갖는 MS에 의해 호스트 기반의 핸드오버 절차가 수행되는 프로토콜이다. 반면에 PMIP는 MIP 프로토콜 스택을 갖지 않고 일반적인 IP 스택만을 가진 MS에 대해 네트워크에서 MS의 핸드오버 관련 절차를 대신 수행하는 프로토콜로 무선 구간에서 MS를 위한 3계층 핸드오버의 부가적인 시그널링이 필요하지 않으며, MS에 어떠한 요구사항도 존재하지 않는다. 본 논문에서 제안하는 3계층 핸드오버 방안은 PMIP를 기반으로 하였기 때문에 본 절에서는 PMIP 기반의 3계층 핸드오버 절차에 대하여 설명한다.

Mobile WiMAX에 정의된 PMIP 기반의 3계층 핸드오버

드오버는 MS의 요청 또는 네트워크의 요청으로 시작될 수 있으며, 핸드오버 절차는 다양한 시나리오에 따라서 다르게 나타날 수 있다. 그림 3은 Mobile WiMAX에서 제안한 MS의 요청에 의한 PMIP 기반의 3계층 핸드오버의 메시지 교환 절차를 나타낸다^{4,5)}.

서빙 BS에서 주기적으로 브로드캐스트되는 MOB_NBR-ADV (Neighbor Advertisement) 메시지를 통해 인접 BS들의 정보를 얻은 MS는 수신 신호의 세기가 감소하면 인접 BS들에 대한 스캐닝을 수행한다. 스캐닝을 통해 핸드오버를 감지한 MS는 획득한 정보를 바탕으로 핸드오버가 가능한 후보 BS들을 정하고 서빙 BS에 MOB_MSHO-REQ (Mobile Station Handover Request) 메시지를 전송하여 핸드오버를 시작한다. 서빙 BS는 HO Request (Handover Request) 메시지를 전송하여 핸드오버를 하려는 MS의 정보를 후보 BS들에게 알려주고 그에 대한 응답 메시지를 받는다. 서빙 BS는 MS에게 핸드오버와 관련된 정보들을 정리하여 MOB_MSHO-RSP (Mobile Station Handover Response) 메시지를 통해 알려준다. MS는 핸드오버를 수행할 하나의 타겟 BS를 최종적으로 결정하여 이를 MOB_HO-IND (Handover Indication) 메시지를 통해 서빙 BS에게 알리고 그 타겟 BS와 네트워크 재진입 절차를 수행한다.

MOB_HO-IND 메시지를 받은 서빙 BS는 타겟 BS와 MS에 대한 정보를 HO Confirm (Handover Confirm) 메시지에 담아 타겟 ASN-GW에 전송한다. 네트워크 재진입 절차가 완료되면 타겟 BS는 타겟 ASN-GW에게 MS의 2계층 핸드오버 완료료를 알리는

HO Complete (Handover Complete) 메시지를 전송한다. MS에 대한 정보를 획득한 타겟 BS는 MS의 위치등록을 위하여 HA (Home Agent)에게 PBU (Proxy Binding Update) 메시지를 보낸다. PBU를 받은 HA는 바인딩 캐쉬 (Binding Cache)에 MS의 위치를 업데이트하고 PBA (Proxy Binding Acknowledgement) 메시지를 전송한다. PBA를 받은 타겟 ASN-GW가 RA (Router Advertisement) 메시지를 MS에게 유니캐스트 (Unicast)로 전송하면 MS는 새로운 네트워크를 통해 데이터를 전송 받을 수 있다.

2.4 3계층 핸드오버 고려사항

본 절에서는 Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버 방안을 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에 적용할 때 발생하는 문제점에 대해 살펴보고 이를 해결하기 위해서 필요한 고려사항에 대해 논의한다.

2.1절에서 기술한 바와 같이, Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크는 무선 백본이 존재하기 때문에 Mobile WiMAX 네트워크와 다르다. Mobile WiMAX에서 정의한 두 가지의 3계층 핸드오버 방안 중에 MIP 기반의 3계층 핸드오버 방안은 다음과 같은 많은 문제점들 때문에 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에 적용할 수 없다. 2.2절에서 언급한 바와 같이 MIP는 이동 단말이 직접 AR(Access Router)에게 자신의 이동에 관련한 시그널링을 수행한다. PMIP와 비교하여 RS(Router Solicitation), 바인딩 업데이트 등의 메시지가 추가적으로 무선 구간에서 발생하기 때문에 Mobile WiMAX 네트워크보다

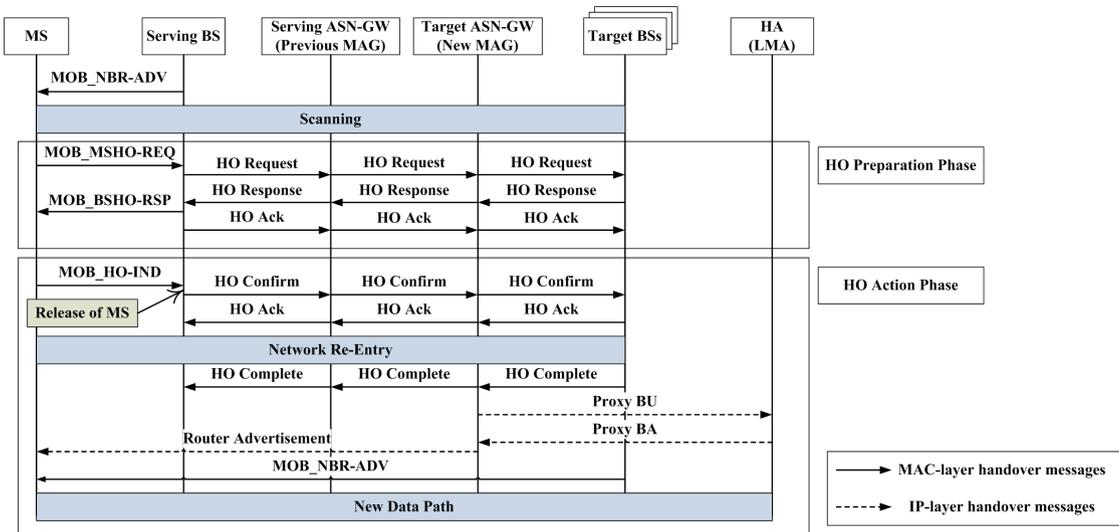


그림 3. Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버

무선 구간이 더 넓은 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서는 긴 핸드오버 지연이 발생하여 핸드오버 실패를 빈번하게 유발할 수 있다. 게다가 성능 및 자원이 한정된 이동 단말에 MIP 프로토콜을 구현해야 하는 근본적인 문제점도 존재한다. 따라서 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 3계층 핸드오버는 PMIP를 기반으로 하는 것이 효율적이다.

2.3절에서 논의된 것처럼, Mobile WiMAX에는 PMIP 기반의 3계층 핸드오버가 이미 존재하기 때문에 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에 적용할 수 있다. 그런데 기존의 PMIP는 2계층 핸드오버가 완료된 이후에 PBU와 PBA 메시지의 교환을 통한 3계층 핸드오버가 수행되기 때문에 핸드오버 지연이 발생할 수 있다. 이런 핸드오버 지연은 패킷 손실이나 패킷 순서 뒤섞임 문제를 야기할 수 있기 때문에 VoIP, 비디오 스트리밍과 같은 실시간 멀티미디어 서비스에 악영향을 끼친다. 따라서 PMIP의 핸드오버 지연을 최소화하는 방안이 연구되어야 한다.

정리하자면, 첫째, Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 3계층 핸드오버 방안으로 PMIP를 고려한다. MIP는 좀 더 긴 핸드오버 지연, 단말의 프로토콜 구현 등과 같은 문제점을 지녔기 때문이다. 그리고 둘째, PMIP 기반의 3계층 핸드오버 과정에서 여전히 존재하는 핸드오버 지연을 방지하고자 PMIP 기반의 고속 3계층 핸드오버를 고려한다.

이와 같은 두 가지 고려사항을 바탕으로 우리는 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 PMIP 기반의 고속 3계층 핸드오버 방안을 제안하도록 한다.

III. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 고속 3계층 핸드오버 방안

3.1 제안하는 PMIP 기반의 고속 3계층 핸드오버 절차

본 절에서는 Mobile WiMAX의 PMIP기반의 3계층 핸드오버 절차를 2.4절에서 논의된 고려사항을 바탕으로 수정한 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 고속 3계층 핸드오버 절차에 대해서 기술한다. 제안한 핸드오버 방안은 핸드오버 지연을 줄이기 위해서 2계층 핸드오버가 완료되기 전에 2계층의 핸드오버 예상 정보를 바탕으로 3계층 핸드오버를 미리 수행하고, 패킷 손실을 막기 위해서 서빙 ASN-GW와 타겟 ASN-GW에서 버퍼링을 동시에 수

행하며 양방향 터널 (Bi-Directional Tunnel)을 설정하는 PMIP 기반의 고속 핸드오버이다. 본 논문에서 제안한 3계층 핸드오버 절차는 다음과 같다.

3.1.1 2계층 핸드오버의 시작

MS는 주기적으로 현재 서빙 BS로부터 MOB_NBR-ADV 메시지를 통해 인접 BS들의 정보를 수신하면서 서비스를 받는다. 서빙 BS로부터의 수신 신호 세기가 일정 기준치 이하로 떨어지게 되면 스캐닝을 통해서 인접 BS의 신호를 스캔 한다. 셀 검색을 통해 신호 세기가 더 나은 셀의 BS를 찾게 되면 MS는 MOB_MSHO-REQ 메시지를 서빙 BS에 전송함으로써 핸드오버를 시작한다. MS로부터 핸드오버 요청 메시지를 수신한 서빙 BS는 HO Request 메시지를 통해서 후보 BS들의 목록과 MS에 대한 MAC 정보를 서빙 ASN-GW에 전달한다. 후보 BS들이 다른 ASN-GW의 BS일 경우에 서빙 ASN-GW는 3계층 핸드오버를 위한 절차를 시작한다.

3.1.2 고속 핸드오버를 위한 준비 절차

ASN-GW는 MS가 요청한 BS들이 새로운 ASN-GW의 BS일 경우 패킷 손실을 막기 위해 버퍼링을 시작하고, HO Request 메시지를 핸드오버할 예정인 후보 BS들에게 전달한다. 후보 BS들은 HO Request 메시지에 대한 응답으로 HO Response 메시지를 전달하고, 서빙 BS는 그에 대한 응답으로 HO Ack (Handover Acknowledgement)를 전송함으로써 핸드오버 동안에 서빙 ASN-GW와 타겟 ASN-GW사이에 패킷 터널링을 위한 트래픽 터널 (Traffic Tunnel)을 설정한다. 터널이 설정되면 서빙 ASN-GW는 버퍼링한 패킷들을 타겟 ASN-GW에 전송하고, 이를 받은 타겟 ASN-GW도 버퍼링을 수행하여 패킷 손실을 막는다. 한편, HO Response 메시지를 수신한 서빙 BS는 MOB_BSHO-RSP 메시지를 통해 핸드오버 요청에 대한 결과를 MS에게 통보하게 된다. MOB_BSHO-RSP 메시지를 수신한 MS는 후보 BS들 중에서 핸드오버를 수행할 하나의 BS를 결정하고 MOB_HO-IND 메시지를 서빙 BS에 전송함으로써 기존 링크와 연결을 중단하게 된다. 이 때 서빙 BS는 HO Confirm 메시지를 통해서 MS에 대한 정보를 타겟 BS에게 전달하게 되며 이에 대한 결과는 타겟 BS의 HO Ack 메시지를 통해서 서빙 BS에게 보고된다.

기존의 핸드오버 방안과 다르게, 제안하는 핸드오버 방안에서는 서빙 ASN-GW가 서빙 BS로부터 HO Confirm 메시지를 받으면, FPBU (Fast Proxy

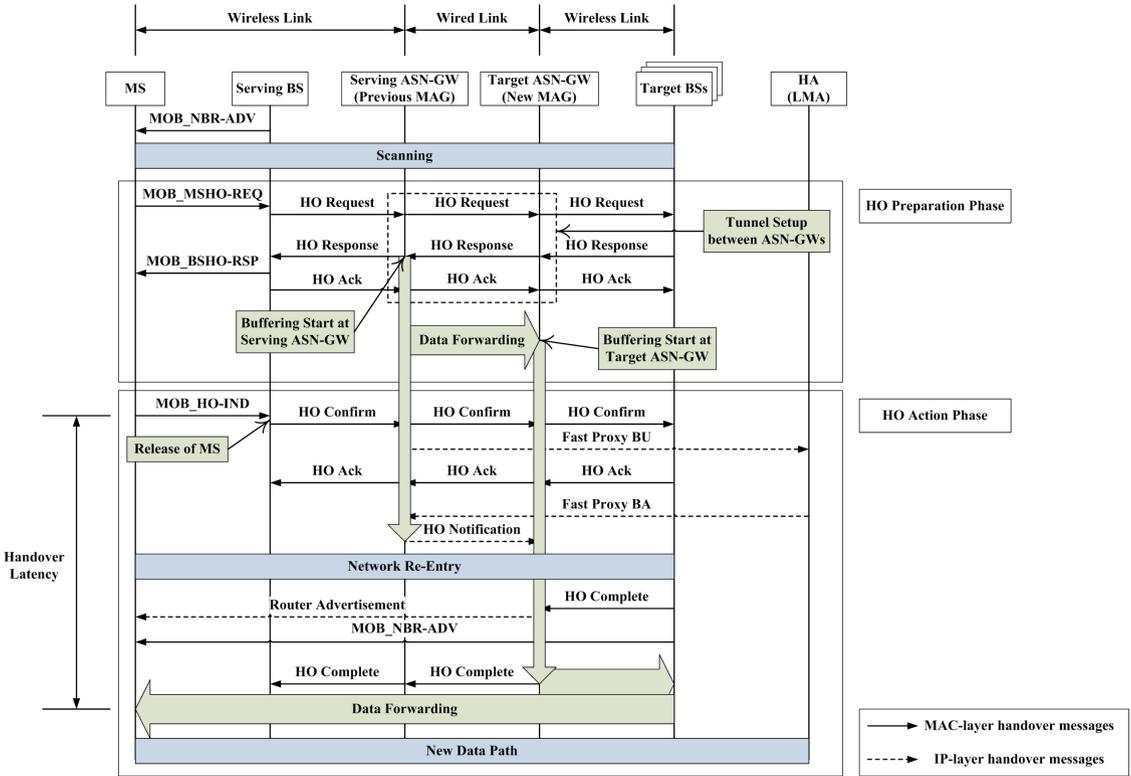


그림 4. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 PMIP 기반의 고속 3계층 핸드오버

Binding Update) 메시지를 타겟 ASN-GW 대신 전송하여 MS의 위치등록을 수행한다. 이는 2계층 핸드오버가 수행되는 동안 HO Confirm 메시지에 포함된 MS의 정보와 핸드오버가 결정된 타겟 BS의 정보를 바탕으로 미리 3계층 핸드오버를 수행하여 핸드오버 지연을 줄이기 위함이다. 본 논문에서는 타겟 ASN-GW 대신에 서빙 ASN-GW가 MS를 HA에 등록하기 때문에 기존의 PMIP에서 사용된 PBU 메시지와 다른 FPBU 메시지로 정의하였다. FPBU 메시지를 수신한 HA는 MS의 위치를 바인딩 캐쉬에 등록하고 FPBU 메시지를 전송하였던 서빙 ASN-GW가 아닌 타겟 ASN-GW와 터널을 설정한다. 모든 절차를 마친 HA는 FPBA (Fast Proxy Binding Acknowledgement) 메시지를 서빙 ASN-GW에게 전송하고, 이를 받은 서빙 ASN-GW는 타겟 ASN-GW에게 HO Notification 메시지를 전송한다. 기존의 PMIP에 존재하지 않는 HO Notification 메시지를 보내는 이유는 크게 두 가지이다. 첫 번째는 서빙 ASN-GW가 타겟 ASN-GW 대신 MS의 현재 위치를 HA에 등록하였음을 알려줌으로써 타겟 ASN-GW가 HA와 터널을 설정하게 하고, 두 번째는 MS가 아직 타겟 ASN-GW의 네트워크

에 접속하지 않았기 때문에 HA가 MS로 향하는 패킷들을 타겟 ASN-GW에게 전송하면 타겟 ASN-GW는 목적지가 없는 패킷들로 간주하여 버리게 된다. 이를 막기 위해서 서빙 ASN-GW는 반드시 타겟 ASN-GW에게 HO Notification 메시지를 전송해야 한다.

3.1.3 새로운 ASN-GW에 접속과 패킷 수신

MOB_HO-IND 메시지 전송으로부터 시작된 3계층 핸드오버가 수행되는 동안에, MS는 새로운 ASN-GW의 BS에 접속하기 위한 절차를 수행하게 된다. 타겟 BS에 접속하기 위한 네트워크 재진입 절차는 기존의 Mobile WiMAX에 정의된 절차와 동일하다. 네트워크 재진입 절차를 통해서 타겟 BS에 접속이 완료되면, 타겟 BS는 2계층 핸드오버의 완료를 의미하는 HO Complete 메시지를 타겟 ASN-GW에 전송한다. 미리 수행된 3계층 핸드오버 절차로 인해 타겟 ASN-GW는 2계층 핸드오버가 완료되자마자 MS에게 RA 메시지를 전송할 수 있기 때문에, MS는 서빙 ASN-GW에서 사용되었던 IP 주소를 계속해서 사용할 수 있다. 마지막으로 타겟 ASN-GW는 핸드오버가 수행되는 동안에 버퍼링했던 패킷을 MS에게 전송

함으로써 핸드오버 절차를 마친다.

3.1.4 3계층 핸드오버의 실패 가능성

2계층 핸드오버 진행 과정 중에 3계층 핸드오버를 수행하게 되면 2계층 핸드오버 완료 이전에 MS가 예상과 다른 방향으로 이동할 경우에 핸드오버를 실패할 가능성이 있다. 그러나 본 논문에서 제안하는 방안은 이러한 실패 가능성을 상쇄할 수 있다.

2계층 핸드오버 과정이 진행되기 전에 MS는 서빙 BS로부터 주기적으로 브로드캐스팅되는 MOB_NBR-ADV 메시지를 수신한다. 이 메시지를 통해 인접한 위치에 존재하는 모든 BS들의 정보를 획득하며, 이를 통해 잠정적으로 핸드오버 될 후보 BS들을 리스트로 보유한다. 따라서 MS가 예상치 못한 방향으로 이동을 하더라도 이미 리스트에 존재하는 BS일 확률이 높고 만일 리스트에 존재하지 않는 BS일 경우에도 BS로부터 주기적으로 MOB_NBR-ADV 메시지를 수신하기 때문에 예상치 못한 움직임에 따른 핸드오버 실패 가능성이 상쇄된다.

또한 3계층 핸드오버 측면에서, MOB_NBR-ADV 메시지를 통해 수신한 후보 BS들 정보는 각 후보 BS들 상위의 ASN-GW 정보를 알 수 있게 하는데, 그 이유는 ASN-GW들 사이에서 공유되는 라우팅 정보에 ASN-GW에 연결되어 있는 BS들의 주소가 포함되기 때문이다. 따라서 MS가 이동하게 될 BS의 정보를 알면 서빙 ASN-GW는 타겟 ASN-GW를 알게 되므로 예상치 못한 이동의 경우에도 핸드오버 실패 가능성은 상쇄될 수 있다.

그러므로 만약 2계층 핸드오버를 수행 중이던 MS가 전혀 예상하지 못한 방향으로 이동하게 되면, 예상치 못한 위치의 BS와 다시 2계층 핸드오버를 수행하게 되며 이 때 제안한 방안의 3계층 핸드오버 절차가 수행되므로 예상하지 못한 방향으로 이동할 경우의 핸드오버 실패가 일어나지 않는다.

IV. 성능 분석 및 모의 실험

4.1 3계층 핸드오버 지연시간 성능 분석

본 절에서는 제안한 핸드오버 방안과 Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버 방안의 핸드오버 지연시간을 수식으로 비교한다. Mobile WiMAX에서는 3계층 핸드오버 발생시에 60Km/h의 이동속도를 가지는 단말에 대해서 1s 미만의 핸드오버 지연시간을 만족시켜야 한다^[8].

핸드오버 지연시간 비교를 위해서 그림 5에 나타난

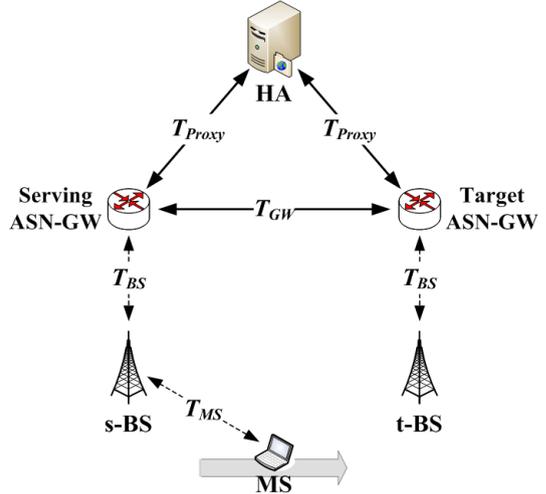


그림 5. 지연시간 비교를 위한 네트워크 토폴로지

네트워크 토폴로지를 가정한다. 그림 5의 네트워크 토폴로지에서 각 노드 사이에 무선 링크의 데이터 전송과 관련된 지연시간은 표 1과 같이 가정한다. 표 1에서 T_GW는 다른 4개의 지연시간들에 비해 무시할 수 있을 정도로 매우 작기 때문에 지연시간 계산 시에는 고려하지 않았다.

표 1을 바탕으로 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 Mobile WiMAX 핸드오버 방안의 핸드오버 지연시간을 계산하고자 한다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, MS가 MOB_HO-IND 메시지를 전송한 뒤 타겟 BS가 HO Complete 메시지를 타겟 ASN-GW에게 전송할 때까지 걸리는 지연시간은 TL2이고, 2계층 핸드오버가 완료됨을 인식한 타겟 ASN-GW와 HA가 PBU 메시지와 PBA 메시지를 주고받는 데 걸리는 시간이 2T_Proxy이며, PBA 메시지

표 1. 각 노드의 링크 사이의 지연 파라미터.

항목	설명
$TL2$	2계층 핸드오버 (HO Action Phase) 지연 시간
T_{Proxy}	ASN-GW와 HA 사이의 유선 링크를 통해 패킷을 전송하는데 걸리는 시간
T_{GW}	ASN-GW 사이의 유선 링크를 통해 패킷을 전송하는데 걸리는 시간
T_{BS}	ASN-GW와 BS 사이의 무선 링크를 통해 패킷을 전송하는데 걸리는 시간
T_{MS}	BS와 MS 사이의 무선 링크를 통해 패킷을 전송하는데 걸리는 시간

를 받은 타겟 ASN-GW가 RA 메시지를 MS에게 전송하는 데 걸리는 시간은 $T_{BS} + T_{MS}$ 이다. MS가 RA 메시지를 받은 이후에 타겟 ASN-GW로부터 패킷을 받는 데 걸리는 시간은 제안하는 방안과 Mobile WiMAX가 동일한 시간이 걸리므로 핸드오버 지연시간에서 제외한다. 따라서 Mobile WiMAX 핸드오버 방안의 핸드오버 지연시간 ($T_{Mobile\ WiMAX_L3}$)을 계산하여 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$T_{Mobile\ WiMAX_L3} = TL2 + 2T_{Proxy} + T_{BS} + T_{MS}$$

본 논문에서 제안하는 핸드오버 방안의 지연시간을 계산해보면 다음과 같다. 그림 4에서 나타나듯이, 제안하는 방안은 2계층 핸드오버와 3계층 핸드오버를 동시에 수행하므로 두 개의 지연시간 중에 더 긴 지연시간이 핸드오버 지연시간이 된다. 제안하는 방안에서 3계층 핸드오버를 수행하는데 걸리는 시간은 MS가 MOB_HO-IND 메시지를 전송하는 순간부터 타겟 ASN-GW가 HA로부터 FPBA 메시지를 받는 순간까지이므로 $T_{MS} + T_{BS} + 2T_{Proxy}$ 이다. 따라서 제안하는 방안의 핸드오버 지연시간 ($T_{Proposal_L3}$)을 계산하여 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$T_{Proposal_L3} = \max \{ T_{MS} + T_{BS} + 2T_{Proxy}, TL2 \} + T_{BS} + T_{MS}$$

만약 제안하는 방안에서 2계층 핸드오버 지연시간이 더 길면 $T_{Proposal_L3}$ 는 $TL2 + T_{BS} + T_{MS}$ 이고, $T_{Mobile\ WiMAX_L3}$ 에서 $T_{Proposal_L3}$ 를 빼면 $2T_{Proxy}$ 이므로 $T_{Mobile\ WiMAX_L3} \gg T_{Proposal_L3}$ 이다. 반면에 3계층 핸드오버 지연시간이 더 길다고 가정하면, $T_{Proposal_L3}$ 는 $T_{MS} + T_{BS} + 2T_{Proxy} + T_{BS} + T_{MS}$ 이고, $T_{Mobile\ WiMAX_L3}$ 에서 $T_{Proposal_L3}$ 를 빼면 $TL2 - (T_{MS} + T_{BS})$ 이다. 그런데 $TL2 \gg T_{MS} + T_{BS}$ 는 항상 성립하기 때문에 결과적으로 $T_{Mobile\ WiMAX_L3} \gg T_{Proposal_L3}$ 가 항상 성립한다. 따라서 제안한 3계층 핸드오버 방안은 Mobile WiMAX 기반의 무선 메시 네트워크에서 기존의 Mobile WiMAX 핸드오버 방안보다 핸드오버 지연시간이 항상 더 적음을 알 수 있다. Mobile WiMAX와 제안한 방안의 지연시간을 그림 6과 7에 도식적으로 나타내었다. 그림 7에서 제안한 방안은 2계층 핸드오버 지연시간이 3계층 핸드오버 지연시간보다 더 긴 경우이다.

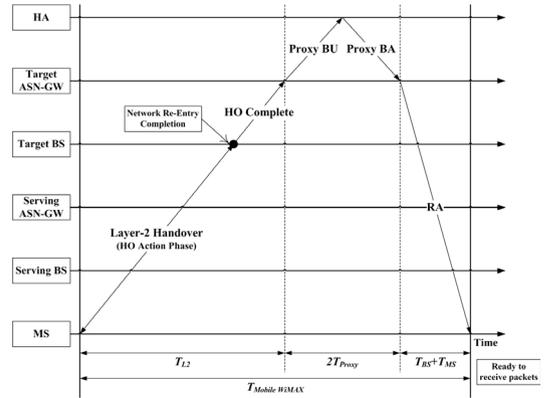


그림 6. Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버 지연시간

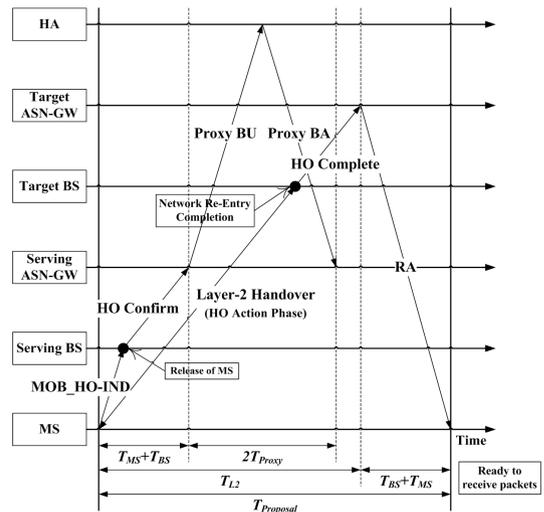


그림 7. 제안한 방안의 3계층 핸드오버 지연시간

4.2 모의 실험

본 장에서는 제안한 고속 3계층 핸드오버 메커니즘과 Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버 메커니즘에 대한 성능을 평가 및 비교하기 위해서 NS-2 기반의 시뮬레이터^[11]를 구현하였다. 제안한 메커니즘에 대한 모의 실험은 Mobile WiMAX 기반의 무선 메시 네트워크에서 수행하며, 성능 평가 및 비교를 위해서 TCP throughput, TCP 순서 번호, 핸드오버 지연시간을 측정하였다.

그림 8에 성능 측정을 위해 모의 실험을 행한 토폴로지를 나타내었다. 주어진 토폴로지에서 HA와 라우터 R0 사이, CN과 라우터 R0 사이, ASN-GW1과 라우터 R1 사이 그리고 ASN-GW2와 R1 사이의 유선 링크 전송 지연은 2ms이고 라우터 R0와 라우터 R1 사이의 지연은 10ms로 설정하였다. BS1과 BS2는

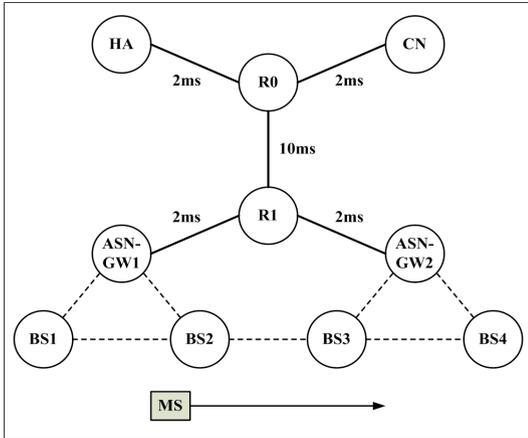


그림 8. 3계층 핸드오버 모의 실험 토폴로지

ASN-GW1에 속한 메쉬 라우터들이고, BS3과 BS4는 ASN-GW2에 속한 메쉬 라우터들이다. 물리 계층과 MAC 계층은 WiMAX Mesh Mode를 사용하였고 라우팅 프로토콜은 OLSR을 사용하였다. 이와 같은 토폴로지에서도 이동 단말인 MS는 CN으로부터 전송되는 TCP 트래픽을 수신하면서 BS2에서 출발하여 BS3로 일정한 속도로 이동하고 이 과정에서 3계층 핸드오버를 수행한다. 시뮬레이션과 관련된 파라미터들은 표 2에 정리하였다.

그림 9는 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 3계층 핸드오버 발생 시에 Mobile WiMAX의 핸드오버 방안과 제안한 핸드오버 방안의 TCP 트래픽에 대한 throughput 비교를 나타낸 것이다. 그림 9의 결과에서 볼 수 있듯이, 제안한 방안의 TCP throughput이 기존 방안의 TCP throughput보다 더 좋은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 서버 ASN-GW와 타겟 ASN-GW의 버퍼링 기능 수행에 의해서 나타났다고 볼 수 있다. 기존 Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버 절차 상에는 3계층 핸드오버 시 버퍼링 기능이 존재하지 않기 때문에 핸드오버로 인해 연결이 끊어져 있는 동안의 데이터는 손실이 발생하게 되어 단위 시간당 수신한 TCP 패킷 측면에서의 TCP throughput은 0으로 감소하게 된다. 반면에 제안한 방안은 핸드오버로 인해 연결이 끊어져 있는 동안 서버 ASN-GW와 타겟 ASN-GW가 수신되는 TCP 패킷을 버퍼링하고 있기 때문에 MS가 핸드오버 완료 이후에 버퍼링 패킷을 수신하게 되어 결과적으로 TCP throughput이 0으로 감소하는 현상이 발생하지 않는다. 뿐만 아니라 TCP throughput이 감소하는 구간을 살펴보면 기존 방안 보다 제안 방안이 먼저 throughput 감소가 일어나

표 2. 모의 실험 파라미터.

항목	값
모의 실험 수행 시간	300초
노드들의 수	11
노드들간의 거리	100m
전송 범위	100m
단말 속도	60km/h
물리 계층, MAC 계층	WiMAX Mesh Mode
라우팅 프로토콜	OLSR

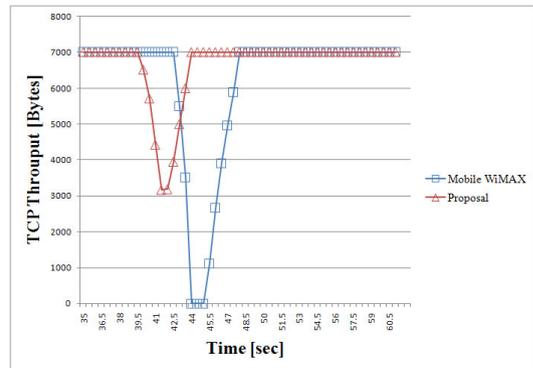


그림 9. TCP throughput 비교

는 것을 볼 수 있는데, 이와 같은 현상 또한 서버 ASN-GW와 타겟 ASN-GW의 버퍼링 수행에 의해 발생하는 것으로서, 제안 방안에서 ASN-GW는 MS의 2계층 핸드오버 과정에서 MS의 핸드오버를 예상하여 미리 버퍼링을 수행하므로 기존의 Mobile WiMAX 절차보다 TCP throughput이 먼저 0으로 감소하게 된다. 하지만 ASN-GW의 버퍼링 수행과 고속 바인딩 과정으로 핸드오버 지연시간이 감소하게 되어 TCP throughput 감소 구간이 기존의 Mobile WiMAX 보다 더 짧아졌으며, 이와 같은 결과는 제안 방안이 기존 방안과 비교하여 일정한 TCP throughput으로 회복되는 시간이 좀 더 빠른 것을 나타낸다. 따라서 throughput 측면에서 제안 방안의 성능이 기존 방안보다 향상됨을 알 수 있다.

그림 10과 11은 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 기존 방안과 제안한 방안의 TCP 순서 번호 측정 결과이다. 그림 10에서 기존 방안은 3계층 핸드오버 시에 약 1600ms의 핸드오버 지연이 발생한다. 이 정도의 지연시간은 Mobile WiMAX에서 정의한 핸드오버 지연시간에 대한 요구사항을 만족시킬 수 없기 때문에 이동 단말은 끊임 없는 서비스를 제공

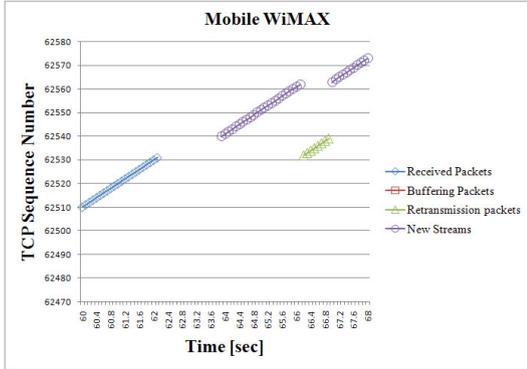


그림 10. Mobile WiMAX의 TCP 순서 번호

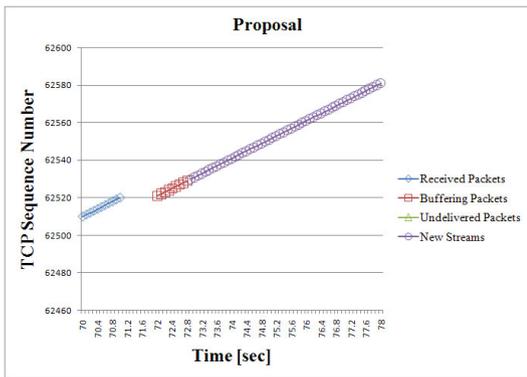


그림 11. 제안한 방안의 TCP 순서 번호

받을 수 없다. 또한 기존 방안은 핸드오버를 수행하는 동안에 긴 핸드오버 지연으로 인해 패킷 손실이 발생하기 때문에 새로운 네트워크로 이동한 이동 단말은 새로운 패킷을 받는 도중에 재전송된 패킷을 수신하게 되어 패킷 순서 뒤바뀔 문제가 발생한다. 반면에 제안한 방안은 핸드오버 지연시간이 약 800ms 정도로 핸드오버 지연시간에 대한 요구사항을 충분히 충족하고, 버퍼링 기법을 사용하고 고속 핸드오버를 수행하기 때문에 패킷 손실과 순서 뒤바뀔 문제가 발생하지 않는다.

그림 12는 Mobile WiMAX 기반의 무선 메시 네트워크에서 기존 방안과 제안한 방안의 네트워크의 트래픽 부하 변화에 따른 핸드오버 지연시간을 측정된 결과이다. 두 핸드오버 방안 모두 네트워크에 트래픽 부하가 증가할수록 핸드오버 지연시간이 증가하지만, 제안한 방안이 모든 경우에서 더 나은 성능을 나타내고 있다. 2계층과 3계층 핸드오버를 별개로 수행하는 기존 방안은 네트워크에 트래픽이 증가할수록 각각의 핸드오버를 수행하는데 걸리는 지연시간이 크게 증가

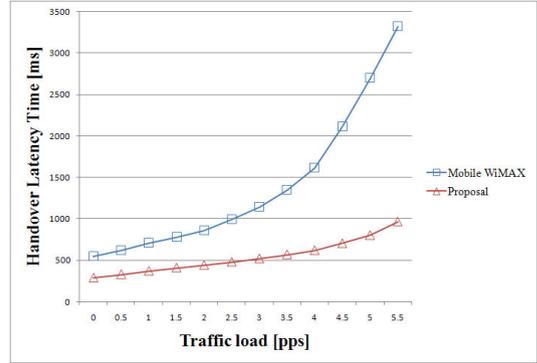


그림 12. 핸드오버 지연시간 비교

한다. 게다가 기존 방안은 트래픽 부하가 약 2.5 packet/s 이상이 되면 Mobile WiMAX에서 정의한 핸드오버 지연시간의 요구사항을 만족시킬 수 없다. 반면에 제안한 방안은 트래픽 부하 증가에 따른 핸드오버 지연시간의 증가가 완만한 곡선을 이루며 5packet/s 까지 증가하여도 핸드오버 지연시간의 요구사항을 만족시킬 수 있다.

마지막으로 그림 13과 그림 14는 각각 무선 링크 지연시간 변화량에 따른 핸드오버 지연시간과 단말 속도 변화에 따른 핸드오버 지연시간 측정 결과이다. 무선 링크 지연시간 및 단말 속도 변화에 따른 성능 비교를 위하여 기존 실험 파라미터에 표 3과 같은 가변 파라미터를 추가적으로 적용하였다.

그림 13은 ASN-GW와 BS간, BS와 MS간 무선 링크의 지연시간을 가변적으로 변화시키며 시뮬레이션한 결과이다. 기존 Mobile WiMAX의 경우 무선 링크의 지연시간이 증가함에 따라 핸드오버 지연시간이 비례하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 기존 Mobile WiMAX의 3계층 핸드오버가 2계층 핸드오버

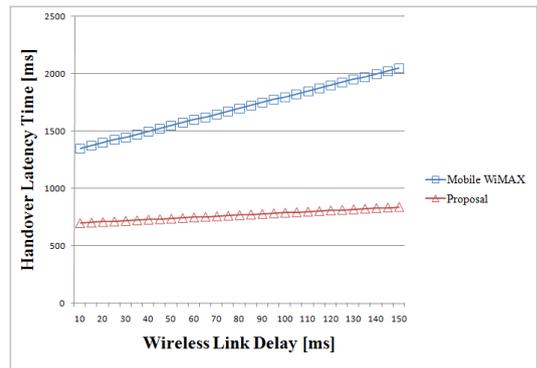


그림 13. 무선 링크 지연시간 변화에 따른 핸드오버 지연

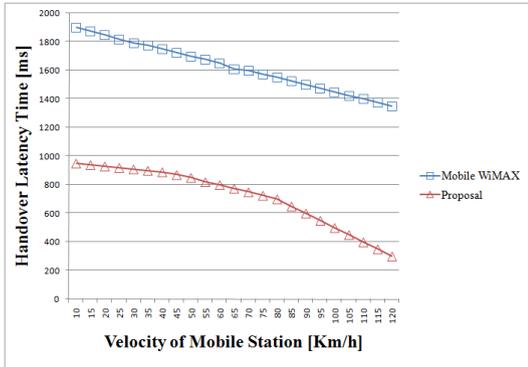


그림 14. 단말 속도 변화에 따른 핸드오버 지연

표 3. 가변 파라미터.

항목	값
무선 링크 지연시간	10ms~150ms
단말 속도	10km/h~120km/h

드오버 완료 이후에 일어나므로 무선 링크 지연시간이 길어질수록 2계층 핸드오버 시간이 증가해 결과적으로 2계층 핸드오버 이후에 일어나는 3계층 핸드오버 지연시간까지 비례하게 증가하기 때문에 나타난 것이다. 반면에 제안 방안은 기존 Mobile WiMAX와 비교하여 무선 링크 지연시간 증가에 따른 핸드오버 지연시간 증가량이 크지 않은 것을 볼 수 있다. 제안 방안은 2계층 핸드오버 과정 중에 3계층 핸드오버가 일어나기 때문에 단순 2계층 핸드오버 지연만이 핸드오버 지연시간 증가에 영향을 받게 되므로 무선 링크 지연시간의 변화에 따른 총 핸드오버 지연시간 증가량이 완만하다. 따라서 제안 방안이 무선 링크 변화에 덜 민감한 성능을 지님을 알 수 있다.

그림 14는 단말 속도 변화에 따른 핸드오버 지연시간 측정 결과이다. Mobile WiMAX는 60km/h의 속도로 이동하는 단말에게 1s 미만의 지연시간을 만족하도록 정의하고 있으며 그 외 속도에 대한 특별한 정의는 존재하지 않는다. 하지만 60km/h 이상의 속도로 이동하는 단말에게 좀 더 적은 지연을 보장해주는 것이 정석이며 이러한 기준에 기존 Mobile WiMAX와 제안 방안이 어떠한 성능을 지녔는지를 분석하기 위하여 단말 속도에 변화를 두어 실험을 진행하였다.

그림 14에서 보는 바와 같이 기존 Mobile WiMAX는 60km/h 이상의 속도로 움직이는 단말에게도 1s 기준에 못 미치는 지연시간을 지닌 것으로 나타났다. 이러한 현상은 여전히 2계층 핸드오버 완료 이후 3계층 핸드오버 수행으로 인해 발생한 것으로써 단말이 좀

더 고속으로 이동하여 ASN-GW간의 이동 또한 빨라져 2계층 핸드오버와 더불어 3계층 핸드오버가 더욱 빈번하게 일어나기 때문이다. 반면 제안 방안은 1s 기준에 적합한 지연시간을 보이며, 단말이 점차 고속으로 이동함에 따른 핸드오버 지연시간이 급격하게 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 제안 방안의 경우 빈번한 3계층 핸드오버에 큰 영향을 받지 않기 때문이며, 좀 더 고속에서도 제안 방안의 성능이 더욱 효과적임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 고속 3계층 핸드오버 방안을 제안하였다. 제안 방안에서는 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 지원하는 두 가지의 3계층 핸드오버 방안 중 무선 백본의 부담을 줄이기 위하여 일반적인 MIP 기반이 아닌 PMIP를 기반으로 하였다. 그러나 Proxy Mobile IP 기반의 핸드오버는 이동 노드가 자신의 핸드오버에 관여하지 않기 때문에 무선 구간에서 유발되는 핸드오버 메시지를 줄일 수 있는 장점이 있으나, 일반적인 3계층 핸드오버 방안들이 근본적으로 지니고 있는 2계층 핸드오버 완료 후 수행되는 바인딩 절차의 문제로 인해 2계층 핸드오버 종료 시점부터 바인딩 절차가 완료되는 시점까지의 시간 동안 핸드오버 지연이 발생 하는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 핸드오버 지연으로 인해 세션 연속성의 단절이 유발되어 많은 데이터 손실이 발생하게 된다.

본 논문에서는 이 같은 문제를 해결하고자 2계층 핸드오버 정보를 바탕으로 미리 바인딩 절차를 수행하는 PMIP 기반의 고속 3계층 핸드오버 방안을 제안하였다. 2계층 핸드오버 정보를 바탕으로 미리 바인딩 절차가 수행되므로 기존의 방식과 비교하여 핸드오버 지연시간을 최소화 할 수 있었고, 이를 통하여 패킷 손실을 막을 수 있었다. 이러한 성능 개선 효과는 모의 실험을 통하여 제시되었으며, 모의 실험 결과에 의해 제안한 방안이 기존의 핸드오버 방안에 비해 TCP throughput, 패킷 손실 그리고 핸드오버 지연시간 측면에서 성능 개선 효과를 지녔음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks," *IEEE Radio Communications*, Vol.43, No.9, pp.23-30,

September 2005.

[2] S. Zhang, F. R. Yu, V. C. Leung, "Joint Connection Admission Control and Routing in IEEE 802.16-Based Mesh Networks," *In Proceedings IEEE ICC 2008*, Beijing, China, pp.4938-4942, May 2008.

[3] Tzu-Jane Tsai, Ju-Wei Chen, "IEEE 802.11 MAC Protocol over Wireless Mesh Networks: Problems and Perspectives," *In Proceedings of the 19th International Conference on AINA*, Vol.2, pp.60-63, March 2005.

[4] WiMAX Forum NWG, "Stage-2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points," 2007.

[5] WiMAX Forum NWG, "Stage-3: Detailed Protocol and Procedures," 2007.

[6] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," *IETF RFC 3775*, Jun. 2004.

[7] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, B. Patil, "Proxy Mobile IPv6," *IETF RFC 5213*, Aug. 2008.

[8] WiMAX Forum SPWG, "Recommendations and Requirements for Networks based on WiMAX Forum Certified™ Products," WiMAX Forum, Feb. 2006.

[9] H. Yokota, K. Chowdhury, B. Patil, F. Xia, "Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6," *IETF Internet draft*, Jun. 2009.

[10] 박병주, 한연희, 김봉기, "Proxy Mobile IPv6 네트워크에서 Fast Handover 기법 설계," *한국정보과학회논문지*, Vol.35, pp.301-310, Aug. 2008.

[11] "The Network Simulator-ns (version2) website," <http://www.isi.edu/nsnam>.

김민 (Min Kim)

준회원



2007년 8월 광운대학교 전자통신공학과
 2009년 2월 광운대학교 전자통신공학과(석사)
 2010년 1월~현재 삼성전자 <관심분야> Wireless Mesh Networks, QoS, Mobility Management

김종민 (Jong-min Kim)

준회원



2009년 2월 광운대학교 전자통신공학과
 2009년 2월~현재 광운대학교 전자통신공학과(석사과정)
 <관심분야> Mobility Management, Proxy Mobile IPv6, Multicast

김화성 (Hwa-sung Kim)

종신회원



1981년 2월 고려대학교 전자공학과
 1983년 2월 고려대학교 전자공학과(석사)
 1996년 Lehigh Univ. 전산학(박사)
 1984년 3월~2000년 2월 ETRI 책임 연구원
 2000년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수
 <관심분야> Wireless Internet, NGN 미들웨어 환경, Streaming service