

Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 끊김없는 2계층 핸드오버 방안

준희원 김 민*, 정희원 김 화 성*

A Seamless Layer-2 Handover Scheme for mobile WiMAX based Wireless Mesh Networks

Min Kim* Associate Member, Hwa-sung Kim* Regular Member

요 약

최근에 무선 메쉬 네트워크는 기존의 무선 네트워크의 단점을 해결하기 위한 차세대 네트워크 기술로서 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크는 여러 가지 측면에서 많은 장점을 가지고 있어 더욱 주목받고 있다. 이 논문에서 우리는 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 2계층 핸드오버 방안을 제안한다. Mobile WiMAX의 2계층 핸드오버 방안은 무선 메쉬 네트워크의 특성을 고려하지 않기 때문에, mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 많은 핸드오버 실패를 유발한다. 제안하는 핸드오버 방안은 기존의 핸드오버 방안보다 핸드오버 시에 더 적은 지연시간을 달성하면서 데이터 손실이 발생하지 않는다. 시뮬레이션을 통해서 제안한 핸드오버 방안이 핸드오버 시에 발생할 수 있는 핸드오버 지연 문제와 데이터 손실 문제를 개선할 수 있음을 보였다.

Key Words : Wireless Mesh Networks, mobile WiMAX, seamless handover, layer-2 handover, packet loss.

ABSTRACT

Wireless mesh networks have been studied as the next generation technology to solve problems of conventional wireless networks. Particularly, mobile WiMAX based wireless mesh networks are noticed due to many advantages. In this paper, we propose a layer-2 handover scheme for mobile WiMAX based wireless mesh networks. A layer-2 handover scheme based on mobile WiMAX causes many handover failures over mobile WiMAX based wireless mesh networks because it does not consider the characteristics of wireless mesh networks. The proposed scheme does not bring about packet losses achieving lower handover latency than a conventional handover scheme. Simulation results show that the proposed scheme achieves loss-free and low handover latency during the layer-2 handover.

I. 서 론

무선 메쉬 네트워크 (Wireless Mesh Networks)는 최근에 무한한 잠재력이 부각되면서 광범위한 연구가 이루어지고 있다. 무선 메쉬 네트워크는 기존의

단일 홉 (Single-hop) 환경인 무선 네트워크를 보다 넓은 영역으로 확장시켜 다양한 무선 서비스 지원을 가능하게 하는 차세대 네트워크 기술이다. 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터는 무선 접속이 요구되는 지역을 커버하기 위해서 전통적인 단일 홉 네트워크

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10199-0) 지원 및 2007년 광운대학교 교내연구비에 의해 수행되었습니다.

* 광운대학교 전자통신공학과 네트워크 컴퓨팅 연구실({beyond, hwkim}@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-12-540, 접수일자 : 2008년 12월 6일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 12일

크에서 AP가 배치되는 방식과 매우 유사하게 배치된다. 그러나 전통적인 단일 홉 네트워크와 다르게, 모든 메쉬 라우터가 유선 인프라스트럭처 (Infrastructure)에 연결되지 않는다. 메쉬 라우터는 무선 링크를 통해서도 멀티 홉 (Multi-hop) 네트워크를 구성하여 무선 백본 네트워크를 형성한다. 메쉬 클라이언트는 메쉬 라우터에 연결함으로써 네트워크 접속 서비스를 제공받는 무선 이동 단말이다¹⁾. 메쉬 클라이언트가 현재 접속중인 메쉬 라우터에서 멀리 이동해서 같은 게이트웨이에 속한 또 다른 메쉬 라우터에 더 가까이 접근할 때, 메쉬 클라이언트는 더 가까운 메쉬 라우터에 연결할 것이다. 이 때, 2계층 핸드오버가 발생하고 핸드오버 지연이 일어난다. 핸드오버 지연이 커지면, 실시간성을 요구하는 서비스의 연속성을 어렵게 만들고 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 있다. 그런데 IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크는 유선 네트워크에 비해 낮은 무선 링크의 용량을 공유하기 때문에, 메쉬 라우터가 사용할 수 있는 실제 링크 용량은 더욱 낮아지는 문제점이 존재한다. 이런 문제점은 메쉬 라우터에 속한 많은 메쉬 클라이언트들의 데이터와 다른 메쉬 라우터의 데이터를 멀티 홉으로 전달해야 하는 백본 네트워크의 광대역 무선 통신에 적합하지 않다²⁾. 또한, IEEE 802.11 MAC 프로토콜인 CSMA/CA는 원래 단일 홉 무선 LAN 환경을 위해서 설계되었기 때문에, 메쉬 라우터들 사이에 멀티 홉 연결성(Connectivity)을 제공하는 MAC 프로토콜로 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 WiMAX와 mobile WiMAX를 바탕으로 하는 무선 메쉬 네트워크에 주목한다. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크보다 더 넓은 커버리지와 더 높은 대역폭을 제공하기 때문에, 무선 메쉬 네트워크의 백본으로 적합하다. 게다가, mobile WiMAX에서 단말의 이동성을 지원하기 때문에³⁾⁴⁾, 사용자들에게 인터넷 서비스뿐만 아니라 멀티미디어 데이터 서비스도 끊임없이 제공해 줄 수 있다.

본 논문에서 연구하는 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 클라이언트는 네트워크 접속 기술로 mobile WiMAX를 사용한다. 메쉬 클라이언트는 핸드오버 발생 시 mobile WiMAX의 2계층 핸드오버 절차에 따라서 BS간 핸드오버를 수

행한다. Mobile WiMAX에서는 2계층 핸드오버를 지원하기 위하여 BS간 그리고 BS와 ASN-GW 사이의 메시지 절차를 정의하고 있으며, 핸드오버 시에도 끊임없는 서비스를 제공하기 위해서 데이터 경로 기능, 핸드오버 무결성 방안과 같은 다양한 기능들을 제공한다. 그런데 mobile WiMAX에서 BS간의 통신은 유선 네트워크를 통해서 이루어진다고 가정하기 때문에, mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서는 핸드오버 실패를 유발할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 핸드오버 지연 시간을 최소화하면서 데이터 손실이 발생하지 않는 2계층 핸드오버 방안을 제안한다. 제안하는 핸드오버 방안은 기존의 mobile WiMAX 핸드오버 방안을 바탕으로 mobile WiMAX의 이동성 기능과 무선 메쉬 네트워크의 다양한 특성을 고려하여 수정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련 연구로써, mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크와 mobile WiMAX에 정의된 2계층 핸드오버 방안에 대해서 설명한다. 3장에서는 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 2계층 핸드오버가 고려해야 할 사항들에 대해서 알아보고 본 논문에서 제안한 핸드오버의 동작과 특징들에 대해서 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 메커니즘에 대한 성능 측정 결과를 설명하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크

본 논문에서 고려하는 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크 모델은 그림 1과 같다. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크는 일반적인 무선 메쉬 네트워크와 유사한 구조를 가지고, 무선 BS간 그리고 무선 BS와 ASN-GW 사이에 무선 백본을 형성한다. 그림 1의 네트워크 모델은 메쉬 라우터의 기능이 추가된 무선 BS (Base Station)와 메쉬 라우터의 기능에 추가로 외부 네트워크와 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 서로 연결하는 게이트웨이의 기능이 더해진 ASN-GW (Access Service Network-Gateway) 그리고 메쉬 클라이언트의 역할을 하는 MS (Mobile Subscriber)로 구성된다. 무선 BS는 기본적으로 두 종류의 네트워크 인터페이스 (Interface)를 사용하는데, 하나는 무선 BS들 사이의 무선 메쉬 네트워크를 구성하기 위한 백홀 (Backhaul) 프로토콜로써 WiMAX Mesh Mode

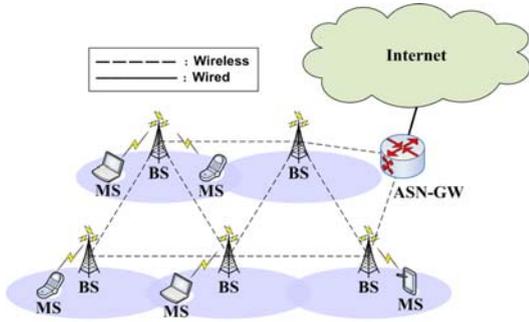


그림 1. Mobile WiMAX 기반의 무선 메시 네트워크

를 사용하고, 다른 하나는 메시 클라이언트인 MS에게 네트워크 접속 서비스를 제공하기 위해서 mobile WiMAX를 사용한다. ASN-GW는 WiMAX Mesh Mode를 위한 인터페이스와 게이트웨이 역할을 수행하기 위한 별도의 인터페이스가 필요하다. MS는 mobile WiMAX 기반의 메시 클라이언트로써, 기존의 mobile WiMAX 시스템에서 사용하는 무선 이동단말과 동일하다.

2.2 Mobile WiMAX의 2계층 핸드오버

본 절에서는 mobile WiMAX에 기술된 2계층 핸드오버 절차와 끊김없는 이동성을 지원하기 위한 핸드오버 데이터 무결성 방안에 대하여 설명한다. 그림 2는 mobile WiMAX에서 정의한 핸드오버 절차를 도시하고 있다. Mobile WiMAX의 2계층 핸드오버는 개념적으로 ‘인접 네트워크 탐색 (Scanning)’, ‘핸드오버 준비 단계 (HO Preparation Phase)’ 그리고 ‘핸드오버 실행 단계 (HO Action Phase)’로 나눌 수 있다 [3],[4].

2.2.1 핸드오버 절차

Mobile WiMAX의 2계층 핸드오버는 MS의 요청 또는 네트워크의 요청으로 시작될 수 있으며, 핸드오버 절차는 다양한 시나리오에 따라서 다르게 나타날 수 있다. 그림 2는 mobile WiMAX에서 제안한 MS의 요청에 의한 2계층 핸드오버의 메시지 교환 절차를 나타낸다. 본 논문에서 제안한 2계층 핸드오버 방안은 기본적으로 그림 2의 핸드오버 절차를 기반으로 하였다. 따라서 본 절에서는 먼저 mobile WiMAX의 2계층 핸드오버 절차에 대하여 설명한다. Mobile WiMAX의 2계층 핸드오버 절차는 다음과 같다.

MS는 현재 접속 중인 서빙 BS (Serving BS)로부터의 수신 신호가 특정 임계치 (Threshold) 이하

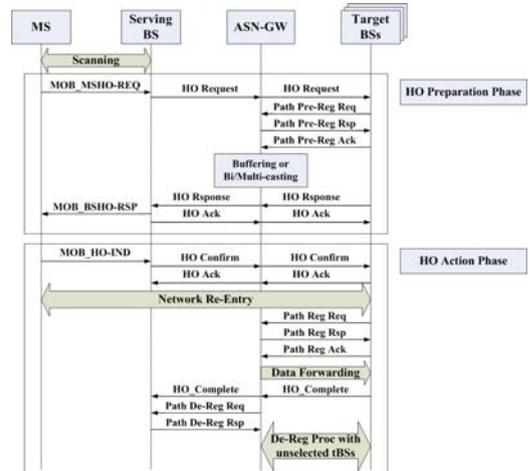


그림 2. Mobile WiMAX의 2계층 핸드오버 절차

로 떨어져 핸드오버가 필요하다고 판단되면, 스캐닝 (Scanning)을 통해 획득하였던 인접 BS들의 정보를 바탕으로 핸드오버가 가능한 후보 BS들을 선택하고, 이러한 정보가 포함된 핸드오버 요청 메시지 (MOB_MSHO-REQ)를 서빙 BS에게 송신함으로써 핸드오버를 트리거링 하게 된다. MOB_MSHO-REQ 메시지를 수신한 서빙 BS는 핸드오버가 가능한 타겟 BS (Target BS)들을 식별하기 위해서 하나 또는 여러 개의 핸드오버 후보 BS들에게 백본 네트워크를 통해 핸드오버 요청 (HO Request) 메시지를 전송한다. HO Request 메시지를 수신한 후보 BS들은 데이터 무결성 (Integrity)을 위해서 MS의 하향링크 데이터의 버퍼링 (Buffering) 또는 Bi/Multi-casting을 요청하는 Path Pre-Registration 절차를 ASN-GW와 수행한다. 이때부터 ASN-GW는 MS의 하향링크 데이터를 버퍼링 또는 Bi/Multi-casting하게 된다.

Path Pre-Registration 절차를 마친 후보 BS는 핸드오버 수락 여부를 알리는 핸드오버 응답 (HO Response) 메시지를 서빙 BS에게 전달한다. 서빙 BS는 후보 BS들로부터 결과들을 요약하고 추천된 BS들의 새로운 목록을 최종적으로 결정하여 핸드오버 응답 메시지 (MOB_BSHO-RSP)를 통해서 MS에게 전송한 후에 후보 BS들에게 HO Response 메시지의 수신을 알리는 HO Ack 메시지를 전송한다.

MS는 MOB_BSHO-RSP 메시지에 포함된 핸드오버 후보 BS들 중에 하나를 핸드오버 타겟 BS로 결정하여 핸드오버 시작을 알리는 MOB_HO-IND 메시지를 서빙 BS로 전송하고 타겟 BS와 네트워크 재진입을 위한 절차를 시작한다. MOB_HO-IND 메

시지를 수신한 서빙 BS는 핸드오버가 시작됨을 알리는 HO Confirm 메시지를 타겟 BS에 전송하며, 타겟 BS는 메시지 수신에 대한 응답으로 HO Ack 메시지를 서빙 BS로 전송한다.

타겟 BS에서 MS가 네트워크 재진입에 성공하면 타겟 BS는 ASN-GW에 버퍼링 또는 Bi/Multi-casting 되고 있는 MS의 데이터를 전송받기 위해 Path Registration 절차를 수행하며, 이 절차가 완료되면 ASN-GW는 MS의 하향링크 데이터를 타겟 BS에게만 전송한다. 그리고 타겟 BS는 MS의 핸드오버가 완료되었음을 알리는 HO Complete 메시지를 서빙 BS로 전송하고, ASN-GW는 서빙 BS와 설정되어 있는 데이터 경로, 타겟 BS로 선택되지 않은 후보 BS들과 Path Pre-Registration 절차를 통해서 설정되어 있던 데이터 경로를 삭제하기 위해 서빙 BS, 타겟 BS와 Path De-Registration 절차를 수행한다.

2.2.2 핸드오버 데이터 무결성 방안

MS가 핸드오버를 위한 신호 절차를 수행 중이거나 완료 후에 데이터 경로 재설정이 일어나게 되면, 이전 경로 상에서 MS에게 미처 전달되지 못한 데이터 패킷이 발생하게 된다. 인터넷 서비스와 같은 패킷 데이터 서비스의 일부 패킷의 유실은 단-대-단 (End-to-end) 프로토콜의 재전송 과정 등에 의해서 복구가 될 수도 있지만, 불가피한 시간 지연이 동반된다. 따라서 다양한 서비스 클래스에 따른 품질을 보장하기 위해서는 핸드오버 시에도 패킷의 유실, 중복, 재정리의 발생을 최대한 최소화할 수 있는 데이터 무결성 방안을 제공하여야 한다. Mobile WiMAX에서는 데이터 무결성을 제공하기 위해서 데이터 경로 설정 (Path Setup) 방법, 데이터 동기화 (Synchronization) 방법 그리고 ARQ (Automatic Retransmit reQuest) 동기화 방법 세 가지를 정의하고 있다³⁾.

2.2.2.1 데이터 경로 설정 방법

데이터 무결성을 위한 데이터 경로 설정 방법은 버퍼링 방법과 Bi/Multi-casting 방법이 있다. 버퍼링 방법은 데이터 무결성이 요구되는 서비스의 트래픽을 버퍼링하는 기법으로 트래픽은 데이터 경로 시작점 또는 끝점에서 버퍼링될 수 있다. 이 버퍼링은 핸드오버를 실행하는 동안에만 이루어지며, 버퍼링 지점은 데이터 무결성 방법의 선택에 따라 핸드오버 동안 변경될 수 있다. Bi/Multi-casting 방법은 데이터 경로 시작점에서 하향링크 트래픽을 위해서 멀티캐스팅을 구성하는 방법으로 특히, Bi-casting은

서빙 BS와 타겟 BS, 단 두 곳으로만 전송하는 방법이다.

2.2.2.2 데이터 동기화 방법

데이터 동기화 방법은 핸드오버 동안에 서로 다른 데이터 경로를 통해서 버퍼링된 데이터를 동기화 시키는 방법으로, 순서 번호 (Sequence Number) 사용 방법과 데이터 회복 (Retrieving) 방법이 있다. 순서 번호 사용 방법은 순서 번호가 데이터 경로에 전송되는 각 SDU (Service Data Unit)에 붙여지며, 타겟 BS는 핸드오버 동안 서빙 BS에서 마지막으로 MS에 전송한 SDU의 순서 번호를 핸드오버 신호 메시지를 통해서 서빙 BS로부터 수신하거나, 타겟 BS에 접속한 MS로부터 보고받을 수 있다. 데이터 회복 방법은 각 SDU에 대해서 순서 번호가 만들어지지 않고, 서빙 BS가 핸드오버 준비 단계 동안 데이터를 복사하고 버퍼링한다. 그리고 MOB_HO-IND 메시지에 의해 최종 타겟 BS가 결정되었을 때, 서빙 BS는 타겟 BS에 MS로 전송하지 못한 패킷과 응답 확인을 받지 못한 패킷을 모두 전송한다.

2.2.2.3 ARQ 동기화 방법

ARQ 동기화 방법은 ARQ가 허용되는 트래픽의 SDU를 ARQ 블록으로 분할하고 각 ARQ 블록에 블록 순서 번호 (BSN: Block Sequence Number)를 할당한다. 이 방법은 핸드오버 시에 하나의 SDU를 이루는 모든 ARQ 블록이 전송되지 않기 때문에, 미전송 ARQ 블록과 응답 확인을 수신하지 못한 ARQ 블록에 대한 동기화가 서빙 BS와 타겟 BS 사이에 이루어져야 한다. 핸드오버 이후에 서빙 BS는 타겟 BS와 데이터 경로를 설정하여 ARQ 상태 정보와 미전송 ARQ 블록을 전송한다.

2.3 Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 2계층 핸드오버 고려사항

본 절에서는 기존의 mobile WiMAX의 2계층 핸드오버 방안을 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에 적용할 때 발생하는 문제점에 대해 알아보고 이를 해결하기 위해서 필요한 고려사항에 대해 논의한다.

2.1절에서 논의한 대로, mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크 아키텍처는 BS와 ASN-GW 사이 그리고 BS와 BS 사이에서 무선 멀티 홉 통신이 이루어진다는 점에서 mobile WiMAX 네트워크와 다르다. 유선 백본만을 고려하는 mobile WiMAX의

핸드오버 방안은 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 무선 링크와 유선 링크의 많은 차이점으로 인해 핸드오버 실패를 유발할 수 있다. 또한, mobile WiMAX 네트워크는 BS가 인접한 BS에게 핸드오버 제어 메시지를 전송할 때 자신이 속한 ASN-GW를 거쳐서 전달하도록 배치한다. Mobile WiMAX 네트워크를 이렇게 배치하는 이유는 모든 BS와 BS 사이를 케이블링 (Cabling)하여 서로 연결하는 것은 비용 관점에서 매우 비효율적이고, 광케이블의 발달로 인해 유선 백본이 핸드오버 성능에 크게 영향을 미치지 않는다고 가정하기 때문이다. 그런데 그림 3에서 볼 수 있듯이, mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서는 무선 매체의 브로드캐스트 특성 때문에 ASN-GW를 거치지 않고 BS 사이에 직접 통신이 가능하다. 따라서 제안하는 핸드오버 방안은 BS와 ASN-GW 사이의 핸드오버 관련 시그널링 메시지의 수를 줄이고 BS 간의 직접 통신을 활용하여 시그널링 메시지가 거치는 지점을 최소화함으로써 핸드오버 시에 무선 백본의 링크 사용량을 최대한 줄여 핸드오버 실패가 발생하지 않도록 해야 한다.

2.2.2절에서 언급한 핸드오버 데이터 무결성 방안은 이동 단말의 핸드오버 시에 패킷 손실 및 지연 시간을 최소화하기 위해서 mobile WiMAX에서 정의하였다. 핸드오버 데이터 무결성 방안도 앞서 논의한 네트워크 아키텍처의 차이점으로 인해 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에 그대로 적용할 수 없다. 먼저, 데이터 경로 설정 방법에서 Bi/Multi-casting 방법은 무선 링크를 중복으로 사용하여 무선 백본의 대역폭을 낭비하기 때문에, mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에 적합하지 않다. 또 다른 데이터 경로 설정 방법인 버퍼링 방법이 있는데, 버퍼링을 ASN-GW에서 실시하는 그림 2의 핸드오버 절차는 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 핸드오버 실패의 원인을 제공할 수 있다. 후보 BS와 ASN-GW는 버퍼링을 하기 위해서 3방향 핸드셰이크 (Three-way handshake)를 통해서 Path Pre-registration 절차를 수행하는데, 이 때 예상치 못한 무선 링크 변화 때문에 후보 BS와 ASN-GW 사이에 시그널링 메시지의 교환이 정상적으로 이루어지지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 그렇게 되면, ASN-GW에서 버퍼링이 늦어질 수 있고 이것은 데이터 유실 또는 패킷 순서 뒤섞임 문제를 야기한다. 따라서 제안하는 핸드오버 방안은 데이터 무결성 방안으로 버퍼링

방법을 선택하지만, ASN-GW가 아닌 다른 곳을 버퍼링 지점으로 선택하여야 한다.

한편, 다른 데이터 무결성 방안으로 데이터 동기화 방법과 ARQ 동기화 방법이 존재한다. 두 가지 방법은 모두 데이터 중복과 순서 뒤섞임 문제를 해결하기 위해서 서빙 BS와 타겟 BS에서 네트워크 아키텍처와 핸드오버 절차와 상관없이 개별적으로 수행되기 때문에, 본 논문에서는 고려하지 않는다.

III. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 2계층 핸드오버 방안

3.1 제안하는 2계층 핸드오버 절차

본 절에서는 기존의 mobile WiMAX의 2계층 핸드오버 절차를 2.3절에서 논의된 고려사항을 바탕으로 수정한 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 2계층 핸드오버 절차에 대해서 설명한다. 제안한 핸드오버 절차는 그림 3에 나타나 있으며 mobile WiMAX의 2계층 핸드오버와 마찬가지로 ‘인접 네트워크 탐색’, ‘핸드오버 준비 단계’ 그리고 ‘핸드오버 실행 단계’로 나누어진다.

3.1.1 인접 네트워크 탐색

MS는 현재 서비스를 제공하는 서빙 BS로부터 주기적으로 브로드캐스팅되는 MOB_NBV-ADV (Neighbor Advertisement) 메시지 수신을 통해 인접한 위치에 존재하는 모든 BS들에 대한 정보를 얻는다. MS는 서빙 BS로부터의 하향링크 수신 신호 세기가 일정 기준치 이하로 떨어지게 되면 스캔 (Scan) 요청 메시지를 통해서 인접한 BS들의 신호를 측정한다. MOB_NBV-ADV

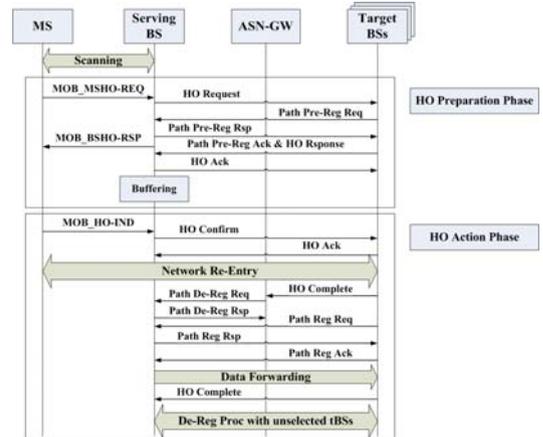


그림 3. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 2계층 핸드오버

메시지와 스캐닝 절차를 통해 얻은 정보들을 바탕으로 MS는 적절한 BS들 중에서 핸드오버를 수행할 후보 BS들을 선택하여 리스트로 관리한다. MS는 핸드오버 지연 시간을 줄이기 위해서 스캐닝 과정에서 인접한 BS와 연관 (Association)과정을 미리 수행할 수 있다. 만약 MS가 BS와 연관 과정을 미리 수행한다면, MS는 특정한 BS와 초기 레인징 절차를 미리 수행할 수 있기 때문에 핸드오버 절차를 최적화할 수 있다.

본 논문에서 고려하는 Mobile WiMAX 기반의 무선 메시 네트워크에서 MS는 기존의 mobile WiMAX에서 사용되는 단말과 동일하고, MS와 BS 사이의 통신은 기존의 mobile WiMAX 네트워크와 동일하기 때문에, MS는 여전히 mobile WiMAX 표준을 사용해서 BS와 통신할 수 있다. 다시 말하면, mobile WiMAX 기반의 무선 메시 네트워크에서 MS는 무선 메시 네트워크를 인식하지 않는다. 따라서 제안하는 2계층 핸드오버 절차 중에서 인접 네트워크 탐색 단계는 mobile WiMAX 표준과 다르지 않다.

3.1.2 핸드오버 준비 단계

스캐닝 절차를 통해 신호품질이 서빙 BS 보다 나은 후보 BS들을 찾게 되면 MS는 수신되는 신호의 세기와 QoS 파라미터 등을 기준으로 후보 BS들 중에서 핸드오버하기에 가장 적절한 타겟 BS를 결정한다. 그리고 나서 MS는 서빙 BS에 MOB_MSHO-REQ 메시지를 전송함으로써 핸드오버를 시작한다. MS로부터 MOB_MSHO-REQ 메시지를 수신한 서빙 BS는 핸드오버를 하려는 단말의 세션 및 설정 정보를 포함한 HO Request 메시지를 무선 백본망을 통해 전송하는데, 이 때 기존의 mobile WiMAX 핸드오버와 다르게 ASN-GW를 거치지 않고 후보 BS들에게 직접 브로드캐스트한다. HO Request 메시지를 받은 후보 BS들은 MS의 하향링크 데이터의 버퍼링을 요청하는 Path Pre-Registration 절차를 ASN-GW가 아닌 서빙 BS와 수행한다. 2.3절에서 논의된 것처럼, 데이터 경로 설정 방법 중에 Bi/Multi-casting 방법은 mobile WiMAX 기반의 무선 메시 네트워크에 적합하지 않으므로, 제안하는 핸드오버 방안의 경로 설정 방법은 오직 버퍼링 방법만 사용한다.

무선 링크의 대역폭은 기본적으로 유선에 비해 낮은데다가 다양하고 예상치 못한 변수에 의해 높은 지연이 발생할 수 있다. 예를 들어, 만약 다수의 이동 단말이 동시에 핸드오버를 요청하거나 많은

트래픽으로 인해 BS와 ASN-GW 사이에 사용 가능한 대역폭이 포화 상태라면, 후보 BS와 ASN-GW 사이에 Path Pre-Registration 절차가 늦어지게 되어 MS는 서빙 BS의 커버리지를 벗어나기 전에 핸드오버 준비 단계를 정상적으로 마칠 수 없게 된다. 이렇게 되면 핸드오버 시에 다량의 데이터 유실이 발생할 수 있고 핸드오버 지연 시간을 증가시킬 수 있다. 따라서 이러한 무선 메시 네트워크의 특성을 고려하여 무선 백본 구간인 BS와 ASN-GW 사이를 왕복하는 핸드오버 시그널링 메시지 수를 최소화해야 한다. 제안하는 핸드오버 방안에서는 후보 BS들이 ASN-GW가 아닌 서빙 BS와 Path Pre-Registration 절차를 수행하기 때문에 핸드오버 준비 단계가 실패하는 상황을 줄일 수 있고 결과적으로 신속하고 끊임없는 핸드오버를 수행할 수 있다.

Path Pre-Registration 절차를 마치면서 후보 BS는 핸드오버 수락 여부를 알리는 HO Response 메시지를 Path Pre-Registration ACK 메시지와 같이 전달한다. 이는 앞서 언급한 대로 무선 백본 구간에서 시그널링 메시지 수를 최소화하기 위함이다. 그리고 나서 서빙 BS는 MS의 MOB_MSHO_REQ 메시지를 수신한 이후에 후보 BS들과 수행했던 절차들의 결과를 MOB_BSHO_RSP 메시지로 응답하고, 후보 BS들에게 HO Response 메시지의 응답인 HO Ack 메시지를 전송함으로써 핸드오버 준비 단계를 마치게 된다.

3.1.3 핸드오버 실행 단계

MS가 타겟 BS를 결정하고 이동할 준비가 완료되면, MS는 서빙 BS에게 MOB_HO-IND (Handover Indication) 메시지를 보내어 핸드오버 실행을 알리고 기존 링크와 연결을 중단한다. 이때, 서빙 BS는 MS에 대한 세션 정보 및 인증 관련 정보가 포함된 HO Confirm 메시지를 기존 방안과 다르게 ASN-GW를 거치지 않고 타겟 BS에 직접 전달하고, 타겟 BS도 HO Ack 메시지로 서빙 BS에게 직접 응답한다. 이렇게 하는 이유는 2계층 핸드오버 발생 시에 ASN-GW를 핸드오버 절차에서 제외함으로써 무선 백본의 링크 사용량을 줄일 수 있기 때문이다. 새로운 셀로 이동한 MS는 네트워크 재진입 과정을 수행한다. 제안하는 핸드오버 방안은 mobile WiMAX 기반의 무선 메시 네트워크에서 이동 단말측의 투명성을 보장하고 단말에 어떠한 요구사항도 추가하지 않기 위해서 네트워크 재진입 과정은 mobile WiMAX에 정의된 네트워크 재진입 과정과 동일하게 수행한다.

네트워크 재진입 과정이 성공적으로 완료되면 MS는 새로운 BS 즉, 타겟 BS를 통해서 네트워크 서비스를 제공받게 된다.

MS가 타겟 BS와 네트워크 재진입에 성공하면, 타겟 BS는 ASN-GW에 HO Complete 메시지를 전송하여 MS의 핸드오버가 완료되었음을 알린다. 기존의 핸드오버 방안처럼 데이터 전송 (Data Forwarding) 이후에 HO Complete 메시지를 ASN-GW와 서빙 BS에게 전송하면, 앞서 언급한 멀티 홉 무선 링크의 특성 때문에 HO Complete 메시지가 ASN-GW에 늦게 도착할 수 있다. 만약 HO Complete 메시지가 ASN-GW에 도착하지 않으면, ASN-GW는 MS의 핸드오버 완료 여부를 알 수 없기 때문에, 서빙 BS에게 MS로 예정된 데이터를 계속해서 전송하게 된다. 이 과정에서 데이터 유실이나 패킷 순서 뒤바뀔 문제가 발생할 가능성이 매우 높기 때문에, 제안하는 핸드오버 방안에서 타겟 BS는 MS의 네트워크 재진입이 완료되자마자, ASN-GW에게 HO Complete 메시지를 전송해서 핸드오버 완료를 알린다. 즉, HO Complete 메시지를 서빙 BS와 ASN-GW에 동시에 보내는 기존 핸드오버 방안과 다르게 제안하는 방안은 ASN-GW에게 미리 전송한다. HO Complete 메시지를 받은 ASN-GW는 서빙 BS와 Path De-Registration 절차를 수행하여 서빙 BS와 설정되어 있던 데이터 경로를 삭제하고, 타겟 BS로 데이터 경로를 재설정한다.

HO Complete 메시지를 전송하고 나서 타겟 BS는 서빙 BS에 버퍼링되고 있는 MS의 하향링크 데이터를 전송 받기 위해서 서빙 BS와 Path Registration 절차를 수행한다. 데이터 전송이 완료되면 타겟 BS는 MS의 핸드오버가 완료되었음을 알리는 HO Complete 메시지를 서빙 BS로 전송하고, 서빙 BS와 설정되어 있는 데이터 경로를 삭제하기 위해서 Path De-Registration 절차를 수행한다. 마지막으로, 타겟 BS로 선택되지 않은 후보 BS들은 핸드오버 준비 단계에서 설정하였던 데이터 경로를 삭제하기 위해서 Path De-Registration 절차를 수행한다.

Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 모든 MS는 지금까지 논의한 핸드오버 절차를 통해서 핸드오버 시그널링 비용을 줄이고 지연 시간을 단축함으로써 같은 ASN-GW에 속한 BS간에 이동을 하더라도 끊김없는 데이터 전송을 할 수 있다.

3.2 제안 방안과 기존 방안의 핸드오버 지연시간 비교
본 절에서는 4장에서 논의할 시뮬레이션에 앞서,

제안한 핸드오버 방안과 mobile WiMAX의 핸드오버 방안의 핸드오버 지연시간 (Handover Latency Time)을 수식으로 비교함으로써 제안한 핸드오버 방안이 얼마만큼의 성능 향상을 가져올 수 있는지를 간단히 살펴본다. 핸드오버 지연시간은 핸드오버 발생 시에 이동단말이 통신을 할 수 없는 시간으로써 핸드오버 성능에 결정적인 영향을 미치는 매우 중요한 척도이다. Mobile WiMAX에서는 2계층 핸드오버 발생 시에 60Km/h의 이동속도를 가지는 단말에 대해서 150ms 미만의 핸드오버 지연시간을 만족시켜야 하고, 120Km/h의 이동속도를 가지는 단말에 대해서는 50ms 미만의 핸드오버 지연시간을 만족시켜 VoIP, 화상통화와 같은 실시간 (Real-time) 서비스가 가능하도록 정의하고 있다⁵⁾.

핸드오버 지연시간 비교를 위해서 그림 4에 나타난 네트워크 토폴로지를 가정한다. 그림 4의 네트워크 토폴로지에서는 각 노드 사이에 무선 링크의 데이터 전송과 관련된 지연시간은 표 1과 같이 가정한다. 여기에서 그림 4의 각 노드에서 핸드오버 메시지 처리를 위한 시간 (Processing Time)은 일반적으로 무선 링크의 데이터 전송에 의한 지연시간에 비해 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 본 절의 설명에서는 고려하지 않는다. 또한 계산상의 편의를 위해서 각각의 무선 링크는 Full-Duplex로 데이터 전송이 가능하고 상, 하향 링크의 전송 지연은 같다고 가정한다. 이와 같은 가정 하에서 우리는 2계층

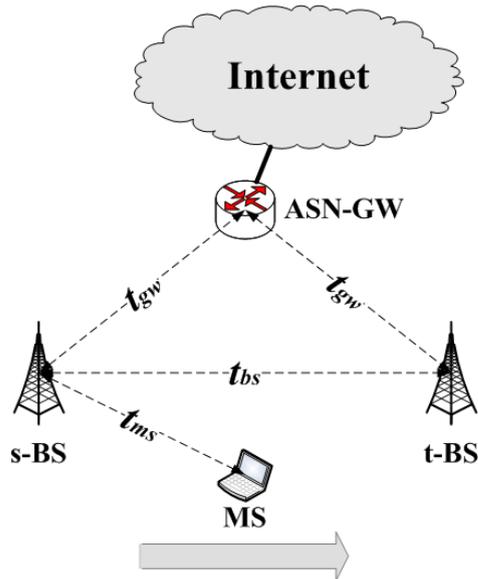


그림 4. Mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크 토폴로지의 예

표 1. 각 노드의 링크 사이의 데이터 전송 지연 파라미터.

항목	설명
tms	MS와 BS 사이의 무선 링크에 대한 데이터 전송 지연 시간
tbs	BS와 BS 사이의 무선 링크에 대한 데이터 전송 지연 시간
tgw	BS와 ASN-GW 사이의 무선 링크에 대한 데이터 전송 지연 시간

핸드오버 수행 시에 핸드오버 지연 시간을 다음과 같이 정의한다. 핸드오버 지연시간의 시작은 MS가 서빙 BS에게 MOB_HO-IND 메시지를 전송하는 시점이고 핸드오버 지연시간의 끝은 MS가 버퍼링되어 있던 하향링크 데이터를 타겟 BS로부터 받는 시점이다.

먼저, 핸드오버 지연시간의 정의와 표 1을 바탕으로 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 mobile WiMAX 핸드오버 방안의 핸드오버 지연시간을 계산해보자. 그림 2에 나타난 것처럼 MS는 MOB_HO-IND 메시지를 전송하고 타겟 BS와 네트워크 재진입 과정을 수행한다. 두 핸드오버 방안에서 네트워크 재진입 과정에 걸리는 시간이 서로 동일하다고 가정한다면, 핸드오버 지연시간에서 제외할 수 있다. 네트워크 재진입이 완료되고 버퍼링된 데이터를 받기 위한 Path Registration 과정에 걸리는 시간은 $3t_{gw}$ 이다. Path Registration 과정을 마치고 ASN-GW가 버퍼링된 데이터를 전송하면 MS는 시간 $t_{gw} + t_{ms}$ 이후에 버퍼링되어 있던 하향링크 데이터를 타겟 BS로부터 받게 된다. 따라서 mobile WiMAX 핸드오버 방안의 핸드오버 지연시간 ($D_{mobile WiMAX}$)을 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$D_{mobile WiMAX} = 3t_{gw} + t_{gw} + t_{ms} = 4t_{gw} + t_{ms}$$

본 논문에서 제안하는 핸드오버 방안의 지연시간을 계산해보면 다음과 같다. 그림 3에서 나타나듯이, 제안하는 핸드오버 방안은 타겟 BS가 Path Registration 절차를 서빙 BS와 수행하기 때문에, Path Registration 과정에 걸리는 시간은 $3t_{bs}$ 이다. 또한, ASN-GW가 아닌 서빙 BS가 버퍼링된 하향링크 데이터를 MS에게 전송하기 때문에, MS는 시간 $t_{bs} + t_{ms}$ 이후에 하향링크 데이터를 받을 수 있다. 따라서 제안하는 핸드오버 방안의 핸드오버 지연시간 ($D_{proposal}$)의 수식은 다음과 같다.

$$D_{proposal} = 3t_{bs} + t_{bs} + t_{ms} = 4t_{bs} + t_{ms}$$

그림 4의 네트워크 토폴로지에서 $t_{gw} \gg t_{bs}$ 는 항상 성립하기 때문에, $D_{mobile WiMAX} \gg D_{proposal}$ 도 항상 성립함을 알 수 있다. 따라서 제안한 핸드오버 방안은 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 기존의 mobile WiMAX 핸드오버 방안보다 핸드오버 지연시간이 훨씬 더 적게 걸림을 알 수 있다.

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 핸드오버 방안에 대한 성능을 평가 및 비교하기 위해서 NS-2 기반의 시뮬레이터를 구현하였다. 그림 5는 성능 측정을 위한 토폴로지로서 메쉬 클라이언트인 MS, 트래픽을 발생하는 소스 (Source) 노드 그리고 8개의 보통의 메쉬 라우터와 게이트웨이의 역할을 같이 수행하는 1개의 ASN-GW로 구성된다. 주어진 토폴로지에서는 소스 노드와 ASN-GW 사이는 2ms의 전송 지연을 갖는 유선 링크로 연결되고, 8개의 BS와 1개의 ASN-GW가 무선 메쉬 네트워크를 구성한다. 시뮬레이션에서 무선 메쉬 네트워크의 물리 계층과 MAC 계층은 WiMAX Mesh Mode를 사용하였고 라우팅 프로토콜은 OLSR^[7]을 사용하였다. OLSR은 테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜이기 때문에, 메쉬 라우터들이 라우팅 테이블을 만들기 위해서 제어 메

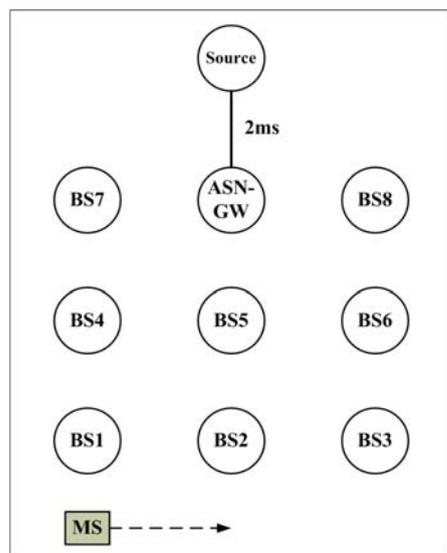


그림 5. 시뮬레이션 토폴로지

표 2. 시뮬레이션 파라미터

항목	설정 값
시뮬레이션 토폴로지	3 X 3 Grid
시뮬레이션 시간	300초
노드의 수	9개
노드간의 거리	100m
전송 거리	100m
PHY, MAC 프로토콜	WiMAX Mesh Mode
라우팅 프로토콜	OLSR

시지를 교환하는 시간이 필요하다. 따라서 소스 노드는 시뮬레이션 시작 후 25초 이후부터 TCP 트래픽을 MS에게 전송하도록 설정하였고, 시뮬레이션 과정은 300초 동안 지속된다. 이와 같은 토폴로지에서 이동 단말인 MS는 소스 노드로부터 전송되는 트래픽을 수신하면서 BS1에서 출발하여 BS2로 일정한 속도로 이동하고 이 과정에서 2계층 핸드오버를 수행한다. 성능 평가 및 비교를 위해서 핸드오버 시에 TCP 쓰루풋 (Throughput), TCP 순서 번호 (Sequence Number), 핸드오버 지연시간 (Laytency Time)을 측정하였다. 시뮬레이션에서 사용된 무선 메쉬 네트워크와 관련된 파라미터들은 표 2에 정리하였다.

그림 6은 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 핸드오버 발생 시에 기존의 핸드오버 방안과 제안한 핸드오버 방안의 TCP 트래픽에 대한 쓰루풋 비교를 나타낸 것이다. 이 시뮬레이션에서 기존의 핸드오버 방안은 데이터 무결성을 위한 방법으로 버퍼링만 사용하였다. 그림 6의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 단말의 이동으로 인해 2계층 핸드오버가 발생하면 버퍼링 메커니즘으로 인해 두 핸드오버 방안 모두 쓰루풋이 0으로 떨어지게 된다. 그런데 그림 6에서 기존의 핸드오버 방안

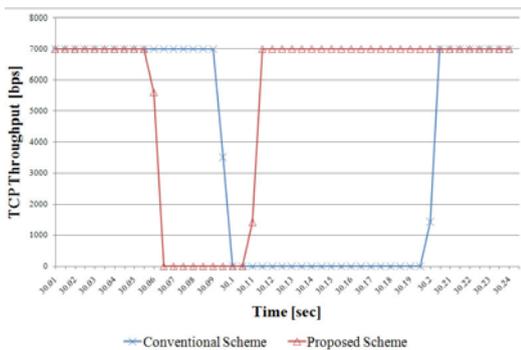


그림 6. TCP 쓰루풋 비교

은 ASN-GW에서 버퍼링을 하기 때문에 제안한 핸드오버 방안보다 늦게 버퍼링이 일어나서 TCP 쓰루풋이 늦게 감소한다. 또한 새로운 네트워크로 이동한 단말이 버퍼링된 데이터를 다시 받기 위해서 ASN-GW와 Path Registration을 수행하는 시간이 제안한 핸드오버 방안보다 더 길고, 버퍼링된 패킷이 무선 링크를 거쳐서 오기 때문에 TCP 쓰루풋이 0이 되는 시간도 길어지게 된다. TCP 쓰루풋이 0이 되는 시간이 길면 핸드오버 지연시간이 커지기 때문에 결과적으로 사용자 트래픽에 대하여 서비스 품질을 끊김 없이 제공할 수 없게 된다. 제안한 핸드오버 방안은 서빙 BS에서 버퍼링을 하기 때문에, 핸드오버 지연 시간이 훨씬 짧음을 알 수 있다.

다음으로 그림 7과 8은 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크 환경에서 제안한 핸드오버 방안과 기존의 핸드오버 방안의 TCP 순서 번호 측정 결과이다. 이 시뮬레이션에서도 기존의 핸드오버 방안은 데이터 무결성을 위한 방법으로 버퍼링만 사용하였다. 그림 7에서 기존의 핸드오버 방안은 2계층 핸드오버가 발생하면 약 200ms의 핸드오버 지연이 발생한다. 이 정도의 지연시간은 mobile WiMAX에

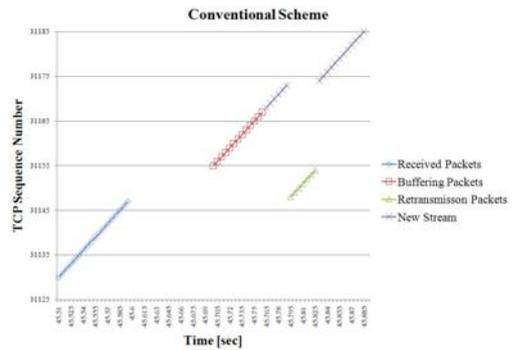


그림 7. 핸드오버 발생 시 기존 방안의 TCP 순서 번호

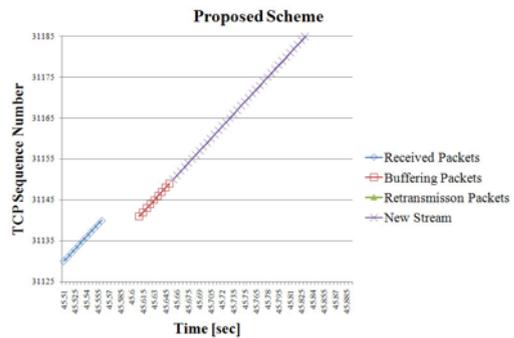


그림 8. 핸드오버 발생 시 제안한 방안의 TCP 순서 번호

정의된 핸드오버 지연시간에 대한 요구사항을 충족하지 못하기 때문에 사용자에게 핸드오버 시에 끊김없는 서비스를 제공할 수 없다. 또한 기존의 핸드오버 방안에서 이동 단말은 새로운 네트워크에서 버퍼링된 패킷을 모두 수신하고 새로운 데이터를 받는 도중에 재전송된 패킷을 수신하게 된다. 이것은 ASN-GW가 버퍼링을 하기 전에 이동 단말이 기존 네트워크와 접속을 끊고 새로운 네트워크로 이동하는 상황이 발생하기 때문이다. ASN-GW가 버퍼링하기 전에 서빙 BS에게 보낸 패킷들은 이미 새로운 네트워크로 이동한 단말이 수신할 수 없기 때문에 잃어버리게 되고, 이동 단말이 새로운 네트워크로 이동한 이후에 TCP 알고리즘에 의해서 복구되게 된다. 반면에 제안한 핸드오버 방안은 핸드오버 지연이 약 40ms 정도로 mobile WiMAX에 정의된 핸드오버 지연시간에 대한 요구사항을 충분히 만족하고, 무선 메쉬 네트워크를 고려하여 버퍼링 방법과 핸드오버 절차를 수정하였기 때문에 TCP 트래픽이 유실되지 않고 순서 뒤바뀔 문제도 발생하지 않음을 알 수 있다.

그림 9는 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 기존의 핸드오버 방안과 제안한 핸드오버 방안의 무선 메쉬 네트워크의 트래픽 부하 변화에 따른 핸드오버 지연시간을 측정된 결과이다. 두 핸드오버 방안 모두 무선 메쉬 네트워크에 트래픽 부하가 증가할수록 핸드오버 지연시간이 증가하지만, 제안한 핸드오버 방안이 모든 경우에서 더 좋은 성능을 나타내고 트래픽 부하가 증가할수록 두 핸드오버 방안간에 성능 차이가 점차 커짐을 알 수 있다. 핸드오버를 위해서 무선 메쉬 네트워크를 많이 사용하는 기존 핸드오버 방안은 무선 메쉬 네트워크에 트래픽이 증가하면 대역폭이 감소하고 지연이 증가하기 때문에 트래픽 부하가 증가할수록

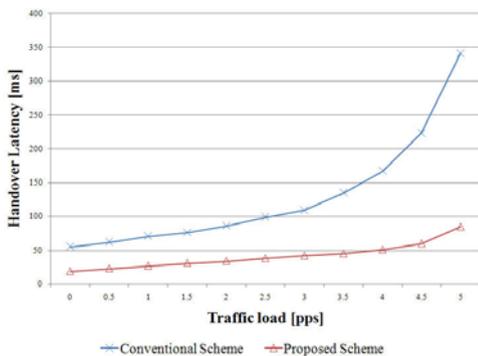


그림 9. 핸드오버 지연시간 비교

드오버 지연시간이 크게 증가한다. 게다가 기존 핸드오버 방안은 트래픽 부하가 약 4packet/s 이상이 되면 mobile WiMAX에서 정의한 핸드오버 지연시간의 요구사항을 만족시킬 수 없게 된다. 반면에 제안한 핸드오버 방안은 트래픽 부하가 5packet/s 까지 증가하여도 표준에 정의된 핸드오버 지연시간에 대한 요구사항을 만족시키기 때문에, 이동단말에게 끊김없는 서비스를 제공할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 2계층 핸드오버 방안을 제안하였다. 먼저, mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크 모델을 설명하고, mobile WiMAX의 핸드오버 절차와 데이터 무결성 방안에 대하여 기술하였다. 기존의 핸드오버 절차는 백본 네트워크를 유선 링크로 가정하기 때문에 mobile WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에 적용할 수 없다. 또한, 데이터 경로 설정 방법 중에서 Bi/Multi-casting 방법은 부족한 무선 링크의 자원을 더욱 더 부족하게 만들기 때문에, 네트워크 자원 이용 측면에서 비효율적이다. 버퍼링 방법은 무선 메쉬 네트워크에 적합하지만, ASN-GW에서 버퍼링하는 방법은 ASN-GW와 BS 사이에 빈번한 시그널링 메시지를 유발하여 대역폭 낭비를 일으킨다. 게다가, 무선 링크의 긴 지연시간 때문에 핸드오버 관련 메시지 교환에 걸리는 시간이 길어져 핸드오버 지연시간이 길어지고 그로 인해 데이터 손실을 유발하게 된다. 따라서 제안한 핸드오버 방안은 버퍼링 지점을 서빙 BS로 수정하여 핸드오버 시그널링 메시지의 수를 줄이면서 교환 시간도 단축하여 문제점을 해결하였다.

본 논문에서 제안한 핸드오버 방안의 성능 개선 효과를 평가하기 위한 시뮬레이션 결과에서 제안한 핸드오버 방안이 기존의 핸드오버 방안에 비해 핸드오버 지연시간과 패킷 손실 여부 측면에서 성능 개선 효과가 있음을 보였다.

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] 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.

- [3] WiMAX Forum NWG, “Stage-2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points,” 2007.
- [4] WiMAX Forum NWG, “Stage-3: Detailed Protocol and Procedures,” 2007.
- [5] WiMAX Forum SPWG, “Recommendations and Requirements for Networks based on WiMAX Forum,” 2006.
- [6] IEEE 802.16e-2005, “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems,” IEEE, February 2006.
- [7] T. Clausen, P. Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol,” *IETF RFC3626*, October 2003.

김민 (Min Kim)

준회원



2007년 8월 광운대학교 전자통신공학과 졸업
2007년 9월~현재 광운대학교 전자통신공학과(석사과정)
<관심분야> Wireless Mesh Networks, QoS, Mobility Management

김화성 (Hwa-sung Kim)

정회원



1981년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
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