

UMTS와 WLAN 사이의 소프트 핸드오버 방안

정회원 서원경*, 이강원*, 종신회원 조유제*

A Soft Handover Scheme Between UMTS and WLAN

Won-Kyeong Seo*, Kang-Won Lee* *Regular Members*, You-Ze Cho* *Lifelong Member*

요약

최근 무선 통신 기술의 급격한 발달로 언제, 어디서나, 지속적인 서비스를 이용하고자 사용자들의 요구가 급증하고 있다. 이를 위해서 서로 다른 무선 접속망을 동일 시스템처럼 통합하는 기술과 하나의 단말이 다양한 무선 접속망을 이용할 수 있는 다중 인터페이스 단말 기술, 통신 가입자의 서로 이종 무선 접속망간 이동에도 지속적인 서비스를 제공하기 위한 수직적 핸드오버 기술이 필요하다. 현재 차세대 네트워크를 위한 이종 접속망 연동 연구는 서로 다른 접속망이 인터넷으로 연동되는 loosely 연동 구조와 하나의 접속망 내에 다른 접속망이 연동되는 tightly 연동 구조를 바탕으로 진행되고 있으며, 이종 접속망간 이동성 지원 기술은 주로 loosely 연동 구조에서 Mobile IP를 확장하는 방향으로 연구되고 있다. Tightly 연동 구조는 서로 다른 무선 접속망이 밀접하게 연동되어 좀 더 신속한 핸드오버를 제공할 수 있지만 연동이 복잡하기 때문에 아직까지 구체적인 이동성 관리 방안 없이 개념적인 방향만 제시하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 UMTS와 WLAN 연동 구조를 정의하고, 다중 인터페이스 단말을 이용한 소프트 수직적 핸드오버 시그널링 절차를 제안한다. 또한 OPNET 시뮬레이터를 통해 제안된 수직적 핸드오버 방안이 끊임없는 서비스를 제공할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Soft handover, Vertical handover Tightly-coupled interworking

ABSTRACT

With the advances in wireless communication technologies, mobile users require to get seamless services anywhere and anytime. To realize these demands, network interworking and vertical handover are necessary between heterogeneous wireless access technologies with multi-interface mobile station. A lot of organizations are doing research on the network integration schemes based on loosely and tightly integrated architectures, and research on vertical handover schemes mainly based on Mobile IP in loosely integrated environments. But actually, the tightly integrated scheme can support more faster vertical handover because heterogeneous access networks are combined tightly. However, vertical handover schemes in tightly integrated environments are conceptually proposed without any detail signaling procedures. Therefore, this paper defines a tightly integrated architecture between UMTS and WLAN, and proposes a soft vertical handover signaling procedure. The proposed soft vertical handover scheme is evaluated by the OPNET simulator, and we confirm the proposed scheme can support seamless services.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업 (IITA-2008-(C1090-0801-0036))과 삼성전자의 연구지원으로 수행되었음.

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 통신망연구실 (morglory@ee.knu.ac.kr, kw0314@ee.knu.ac.kr, yzcho@ee.knu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-12-550, 접수일자 : 2007년 12월 7일, 최종논문접수일자 : 2008년 5월 14일

I. 서론

차세대 통합망은 언제 어디서나 끊김 없는 서비스를 제공하기 위하여 다양한 무선 접속망이 결합된 형태로 진화할 것이다. 따라서 다양한 무선 접속망들은 유기적으로 연동되어야 하고 차세대 이동 단말은 여러 인터페이스를 중 최적의 망을 선택하여 끊김 없는 수직적 핸드오버를 수행할 수 있어야 한다.

IEEE 802.11 표준을 바탕으로 한 WLAN (Wireless Local Area Network)은 공항, 호텔 등과 같은 제한된 영역에서 높은 전송률을 제공하고 있으며, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)와 같은 셀룰러 시스템은 넓은 영역에서 낮은 전송률을 제공하고 있다. 이러한 두 시스템은 상호 보완적인 특성을 지니고 있어 연동을 통해 이종 접속망간의 끊김 없는 서비스를 제공할 수 있다.

국제 표준화 단체들은 다양한 무선 접속망의 연동 방안을 활발하게 연구하고 있다. ITU-T (the International Telecommunication Union - Telecommunication standardization section) SG13 과 SG19에서는 차세대 통합망인 NGN (Next Generate Network)의 요구 사항을 정리하고 이를 충족시키기 위한 프레임워크를 정의하고 있으며 3GPP (3rd Generation Partnership Project)에서는 차세대 통합망으로의 진화를 6단계로 나누고 단계별 연동 모델을 표준화하고 있다^[1-4]. ETSI (European Telecommunications Standard Institute)에서는 차세대 네트워크를 위한 요구 사항과 대표적인 망 연동 방안인 loosely 연동 방안과 tightly 연동 방안을 제시하고 있다^[5].

Loosely 연동 방안은 WLAN과 UMTS를 인터넷을 통하여 연동하는 방안이다. 연동된 두 시스템은 서로 독립적으로 동작하여 연동이 간단하고, 연동 비용이 적게 소요되며 기존 시스템의 수정이 적은 장점이 있다. 하지만 loosely 연동 방안은 Mobile IP를 기반으로 수직적 핸드오버를 지원하고 있어 핸드오버 지연으로 인한 패킷 손실이 발생하고 끊김 없는 서비스를 제공하지 못하는 단점이 있다. 반면 tightly 연동 방안은 WLAN을 UMTS 내부에 연동하는 방안이다. Tightly 연동된 두 시스템은 동일한 AAA 인프라와 시그널링을 이용하여 끊김 없는 수직적 핸드오버를 제공하며, 기존의 UMTS 핵심망을 재사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 망 연동이 복잡하고 많은 비용이

소요되는 단점이 있어 일반적으로 연동 초기 단계에서는 loosely 연동 방안을 많이 사용한다^[5-6].

이처럼 국제 표준화 단체들은 주로 망 연동 구조에 관한 연구를 진행하고 있으나 차세대 통합망에서 이동성을 보장하기 위한 수직적 핸드오버 연구는 상대적으로 미비하다. 현재 loosely 연동 환경에서는 Mobile IP 핸드오버 지연을 최소화 하는 방안이 제안되고 있지만 여전히 단말의 위치 등록과 인증 시 발생하는 긴 지연으로 인해 끊김 없는 서비스를 지원하지 못하고 있는 실정이다. 또한 tightly 연동 환경에서는 이동성 보장을 위한 요구 사항 및 개념적인 이동성 관리 프레임워크를 정의하고 있으나 상세한 핸드오버 시그널링 절차의 정의는 미흡하다. 따라서 본 논문에서는 UMTS와 WLAN 시스템의 tightly 연동을 위하여 데이터 서비스 접속 절차와 이종 접속망 사이의 소프트 수직적 핸드오버 시그널링 절차를 제안하였다. 또한 OPNET 시뮬레이터를 구현하여 제안 방안의 성능 평가를 수행하였다.

서론에 이어 II장에서는 UMTS와 WLAN 사이의 소프트 핸드오버 방안을 제안한다. III장에서는 시뮬레이션을 통한 제안 방안의 성능 평가를 수행하며 IV장을 통하여 결론을 맺는다.

II. UMTS와 WLAN 사이의 소프트 핸드오버 방안

II장에서는 끊김없는 서비스 지원을 위한 UMTS- WLAN 연동망 구조를 정리하고 연동망에서의 데이터 서비스 접속 절차를 제안한다. 또한 단말의 이동에도 끊김없이 서비스를 제공하기 위한 상향 수직적 핸드오버와 하향 수직적 핸드오버 시그널링 절차를 제안한다.

2.1 소프트 핸드오버를 위한 연동망 구조

UMTS와 WLAN 연동망은 끊김없는 수직적 핸드오버를 지원하기 위하여 tightly 연동 구조로 설계하였다. WLAN 과 UMTS의 연동은 UMTS의 연동 노드에 따라 RNC (Radio Network Controller) 계층의 연동, SGSN (Serving GPRS Support Node) 계층의 연동, GGSN (Gateway GPRS Support Node) 계층의 연동으로 분류할 수 있으며, 본 논문에서는 두 시스템의 특성을 고려하여 SGSN 계층의 연동 구조를 바탕으로 하였다. RNC를 통한 두 시스템의 연동은 UMTS의 무선

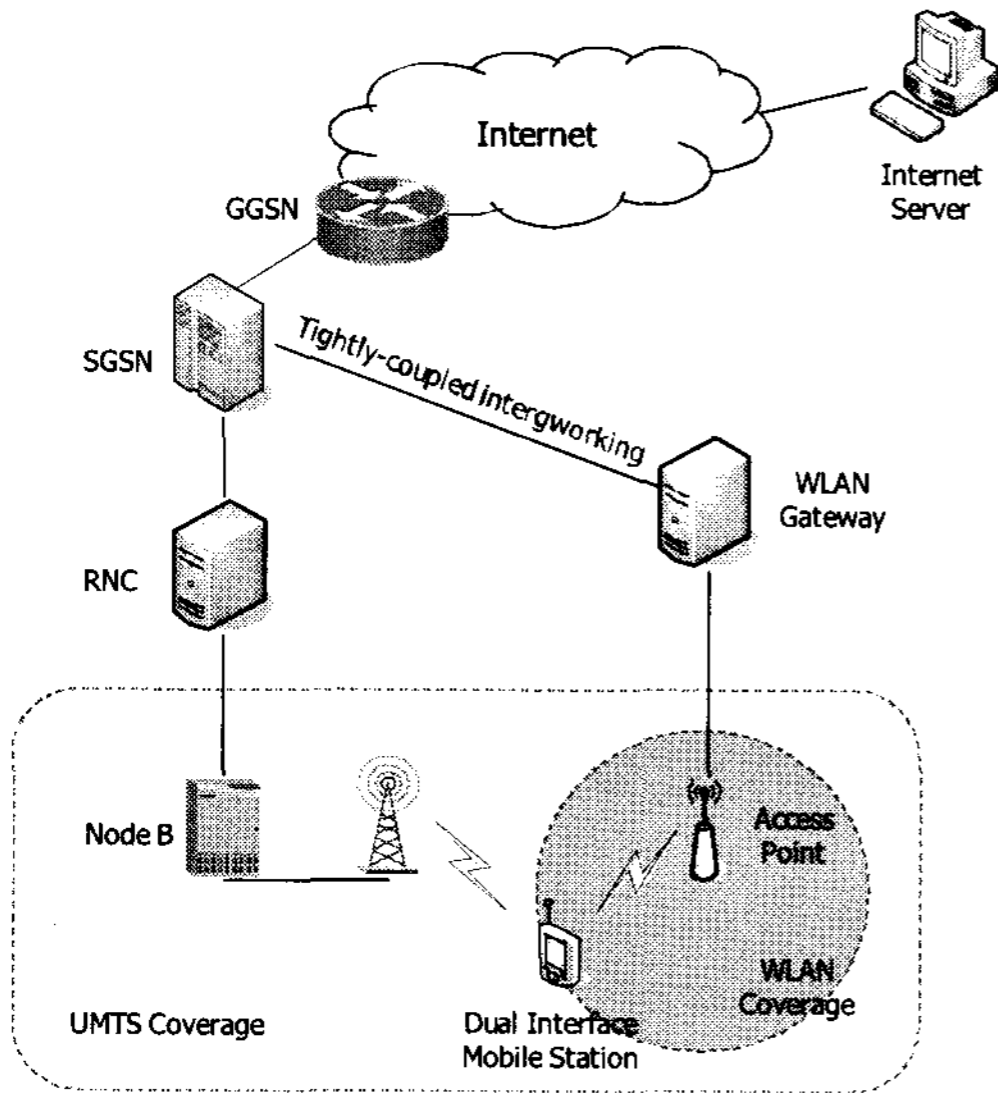


그림 1. UMTS-WLAN 연동망 구조

자원을 관리하던 RNC의 기능을 WLAN까지 수용할 수 있도록 수정해야 하며, UMTS의 가장 외부 단에 위치하는 GGSN을 통한 연동은 이종망간 이동성 제공을 위해 많은 시그널링 메시지를 유발하기 때문에 적절하지 못하다. 따라서 본 논문에서는 그림 1과 같이 WLAN을 UMTS의 SGSN을 통하여 연동하였다. WLAN 시스템은 WLAN gateway를 통하여 UMTS와 연동되며 연동된 WLAN은 하나의 UMTS 접속망과 같이 동작한다.

2.2 WLAN에서의 데이터 서비스 접속 절차

데이터 서비스를 이용하기 위하여 UMTS 접속망에 위치하는 단말은 UMTS 접속망과 RNC (Radio Resource Control) connection을 형성하고 자신의 위치 정보 등록을 위한 GPRS (General Packet Radio Service) attachment를 수행한다. 또한 단말과 외부 노드 사이의 연결 설정을 위한 PDP (Packet Data Protocol) context 활성화를 수행한다. 그러나 UMTS 접속망을 통한 데이터 서비스 접속 과정 중에 형성되는 RRC connection, RL (Radio Link), RB (Radio Bearer)는 UMTS 무선 접속망 기술에 특화된 링크로 WLAN 접속망에서는 불필요한 링크이다. 따라서 WLAN 접속망을 통하여 통신하는 단말은 불필요한 링크 형성 과정을 생략하고 WLAN association, GPRS attach, PDP context 활성화만을 수행한다^[7-8]. 본 논문에서 제안하는 단말의 데이터 서비스 접속 절차는

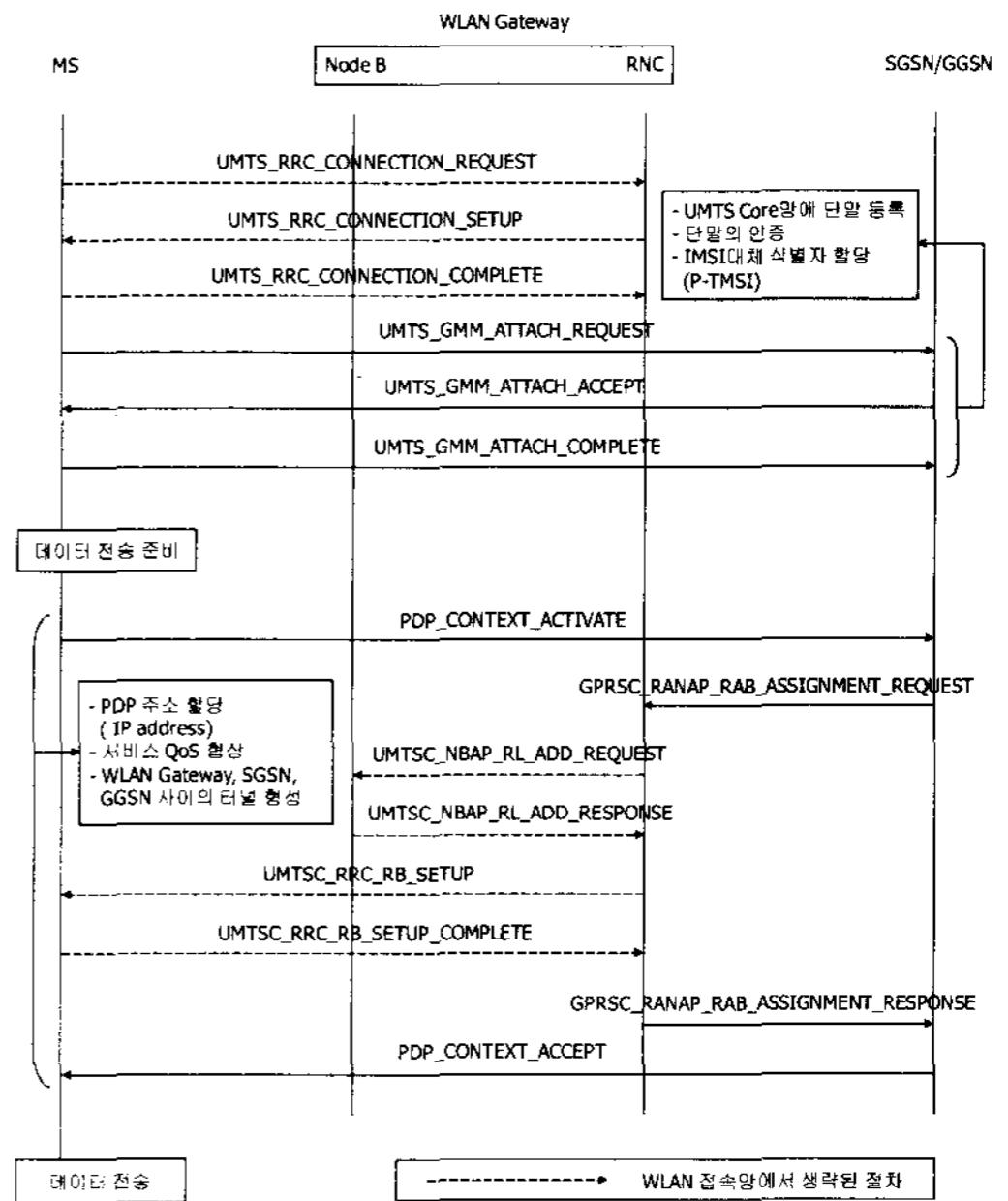


그림 2. UMTS-WLAN 연동망에서의 데이터 서비스 접속 절차

그림 2와 같으며 WLAN을 통한 데이터 접속 과정에서 생략되는 절차는 점선으로 표시하였다.

2.3 수직적 핸드오버를 위한 시그널링 연동

연동망에서의 핸드오버는 수평적 핸드오버와 수직적 핸드오버로 구분된다. 수평적 핸드오버는 UMTS 내부 또는 WLAN 내부에서 단말이 이동하는 경우에 발생하며, 단말의 이동성 지원을 위해 기존 단일망의 핸드오버 방안을 그대로 이용할 수 있다. 수직적 핸드오버는 이동 단말이 WLAN에서 UMTS로 이동하는 상향 수직적 핸드오버와 UMTS에서 WLAN으로 이동하는 하향 수직적 핸드오버로 구성된다. 연동망에서 수직적 핸드오버 지원 방안은 loosely 연동망 환경에서 Mobile IP를 확장하는 위주로 진행되고 있다. 실제 tightly 연동망 환경에서 좀 더 신속한 핸드오버를 지원할 수 있으나, 아직까지 연동 구조가 복잡하여 구체적인 절차 정의 없이 개념적인 구조만이 제시되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 다중 인터페이스 단말을 이용한 상향 소프트웨어 수직적 핸드오버와 하향 소프트웨어 수직적 핸드오버 방안을 제안한다. 이동 단말은 핸드오버 대상망과 새로운 연결을 형성하는 동안, 기존 연결로 지속적인 통신을 수행함으로써 패킷 손실없이 끊임없는 서비스를 이용할 수 있다.

2.3.1 상향 수직적 핸드오버

본 논문에서 제안하는 상향 수직적 핸드오버 절차는 그림 3과 같다. 제안된 상향 수직적 핸드오버 절차에서 이동 단말은 WLAN 접속망과의 연결이 해제되기 전에, UMTS 접속망과 새로운 연결을 형성하여 핸드오버 수행 동안 지속적인 데이터 통신을 수행할 수 있다. 이를 통해 제안한 수직적 핸드오버 방안이 패킷 손실없이 끊김없는 서비스를 지원한다.

- ① 단말은 수직적 핸드오버 수행을 결정한다.
- ② 단말은 UTRAN과 무선 채널 설정하고 RRC connection을 형성한다.
- ③ 단말은 Node B와 RNC를 통하여 SGSN에게 수직적 핸드오버를 요청한다.
- ④ SGSN은 RNC와 RAB를 형성한다. 또한 RNC는 Node B와 radio link를 형성하고 단말과 radio bearer를 형성한다.
- ⑤ SGSN은 RNC와 Node B를 통하여 단말에게 수직적 핸드오버를 수행할 준비가 되었음을 알린다.
- ⑥ 단말은 Node B와 RNC를 거쳐 SGSN에게 새로운 경로로 데이터를 전송 받을 준비가 되었음을 알린다. 새로운 경로를 형성하는 동안 단말은 기존의 경로 (WLAN 인터페이스)를 통하여 SGSN과 지속적으로 통신을 수행한다.
- ⑦ SGSN은 데이터 전송 경로를 새로운 경로 (UMTS 인터페이스)로 스위칭한다.
- ⑧ SGSN과 WLAN gateway간의 RAB를 해제한다.

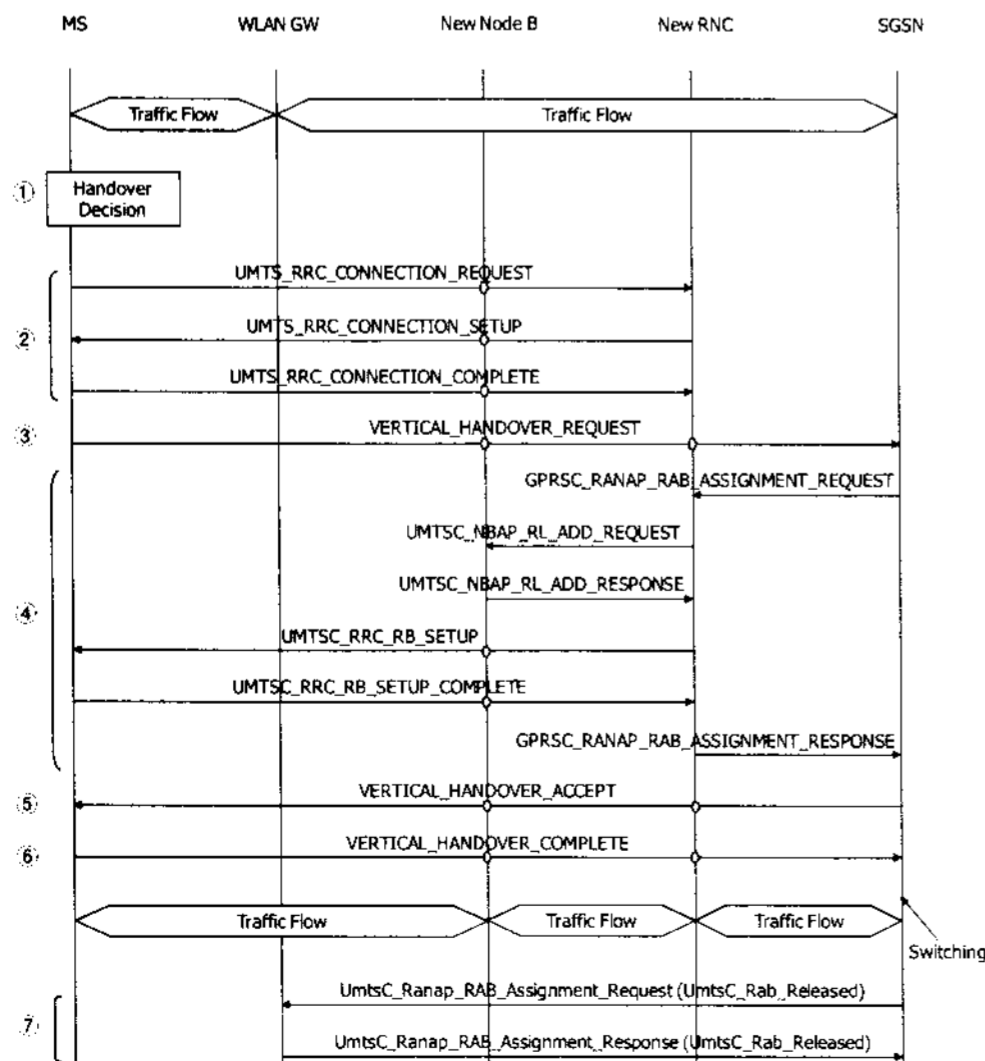


그림 3. 상향 수직적 핸드오버 절차

2.3.2 하향 수직적 핸드오버

본 논문에서 제안하는 하향 수직적 핸드오버 절차는 그림 4과 같다. 제안된 하향 수직적 핸드오버 절차에서 이동 단말은 UMTS 접속망과의 연결이 해제되기 전에, WLAN 접속망과 새로운 연결을 형성하여 핸드오버 수행 동안 지속적인 데이터 통신을 수행할 수 있다. 이를 통해 제안한 수직적 핸드오버 방안이 패킷 손실없이 끊김없는 서비스를 지원한다.

- ① 단말은 수직적 핸드오버 수행을 결정한다.
- ② 단말은 WLAN access point와 association 과정을 통하여 연결을 설정한다.
- ③ 단말은 WLAN gateway를 통하여 SGSN에게 수직적 핸드오버를 요청한다.
- ④ SGSN은 WLAN gateway와 RAB를 형성한다.
- ⑤ SGSN은 WLAN gateway를 통하여 단말에게 수직적 핸드오버를 수행할 준비가 되었음을 알린다.
- ⑥ 단말은 WLAN gateway를 거쳐 SGSN에게 새로운 경로로 데이터를 전송 받을 준비가 되었음을 알린다. 새로운 경로를 형성하는 동안 단말은 기존의 경로 (UMTS 인터페이스)를 통하여 SGSN과 지속적으로 통신을 수행한다.
- ⑦ SGSN은 데이터 전송 경로를 새로운 경로 (WLAN 인터페이스)로 스위칭한다.
- ⑧ SGSN과 RNC사이의 RAB를 해제하고, RNC와 Node B사이의 radio link도 해제한다. 또한 RNC와 단말 사이의 radio bearer도 해제한다.

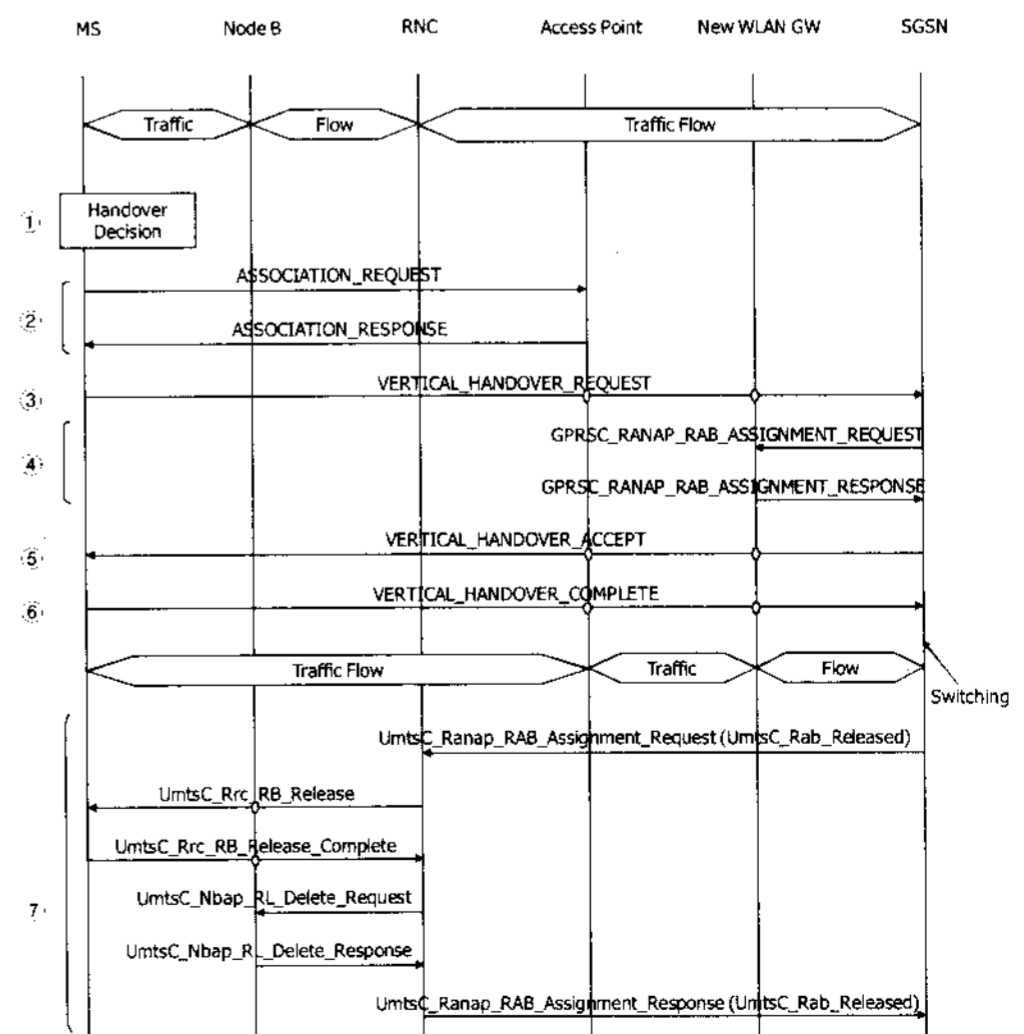


그림 4. 하향 수직적 핸드오버 절차

III. 시뮬레이션을 통한 성능 분석

본 논문에서는 UMTS와 WLAN 연동 시뮬레이터를 구현하여 제안된 상향 수직적 핸드오버와 하향 수직적 핸드오버의 성능을 평가하였다. 성능 분석은 TCP congestion window size, TCP 수율을 통하여 수행되었으며, 제안된 수직적 핸드오버 방안이 핸드오버 동안에 패킷 손실 없이 끊임없는 서비스를 제공할 수 있음을 확인하였다.

3.1 소프트 핸드오버를 위한 연동망 구조

UMTS와 WLAN 연동 시뮬레이터는 OPNET의 UMTS Release 99 시스템과 IEEE 802.11 WLAN을 이용하여 구현되었다^[9]. 연동망에서의 UMTS 시스템은 64kbps의 대역폭으로 넓은 영역을 서비스하도록 구성하였으며, WLAN은 11Mbps의 대역폭으로 UMTS 커버리지 내의 hotspot 영역을 서비스하도록 구성하였다. 시뮬레이션을 위한 연동망은 그림 5와 같이 WLAN gateway를 이용하여 SGSN과 WLAN 접속망을 결합하였다. WLAN gateway는 RNC 기능을 포함하여 UMTS 핵심망과 터널을 형성하는 기능을 가지고 있으며 WLAN access point와 연결되어 단말에게 데이터 서비스를 제공해주는 기능을 보유하고 있다. 또한 연동망에서의 이동 단말은 소프트 수직적 핸드오버 수행을 위하여 다중 인터페이스를 지원한다.

시뮬레이션은 단말이 17Mbytes의 FTP 트래픽을 다운로드하며 하향 수직적 핸드오버와 상향 수직적 핸드오버를 수행하는 시나리오로 이루어졌다.

- 시나리오 1: 단말이 UMTS에서 WLAN으로 이동하는 경우
- 시나리오 2: 단말이 WLAN에서 UMTS로 이동하는 경우

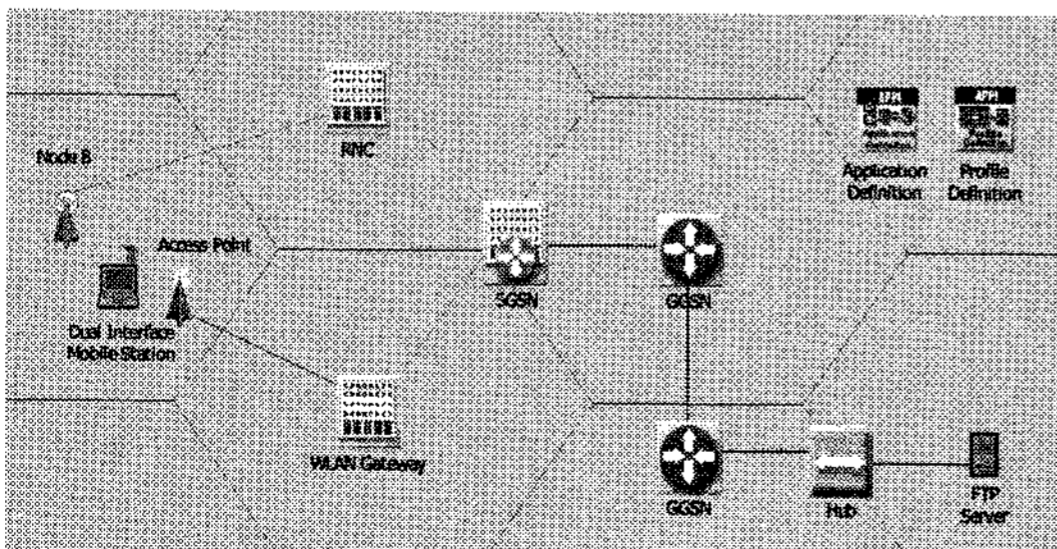


그림 5. 시뮬레이션을 위한 WLAN-UMTS 연동망 구조

본 논문에서는 각 시나리오별로 시뮬레이션을 수행하여 TCP congestion window, TCP 수율을 관찰하고, 이를 통해 연동망의 성능과 제안된 수직적 핸드오버 시그널링 절차의 성능을 분석하였다.

3.2 시뮬레이터를 통한 성능 분석

제안된 수직적 핸드오버 방안의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션은 단말이 17Mbytes FTP 데이터를 다운로드 하는 중, 150초에 하향 수직적 핸드오버를 수행하는 시나리오 1과 250초에 상향 핸드오버를 수행하는 시나리오 2로 구성되었다. 각 시나리오에 따른 시뮬레이션 결과는 그림 6~9와 같이 나타낼 수 있다.

3.2.1 TCP congestion window를 통한 성능 분석

그림 6과 그림 7은 단말이 하향 수직적 핸드오버와 상향 수직적 핸드오버를 수행하는 동안의 TCP congestion window의 변화를 나타낸 것이다.

시나리오 1에서 단말은 UMTS 접속망을 통하여 FTP 트래픽을 수신하다가 150초에 하향 수직

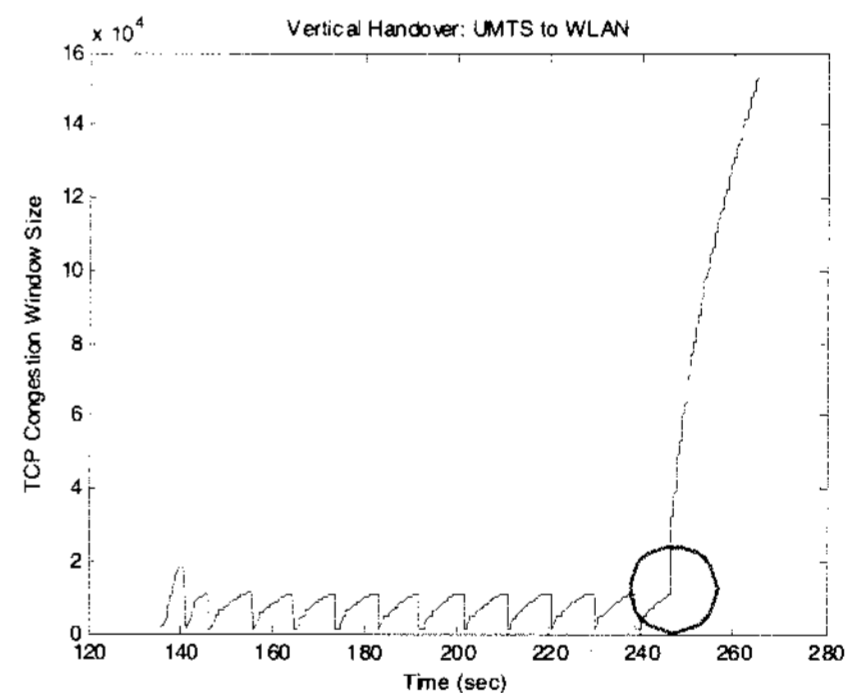


그림 6. 하향 수직적 핸드오버 동안의 TCP congestion window size

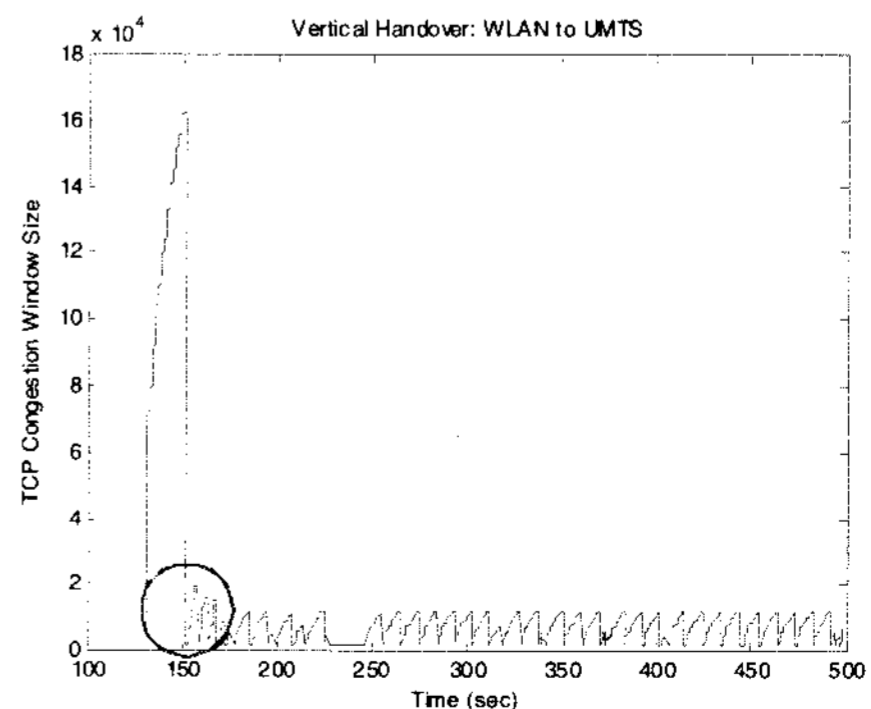


그림 7. 상향 수직적 핸드오버 동안의 TCP congestion window size

적 핸드오버를 수행하여 WLAN 접속망으로 이동하였다. 단말이 하향 수직적 핸드오버를 수행하는 동안에 TCP congestion window는 떨어짐 없이 계속적으로 증가하였다. 이는 단말이 새로운 접속망 (WLAN 접속망)과 데이터 전송 경로를 형성하는 동안에 기존의 연결 (UMTS 접속망)을 통하여 데이터를 수신해 패킷 손실 없이 끊임없는 서비스를 제공하기 때문이다.

시나리오 2에서 단말은 WLAN 접속망을 통하여 FTP 트래픽을 수신하다가 245초에 상향 수직적 핸드오버를 수행하여 UMTS 접속망으로 이동하였다. 단말이 상향 수직적 핸드오버를 수행하는 동안에는 하향 수직적 핸드오버와는 달리 패킷 손실로 인하여 TCP congestion window의 감소 현상이 발생한다. 하지만 제안된 상향 수직적 핸드오버 방안에서 단말은 핸드오버를 수행하는 동안, 기존의 연결을 통하여 지속적인 통신을 수행하기 때문에 핸드오버 지연에 따른 패킷 손실은 발생하지 않는다. 그러나 단말이 대역폭이 큰 WLAN에 접속해있는 동안에 증가된 cwnd (congestion window)를 대역폭이 작은 UMTS 접

속망에서는 수용할 수 없기 때문에 패킷 손실이 발생한다.

이를 통해 제안된 수직적 핸드오버 방안이 핸드오버 지연에 따른 패킷 손실없이 끊임없는 서비스를 제공할 수 있음을 확인하였다. 하지만 단말이 큰 대역폭의 접속망에서 작은 대역폭의 접속망으로 이동하는 경우에는 대역폭 차이에 따른 패킷 손실이 발생함을 확인할 수 있었다.

3.2.2 수율을 통한 성능 분석

그림 8과 그림 9는 시나리오 1과 시나리오 2에 대한 수율의 변화를 나타낸 것이다. 단말이 UMTS 영역에서 WLAN 영역으로 이동하면 수율이 증가하고 WLAN 영역에서 UMTS 영역으로 이동하면 수율이 감소하며, 이는 WLAN을 통한 데이터 서비스가 좀 더 효율적임을 나타낸다. 이를 통해 Hotspot 영역에서는 WLAN을 사용하고 그 이외의 지역에서는 UMTS를 이용함으로써 망 연동이 시스템 전체의 효율을 높일 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 UMTS와 WLAN 연동망에서 단말의 이동성을 보장하기 위하여 수직적 핸드오버 방안을 제안하고 OPNET 시뮬레이터를 통하여 성능을 평가하였다. UMTS와 WLAN 시스템 연동을 위해 WLAN 접속망에 위치한 단말의 초기 연결 절차를 제안하였으며, 핸드오버 지연 문제를 해결하기 위해 다중 인터페이스 단말을 이용한 소프트 수직적 핸드오버 시그널링 절차를 제안하였다. 제안 방안에서 단말은 핸드오버 대상망과 새로운 연결을 형성하는 동안, 기존의 연결을 유지하여 지속적인 통신을 수행한다. 따라서 수직적 핸드오버 지연에 따른 패킷 손실 없이 끊임없는 서비스를 제공할 수 있다. 본 논문에서는 제안된 방안의 성능 검증을 위하여 OPNET 시뮬레이터를 이용해 UMTS-WLAN 연동망과 제안된 수직적 핸드오버 방안을 구현하였으며, 이를 통해 제안 방안이 핸드오버 지연에 따른 패킷 손실 없이 끊임없는 서비스를 제공할 수 있음을 확인하였다.

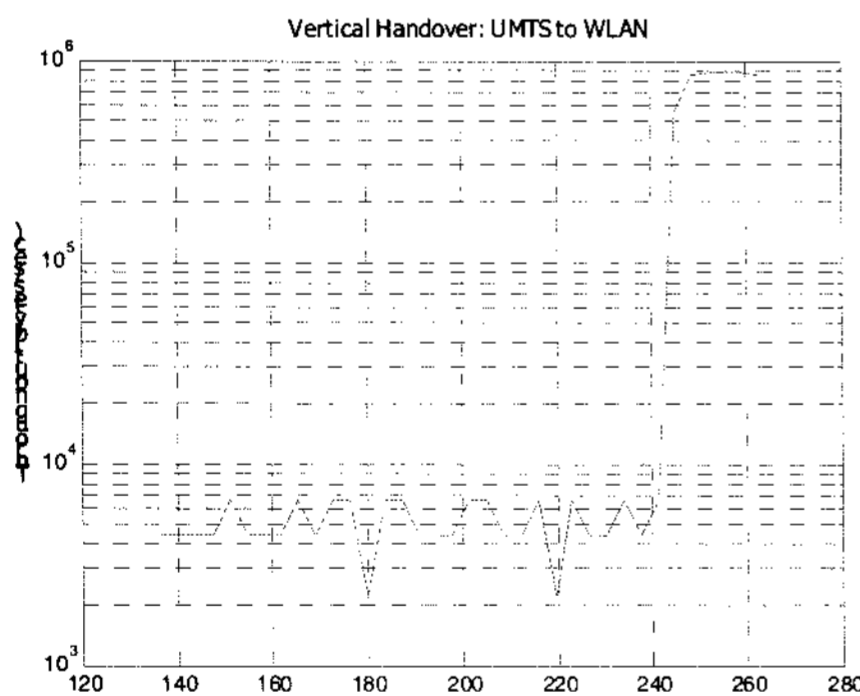


그림 8. 하향 수직적 핸드오버 동안의 TCP 수율

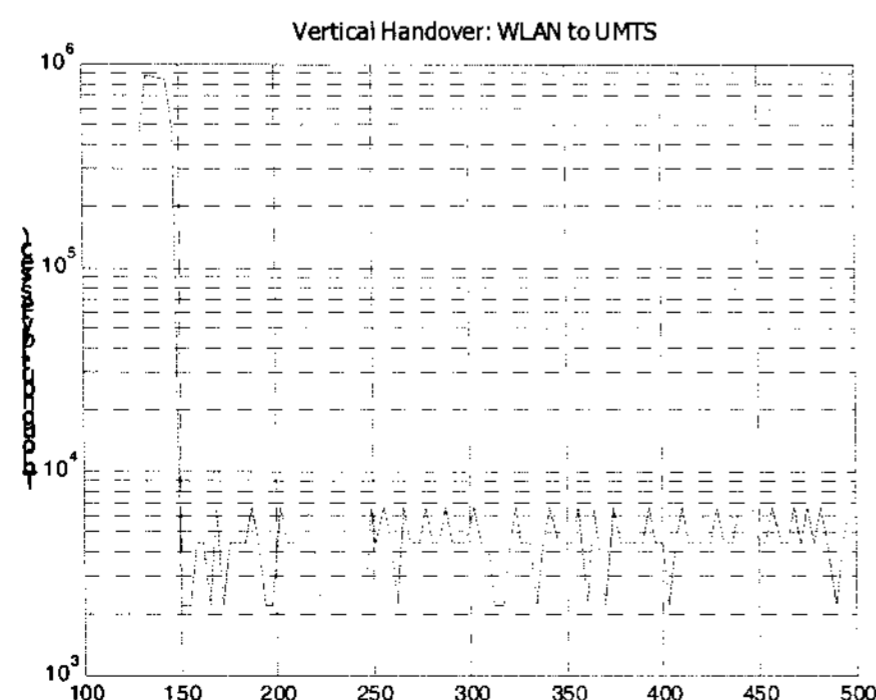


그림 9. 상향 수직적 핸드오버 동안의 TCP 수율

참고문헌

- [1] *ITU-T Q.1706/Y.2801*, "Mobility management requirements for NGN," Nov. 2006.
- [2] *ITU-T Q.1707/Y.2804*, "Generic Framework of Mobility Management for Next Generation Networks," Feb. 2006.
- [3] *3GPP TR 22.934 v7.6.0*, "Feasibility Study on 3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking," Jun. 2007.
- [4] *3GPP TS 23.234 v7.6.0*, "3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking; System Description," Dec. 2007.
- [5] *ETSI TR 101 957 V1.1.1*, "Requirements and Architectures for Interworking between HIPERLAN/2 and 3rd Generation Cellular Systems," 2001.
- [6] M. M. Buddhikot, G. Chandranmenon, S. Han, Y. Lee, S. Miller, and L. Salgarelli, "Design and Implementation of a WLAN/CDMA2000 Interworking Architecture," *IEEE Communication Magazine*, Vol.31, pp.90-100, 2003.
- [7] *3GPP TS 23.060 v8.0.0*, "General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2," Mar. 2008.
- [8] J. Geier, *Wireless LANs, Implementing High Performance IEEE 802.11 Networks*, SAMS, 2002.
- [9] *Product documentation, release 11.5 : UMTS Model User Guide*, OPNET technologies, 2006.

서원경 (Won-Kyeong Seo)

정회원



2005년 2월 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업
 2007년 2월 경북대학교 전자공학(석사)
 2007년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사과정
 <관심분야> 4세대 이동통신, BcN, 이종망간 핸드오버

이강원 (Kang-Won Lee)

정회원



2002년 2월 경북대학교 전자전기공학부 졸업
 2004년 2월 경북대학교 전자공학(석사)
 2004년 3월~현재 경북대학교 전자공학부 박사과정
 <관심분야> 망 기반 이동성 관리 기술, 이종망간 핸드오버, BcN

조유제 (You-Ze Cho)

종신회원



1982년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
 1983년 2월 한국과학기술원 전기전자공학(석사)
 1988년 2월 한국과학기술원 전자전기공학 전기전자공학(박사)
 1989년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
 2002년 2월~2003년 1월 미국 국립표준연구소(NIST), 객원 연구원
 1992년 8월~1994년 1월 Univ. of Toronto, 객원교수
 <관심분야> 차세대 이동네트워크, BcN, 무선 메쉬 네트워크, 센서 네트워크, 이동성 관리 기술