

1. 서론

현재 무선 환경은 이동 통신망의 발달과 새로운 네트워크의 개발 및 배치로 여러 네트워크들이 중첩되어 있다. 앞으로 대표적으로 널리 퍼져있는 CDMA2000 이동통신망과 Hotspot지역을 중심으로 서비스되고 있는 WLAN, 국내 상용화를 앞두고 있는 WiBro등이 각각의 특성에 맞게 배치되어 서비스되리라 예상된다. 또한 현재 국내에서는 정부차원의 사업으로 사용자에게 다양한 접속망을 통한 고품질의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 다양한 네트워크의 융합 및 통합화가 진행되고 있다. 이를 위해 네트워크의 구조 및 이동성 제공 방안, AAA, QoS등과 같은 문제해결을 위한 통합 방안들이 계속해서 제안되고 있다. 하지만, 각 네트워크 간의 상이한 서비스 제공 범위, 표준 및 규격으로 인해, 단기간 내의 네트워크 통합은 어려울 것으로 보이며, 현재 무선 네트워크 통합 방안에 대한 연구보다는 각 네트워크 구성요소들의 연동을 통한 서비스 제공에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 이러한 연구들은 주로 가장 넓은 영역에 퍼져있는 CDMA2000과 꾸준한 성장을 보이고 있는 WLAN의 연동을 중심으로 이루어지고 있다.

한편, 현재 대용량의 멀티미디어 데이터 전송과 이동성 제공을 요구하는 사용자의 요구에 따라 무선 및 이동 환경에서 보다 높은 대역폭의 서비스를 제공하기 위하여 IEEE 802.16을 비롯한 많은 규격들이 제정되고 있으며, 국내에서는 한국정보통신기술협회(TTA) 주관하에 60Km/h의 이동성과 50Mbps의 데이터 서비스를 위한 WiBro가 규격화되고 상용화를 앞두고 있다. WLAN에 비해 넓은 서비스 제공 범위 및 이동성을 가지고 있는 WiBro가 차세대 무선 접속망으로써의 위치를 대신할 것으로 예상되며, CDMA2000 이동 통신망과 상대적으로 CDMA2000 이동 통신망에 비해 고속의 데이터 전송과 저렴한 비용으로 서비스가 가능한 WiBro간의 연동은 WLAN과 CDMA2000 이동 통신망 간의 연동에 비해 이동성 제공, 서비스 제공 범위, 비용 등의 측면에서 우세할 것으로 기대되고 있다.

이와 같은 다양한 네트워크 간의 연동이 중요시 되면서, 사용자측면에서 끊임없는 서비스를 제공받기 위해서는 단지 연동구조 뿐만 아니라 연동구조에서 단말의

이동을 위한 핸드오프 방안이 필수적이다. 현재 가장 일반적인 방법으로 동종망 (Homogeneous Network)에서 이미 사용되고 있는 Mobile IP를 사용하는 방안이 존재하며, Mobile IP의 패킷손실 및 딜레이를 감소하기 위한 Fast Handoff와 같은 방안들이 주로 사용된다. 이와 같은 방안들은 L3기반의 메시지를 서로 주고 받아 핸드오프를 수행하는 것으로 L3 메시지의 전달하기까지의 간격동안의 패킷 손실과 딜레이가 존재할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 L3방안들에 대한 문제점을 개선한 L2 메시지를 사용하는 L2 핸드오프 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대한 내용을 기술한다. 2.1절에서는 현재 활발하게 이루어지고 있는 3G-WLAN간의 연동 표준화 동향에 대해 기술하고, 2.2절에서는 기존 연구 동향에 대해 기술하고 2.3절에서는 이에 적용되는 이동성 관리 기술에 대해 언급한다. 3장에서는 제안하는 L2 핸드오프 방안 에 대해 상세히 기술한다. 4장에서는 제안한 L2 핸드오프 방안에 대한 성능평가를 기술하고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

2. 관련 연구

2.1. 3G-WLAN 연동 표준화 동향

초기, 3G와 WLAN을 보완재(complementary)로 볼 것인가 혹은 대체재(substitutes)로 볼 것인가에 대한 다양한 시각이 있었으나, 최근에는 상호 보완관계로 보는 시각에 지배적이다. 일반 이동단말에서는 3G로 서비스하고, 이동단말이 특정 Hot Spot에 들어가는 경우 WLAN 서비스를 받도록 하는 시나리오로 주류를 이루고 있다.

3GPP는 99년 완성된 Release 99를 시작으로 2002년 6월 Release 5을 발표하였고 현재 Release 6의 표준화를 진행 중이다. 멀티미디어 전송을 위한 새로운 효율적인 서비스 지원 구조의 도입(MBPSS)에 대하여 연구 중이다. 3GPP의 MBPSS 표준화는 사업자들의 요청에 의해 시작되었으며, 현재는 SA와 RAN을 중심으로 표준화가 진행 중이나 모든 Task Group과 관련된 중요한 표준 이슈들 중의 하나이다. 현재 진행중인 Stage 2 작업에서는 MBPSS를 제공하기 위한 기본적 사항들만이 결정될 예정이며, 세부적인 기능과 프로시저, 메시지, 프로토콜 동작 등은 2004년 3월 이후 이루어질 Stage 3 작업을 통해 결정될 것이다. 따라서 사업자들이 MBPSS 서비스를 실질적으로 제공하는 것은 Stage 3 작업이 충분히 마무리되는 2005년 초반 이후에나 가능할 것으로 예상된다. 반면, HSDPA가 RAN에만 영향이 있었던 것에 비해, MBPSS는 RAN, CN, T, SA, GERAN 등 모든 working group들의 표준에 영향을 주므로 실제 서비스 가능한 시기는 이보다 더 늦추어 질 가능성이 높다.

현재 3G-WLAN 연동 표준화는 ETSI BRAN 및 3GPP 등에서 수행되고 있으며, 연동을 위해 무선신호의 연동, 단말 지원, 인증 및 과금 기술, 이동성 및 QoS 지원 등과 같은 기술적인 이슈들을 고려하며, 단말에서 WLAN과 3G 이동통신망 각각의 프로토콜 및 무선 모듈을 지원하며, 이동성 지원을 위한 Mobile IP 등의 이동성 관리 프로토콜의 탑재가 요구된다. 3GPP의 TR 22.934에서는 ETSI BRAN 보고서를 바탕으로 WLAN-3G 연동에 대한 요구사항 및 시나리오를 Loosely 연동과 Tightly

연동의 6단계로 정의하고 있다. 연동 참조 모델 측면에서 보면, 본래 3GPP에서는 접근제어 (access control) 기능을 방문망 (Visited Network)에서 수행하는 방안과 홈망 (Home Network)에서 수행하는 방안을 모두 고려하였으나, 결국 홈망에서 접근제어를 수행하는 방향을 결론이 났다. 한편 과금 관리는 각 망간에 연동에 의해 이루어진다. RAN 관점에서 3GPP Release 5의 주요 특징은 HSDPA와 IP-transport in the UTRAN의 도입이다. 전자는 무선 접속 측면에서 하향 고속 패킷 전송을 가능하게 하는 방식이고 후자는 미래 All-IP 통신 망의 패러다임 변화를 대비한 초기 단계의 진화 형태이다. Release 6에서는 Release 5의 무선 접속 성능을 강화하기 위해 MIMO, Beamforming 등의 주파수 효율 증대 기법과 효율적인 새로운 멀티미디어 서비스 지원을 위한 MBPSS 등의 표준화 작업이 이루어지고 있다. 또한 Release 6 이후의 시스템 성능향상을 위한 OFDM, Uplink Enhancement 등의 성능 검증이 진행 중이다.

한편, 3GPP2에서는 3GPP와는 달리 3GPP2에서는 Mobile IP를 이동성 프로토콜로써 채택하였으며, 특히 Mobile IP는 3G-WLAN 등의 이종망간의 로밍 및 이동성 지원에 적절히 사용될 수 있을 것으로 전망되지만, 3GPP2에서는 아직 3G-WLAN 연동에 관련해 3GPP와 같은 세부적인 시나리오등을 정하고 있지는 않으며 연동 표준화 작업을 추진하고 있지 않고, 다만 연동 요구 사항을 정의하는데 그치고 있다.

2.2. 기존 연구 동향

본 절에서는 현재 이루어지고 있는 3G-WLAN간의 연동을 위한 연구들에 대해 소개한다. 현재 3G-WLAN을 위한 별도의 표준은 존재하지 않으며, 다만 특정 기업이나 단체들의 주도하에 연동을 위한 방안 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한, 이러한 연구들은 단말의 이동성 및 끊임없는 서비스 제공을 네트워크의 구조적인 관점에서 바라보고 있다. 대표적으로 Lucent, Motorola, Ericsson, AT&T, Nokia, Alcatel의 연동방안에 대한 연구가 진행되고 있다.

현재 Lucent Bell 연구소에서는 CDMA2000 이동 통신망과 WLAN의 연동을 중심으로 Tightly coupled 연동방안과 Loosely coupled 연동방안 두 가지를 제안하고 있다. 다음은 Lucent Bell 연구소의 Tightly coupled/Loosely coupled 연동방안을 나타낸 그림이다.

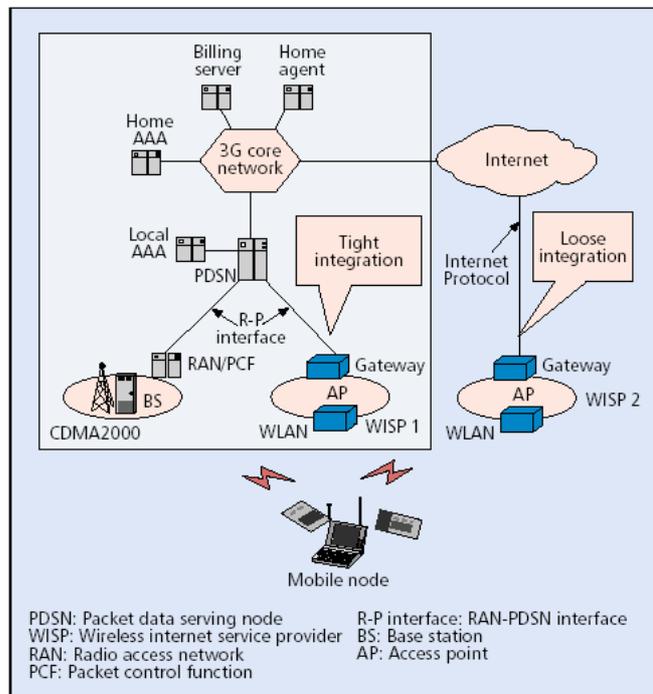


그림 1 . Lucent Bell의 Tightly/Loosely coupled integration

Tightly coupled 연동방안에서 WLAN은 단지 핵심망(Core Network)에 연결되어 있는 하나의 3G RAN(Radio Access Network)으로 취급되어진다. 이 경우 WLAN의 Gateway는 자신의 WLAN 네트워크를 블랙박스화하여 3G의 핵심망이 하나의 3G RAN으로 인식할 수 있도록 모든 프로토콜을 내장하여야 한다. 이 경우 3G 핵심망의 재구성이 복잡하며 고비용을 필요로 한다는 단점이 존재한다. 또 다른 방안인 Loosely coupled 연동방안의 경우 역시 새로운 Gateway가 필요하다는 것은 동일하지만 Gateway가 3G 핵심망에 연결되는 것이 아니라 Global Internet으로 직접 연결된다. Lucent에서는 서로 다른 동작과 프로토콜을 사용하는 CDMA2000과 WLAN의 끊임없는 연동을 위하여 IOTA라는 Gateway를 구현하여 제시하고 있으며, 이는 이동성 지원을 위한 Mobile IP, 상호 과금 인증을 위한 RADIUS AAA proxy의 기능, DHCP 서버등의 기능을 지원한다.

한편, Motorola에서는 GPRS와 WLAN간의 연동방안을 제시하고 있다. 역시 Tightly coupled 연동방안과 Loosely coupled 연동방안을 제시하고 있으며, Tightly coupled 연동방안의 개념 자체는 Lucent Bell의 그것과 동일하다.

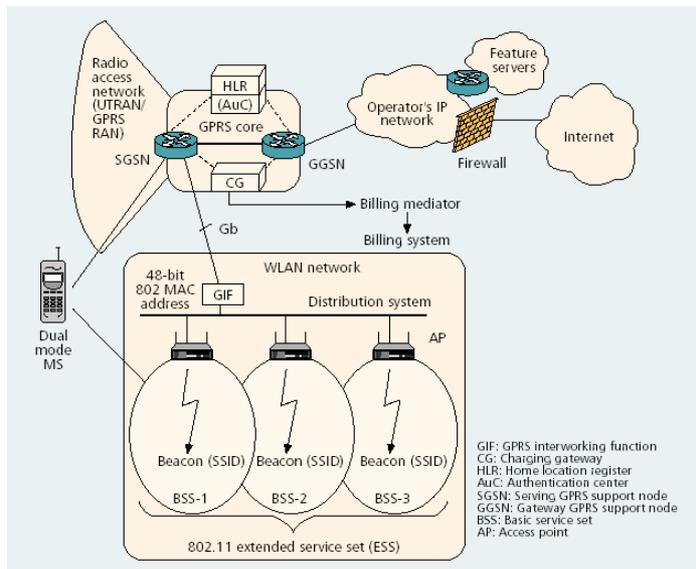


그림 2 . Motorola의 Tightly coupled integration

단지 WLAN 네트워크가 분산시스템에 연결된 여러 AP를 지니며, 기지국처럼 동작하는 각 AP마다 하나씩 담당하는 BSS(Basic Service Set)의 집합인 ESS(Extended Service Set)으로 형성된다.

WLAN 네트워크는 일반 3G RAN과 3G 핵심망을 연결하는 표준 Gb 인터페이스를 통해 GPRS의 핵심망에 접근하게 되고 핵심망은 WLAN을 하나의 3G RAN으로 인식한다. 이 경우 GIF(GPRS interworking function)이라는 네트워크 구성요소가 필요하게 되는데, 이는 표준 Gb 인터페이스를 통해 WLAN의 분산시스템과 SGSN을 연결한다. GIF는 3G 핵심망에 WLAN 네트워크를 하나의 Cell로 인식하도록 동작한다. Motorola의 Loosely coupled 연동 방안에서 WLAN 네트워크는 GPRS 네트워크가 속해있는 Operator IP network에 속해 있다. WLAN 네트워크의 트래픽은 Operator IP network나 일반 Internet으로 직접 전송된다. 이 접근방식의 경우 Operator IP network 서비스를 위한 SIM인증방식이 GPRS와 WLAN 네트워크 모두에 제공되어야 하며, GPRS와 WLAN 네트워크의 통합된 과금이 요구된다. 이 접근방식에서 CAG (Cellular Access Gateway)라는 네트워크 구성요소가 중요한 위치를 차지한다.

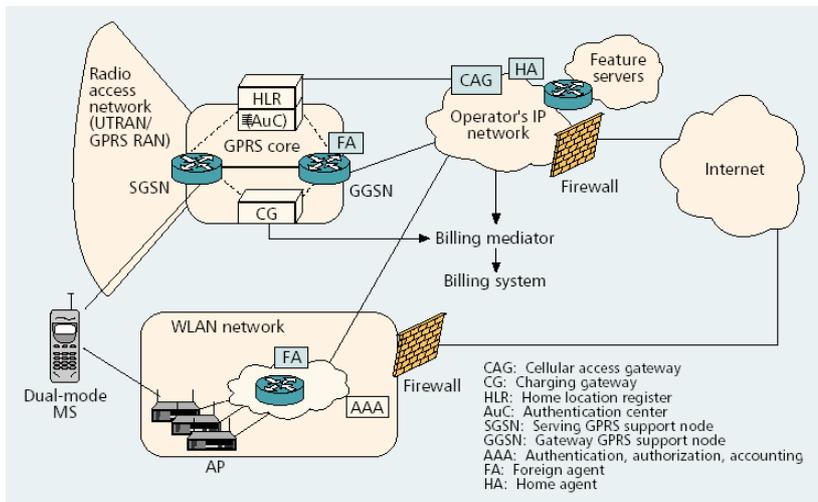


그림 3 . Motorola의 Loosely coupled integration

CAG는 WLAN 네트워크에서 GPRS 네트워크의 SIM 인증을 사용하기 위한 AAA 서버의 기능을 제공한다. Loosely Coupled 접근방식에서는 이동성 제공을 위해 Mobile IP를 사용할 수 있도록 정의하고 있다.

Ericsson은 구체적인 연동방안보다는 ABC (Always Best Connected)라는 개념을 소개하고 있다. 이 개념은 단말과 여러 많은 네트워크(WLAN, Bluetooth, 3G등)를 이용하여 사용자가 다른 환경에서도 적합한 네트워크를 사용하여 항상 어플리케이션에 접속할 수 있도록 하는 것이다. ABC는 비단 네트워크와 항상 연결되어진다는 의미뿐만 아니라 여러 네트워크에 접속할 수 있는 환경에서 대역폭, 사용하고자 하는 어플리케이션, 선호도 등을 고려하여 사용자가 현재 가용할 수 있는 네트워크 중 가장 적합한 방법을 사용하여 연결되는 것을 의미한다.

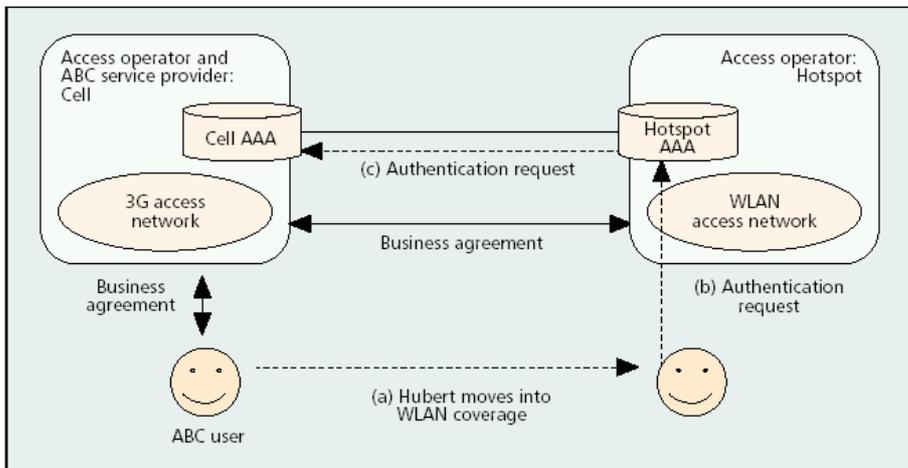


그림 4 . Ericsson의 ABC Concept

AT&T에서는 Internet Roaming system을 제시하고 있다 이것은 corporate intranet, 네 가지 형태의 무선 네트워크(office, residential, public, WLAN, cellular 데이터 네트워크), 그리고 Internet을 다룬다. 제시하는 시스템의 중심 목표는 secure IP Mobility 기능 제공과 상이한 네트워크로 이동시 연결을 유지하는 것이다.

Internet Roaming system은 corporate intranet에 위치하며 무선 네트워크와 인터넷에 접근하기 위한 모든 인증서를 저장하고 SMG의 인증서버로써의 기능과 시스템 관리자에게 각 사용자의 접근권한과 인증서를 관리할 수 있는 인터페이스를 제공하는 VSA(virtual single account), public Internet과 corporate intranet 사이에 위치하며 VSA의 도움을 받아 위치의 추적과 다른 노드들과의 패킷 중계를 하는 IPSec Gateway인 SMG(secure mobility gateway), 사용자의 컴퓨터에 설치되어 있는 IRC(Internet Roaming client)로 구성된다.

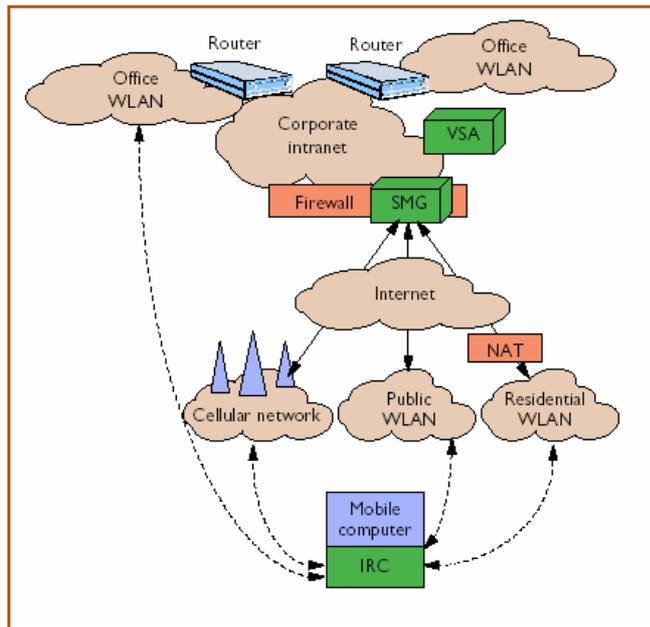


그림 5 . AT&T

Nokia에서는 GSM subscriber management와 billing mechanism을 WLAN access 기술과 결합한 OWLAN(Operator WLAN)이라고 부르는 솔루션을 정의 하고 있다. OWLAN system은 terminal이 시작한 IP 데이터 서비스에 대해 system complexity를 줄여서 최적화를 수행한다. 설치 비용과 그 복잡도를 줄이기 위해 OWLAN는 존재하고 있는 GPRS charging system을 이용한다. OWLAN 시스템의 구조는

public LAN access 네트워크와 IP backbone을 통해 통신하는 cellular operate site 로 구성되어 있다. 가장 주요한 디자인은 IP protocol framework를 사용해서 terminal에서 cellular site로 전송하기 위한 표준인 GSM subscriber authentication signaling이다. OWLAN system은 네 가지의 중요한 물리적인 요소들을 포함한다: Authentication server, access controller, access point, mobile terminal. 시스템의 구조는 GPRS 네트워크와 비슷하다. 각각의 구성요소는 GPRS 네트워크에 대하여 SGSN에 대응되는 AS (Authentication Server), GGSN에 대응되는 AC (Access Controller), BTS에 대응되는 AP (Access Point)이 존재한다. OWLAN system에서 GPRS 네트워크와 많이 다른 부분은 cellular core로 전송되는 control signal data이다. Access controller는 public또는 private 서비스에 접속하기 위해 쓰이는 user data packet을 IP backbone으로 바로 보낸다. 이 구조는 user IP traffic이 Home network로 전달 될 때 cellular core를 통하지 못하게 하여서 GPRS의 roaming complexity를 피하게 해준다. 그 결과 WLAN의 운용은 cellular core의 load를 덜어 주게 된다.

2.3. L3 핸드오프

이전 절에서 언급되어진 많은 3G-WLAN의 연동방안의 공동점은 실제적인 이동성 제공 방안이 네트워크 계층 상에서 이루어지는 메시지 교환을 통해 단말의 이동에 따른 핸드오프를 지원한다는 점이다. 다양한 네트워크의 진화과정이 All-IP 네트워크로 향하고 있으며, 이에 따라 네트워크에서 이동성 관리는 네트워크 계층에서 담당하는 것이 일반화되어 있다. 대표적인 예로, MIP (Mobile IP), HAWAII, CIP (Cellular IP), DMA (Dynamic Mobility Agent), HMIP (Hierarchical Mobile IP) 등이 있다.

2.3.1. Mobile IPv4

본 절에서는 핸드오프시 단말의 이동성을 보장할 수 있는 Mobile IP에 대해 기술한다. 현재 Mobile IP는 IPv4와 IPv6에서 적용될 수 있는 두 가지 버전이 존재하고 있으며, 본 절에서는 MIPv4에 대해 기술한다.

다음은 MIPv4의 구성요소 및 용어 정의이다.

- MN (Mobile Node)
: 이동성을 가지는 단말을 뜻한다.

- CN (Correspondant Node)
: MN로 패킷을 전송/수신하는 노드를 뜻한다.

- HN (Home Network)
: MN에게 Home Address를 할당하며, MN을 관리하는 네트워크를 뜻한다.

- FN (Foreign Network)

: MN이 현재 방문하고 있는 HN를 제외한 네트워크를 뜻한다.

- HA (Home Agent)

: MN의 HN에 있는 라우터 중 MN의 등록정보를 유지하며, MN이 외부 네트워크에 존재할 경우 MN으로의 패킷 전달을 담당하는 라우터를 뜻한다.

- FA (Foreign Agent)

: MN의 FN에 있는 라우터 중 HA와의 터널링을 통하여 MN에 패킷을 전달하는 역할을 하는 라우터

- Home Address

: HA로부터 할당받은 IPv6 주소로써 하나의 MN은 전체 네트워크에서 유일한 Home Address를 가진다.

- CoA (Care Of Address)

: MN이 외부망에 위치할 경우 사용되는 IP주소로 FA의 주소를 MN의 CoA로 사용한다.

- Registration

: MN이 외부 네트워크로 이동하였을 경우 HA에 CoA와 단말의 Home Address를 등록하는 절차로 이를 통해 HA는 CoA와 Home Address의 목록을 유지한다.

Mobile IPv4의 기본 개념은 다음과 같다.

단말은 이동시 자신의 Home Network에 존재하는 HA에 자신의 Home Address와 이동한 네트워크에서 획득한 CoA (Care of Address)를 전달하여 갱신한다. HA는 이에 대한 리스트를 유지하며, Home Network상의 라우터에 단말로의 패킷을

자신에게 포워딩하도록 알린다. 이후 HA는 수신된 패킷을 리스트에 등록된 HA와 CoA의 매핑을 통하여 해당 단말에 전송한다.

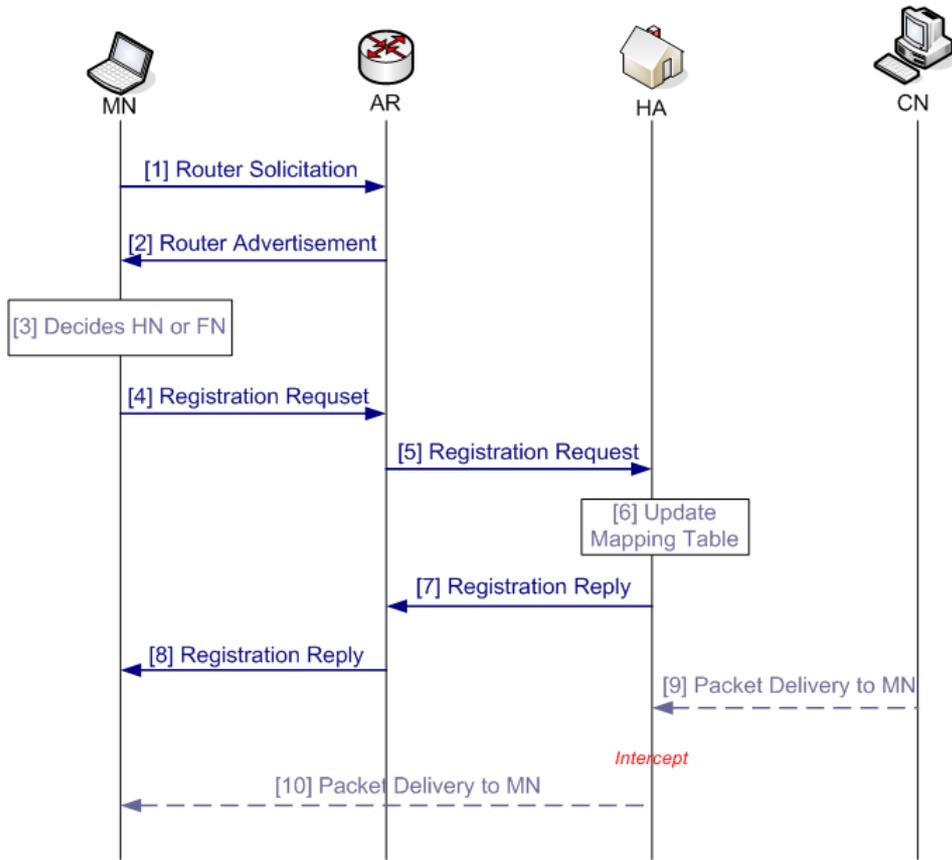


그림 6 . Mobile IPv4 CallFlow

MN는 외부 네트워크의 FA의 IP Address를 CoA로 사용한다. 이러한 CoA는 Registration Request 메시지를 통해 HA로 전달되어지고, HA은 메시지 내의 정보를 통하여 해당 단말의 Home Address와 CoA로 유지하고 있는 매핑 테이블을 갱신한다. 이러한 갱신절차를 등록(Registration)이라고 하는데, 이에 대한 응답으로 HA는 MN에 Registration Reply 메시지를 전달한다. 이후 CN이 MN의 Home

Address로 패킷을 전달하게 되면, MN의 HN으로 보내어진 이 패킷은 HA에게로 전달되어진다. HA는 패킷의 Home Address로 자신이 유지하고 있는 매핑테이블을 대조하여 해당 MN의 현재 CoA로 패킷을 전달한다. 이때 CoA의 FA와 HA간 터널이 생성되며, FA는 터널을 통해 전달된 패킷을 해당 MN으로 전달한다.

2.3.1. Fast Handoff for Mobile IPv4

본 절에서는 핸드오프시 Mobile IP의 HA까지의 등록 절차로 인해 발생하는 패킷 손실을 줄여보고자 제안된 Fast Handoff 방안에 대해 기술한다. 현재 Mobile IPv4에서 적용될 수 있는 Low Latency Handoff는 IEEE의 RFC문서에서 폐기되어 있는 상태이며, 유사한 개념으로 Mobile IPv6에서 적용될 수 있는 Fast Handoff for Mobile IPv6가 존재하고 있으나 본 논문은 전체적인 네트워크를 Mobile IPv4로 가정하고 있으므로, Fast Handoff의 개념을 적용시키도록 한다.

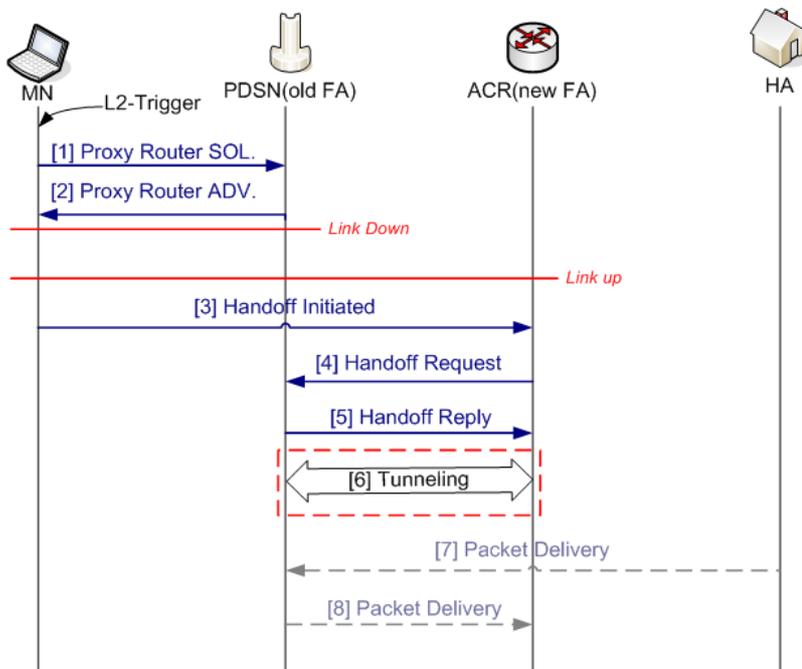


그림 7 Fast Handoff for Mobile IPv4

기본 개념은 단말이 새로운 네트워크에 접속하게 되면 Handoff Initiated 메시지를 통해 새로 접속한 FA에 핸드오프를 알리며, 터널생성을 요청한다. 이때, 메시지 내에는 단말이 이전에 접속하고 있던 FA의 주소가 포함되어야 하며, 새로운 FA는 이전 FA로 Handoff Request를 전달하고 응답으로 Handoff Reply를 받아서 터널을 생성한다. 이후, HA이 인터셉트된 패킷을 이전 FA로 보내고 이전 FA는 이 패킷을 받아 새로운 FA로 전달한다. 단말은 이후 전송되는 데이터가 존재하지 않을 때 등록과정을 수행할 수 있다. 등록과정 이후, HA는 새로운 FA로 패킷을 전달한다.

2.4 . 기존 연구 분석

상기와 같은 관련연구들은 모두 연동방안에 관해 다루고 있다. 실제로 연동에 대한 많은 연구가 이루어지고 있는 것이 사실이나 아직까지는 이동성에 관한 연구가 많이 부족한 것은 사실이다. 상기한 연구에서 역시 일반적인 Mobile IP를 사용하여 이동성을 제공하는 것이 일반화되어 있으며 제시하고 있으며, 개별적인 방법으로 이동성을 제공하도록 되어 있다. 현재 모든 네트워크가 All-IP로 진화하는 것을 미루어 볼 때, 이러한 경향은 몇몇 방안에 국한 된 것이 아니라 일반적으로 적용되어 진다고 보는 것이 타당하다. 또한, 대부분의 연구가 3G 이동통신망과 WLAN 네트워크간의 연동으로 이루어지고 있으며, 현재 3G 이동통신망과 WiBro 네트워크 간의 연동을 다룬 연구는 많지 않다.

3. L2 핸드오프 방안

3.1 L2 핸드오프 네트워크 구조

본 절에서는 L2 핸드오프 방안이 적용되어지는 네트워크 구조에 대해 기술한다. 본 논문이 제안되는 네트워크의 구조는 3G 이동통신망 중 현재 국내에 널리 퍼져 있는 3GPP2의 CDMA2000 이동 통신망과 곧 국내에서 상용화를 앞두고 있는 WiBro 네트워크 간의 연동망 구조이다.

L2 연결설정시 사용되는 L2 메시지를 사용하여 핸드오프를 수행하려는 본 방안에서는 WLAN에서의 적용은 난해한 면이 있으므로 본 논문은 WLAN을 제외한 CDMA2000과 WiBro네트워크와의 연동을 기반 구조로 적용한다. 이때, 추가로 필요한 네트워크 개체는 없다.

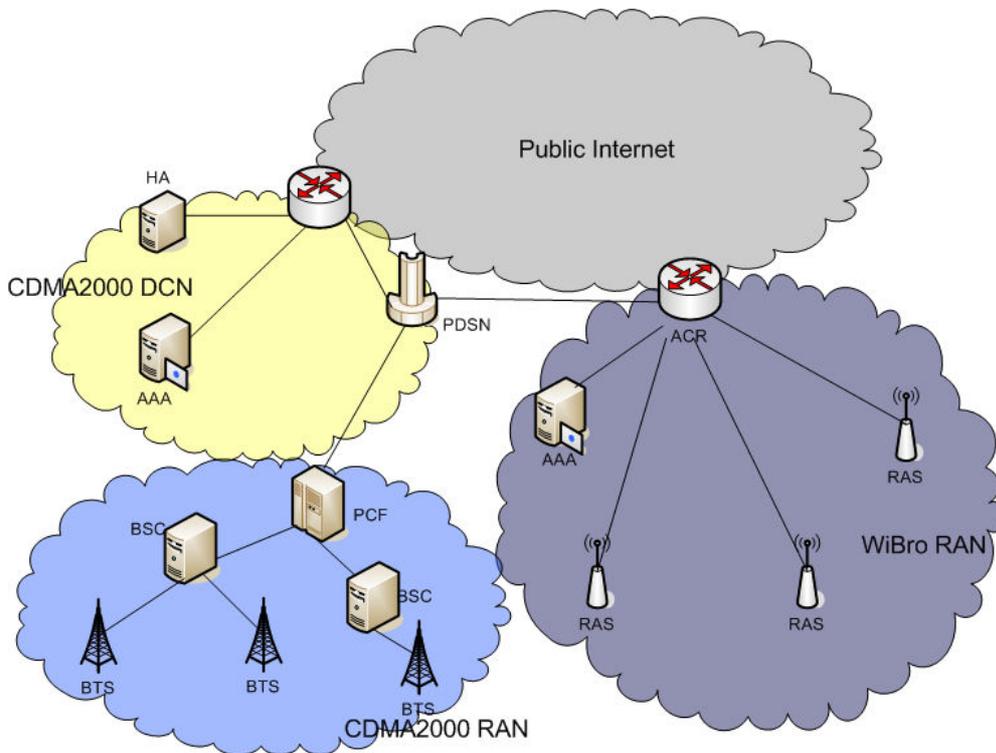


그림 8 . Heterogeneous network Architecture

3.2 L2 핸드오프 개요

본 절에서는 L2 핸드오프의 개요에 대해 기술한다. 본 논문에서 제안하는 L2 핸드오프 방안에서 각 네트워크 구성요소에 추가되는 기능은 각각 다음과 같다.

- PDSN은 ACR과 터널을 생성하기 위해 단말이 이전에 위치했던 WiBro의 Base Station ID를 해당 WiBro의 ACR의 IP Address와 매핑하기 위한 테이블을 유지해야한다. 또한 Origination message상의 핸드오프 요청을 처리할 수 있어야 한다.

- ACR은 PDSN과의 터널을 생성하기 위해 단말이 이전에 위치했던 CDMA2000의 pANID (previous Access Network Identification)를 해당 CDMA2000의 PDSN의 IP Address로 매핑하기 위한 테이블을 유지해야한다. 또한 WiBro initial Access 중 핸드오프 요청을 처리할 수 있어야 한다.

- MS은 WiBro 네트워크와 CDMA2000 이동 통신망 모두에 접속할 수 있어야 한다. 듀얼모드의 프로토콜 스택과 다중 안테나가 필수적으로 요구된다.

본 L2 핸드오프 방안은 단말이 네트워크에 L2 연결을 수행하는 동시에 핸드오프를 위한 PDSN과 ACR간의 터널을 생성하여 패킷 손실을 감소시키는 방안으로 WiBro의 ACR과 CDMA2000의 PDSN 간의 P-P 인터페이스의 사용을 통해 고속의 핸드오프를 지원하는 방안이다. 본 방안에서 사용되는 프로토콜 스택은 다음과 같다.

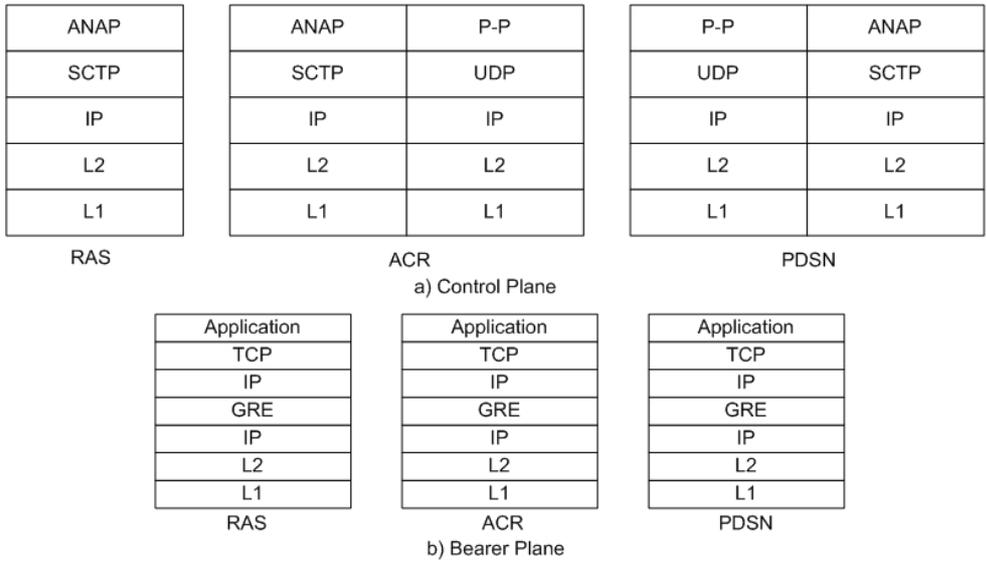


그림 9 . 제안하는 L2 핸드오프 방안의 프로토콜 스택

3.3 L2 핸드오프 동작절차

본 절에서는 제안하는 L2 핸드오프의 동작절차에 대해 기술한다.

본 논문에서는 WiBro 네트워크와 CDMA2000 이동 통신망 간의 핸드오프 시나리오를 다음과 같이 정의한다.

- 시나리오 1 : MS가 WiBro 네트워크에서 발신
- 시나리오 2 : MS가 CDMA2000 네트워크에서 발신
- 시나리오 3 : MS가 WiBro 네트워크에서 WiBro 네트워크로 이동
- 시나리오 4 : MS가 CDMA2000 네트워크에서 CDMA2000 네트워크로 이동
- 시나리오 5 : MS가 WiBro 네트워크에서 CDMA2000 네트워크로 이동
- 시나리오 6 : MS가 CDMA2000 네트워크에서 WiBro 네트워크로 이동
- 시나리오 7 : MS가 WiBro 네트워크에서 CDMA2000 네트워크로 이동 후 WiBro 네트워크로 이동
- 시나리오 8 : MS가 CDMA2000 네트워크에서 WiBro 네트워크로 이동 후 CDMA2000 네트워크로 이동

시나리오 1과 시나리오 2는 일반적인 단말의 WiBro 네트워크에서의 발신 및 CDMA2000 네트워크에서의 발신과 동일한다. 또한 시나리오 3 및 시나리오 4의 경우 역시 WiBro 네트워크와 CDMA2000 네트워크에서 이미 정의된 일반적인 핸드오

프 절차를 따른다.

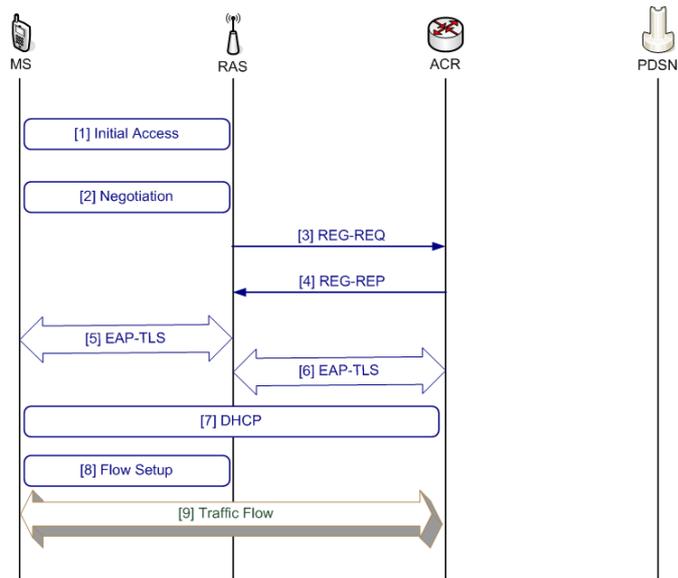


그림 10 . 시나리오 1 : WiBro 네트워크 발신

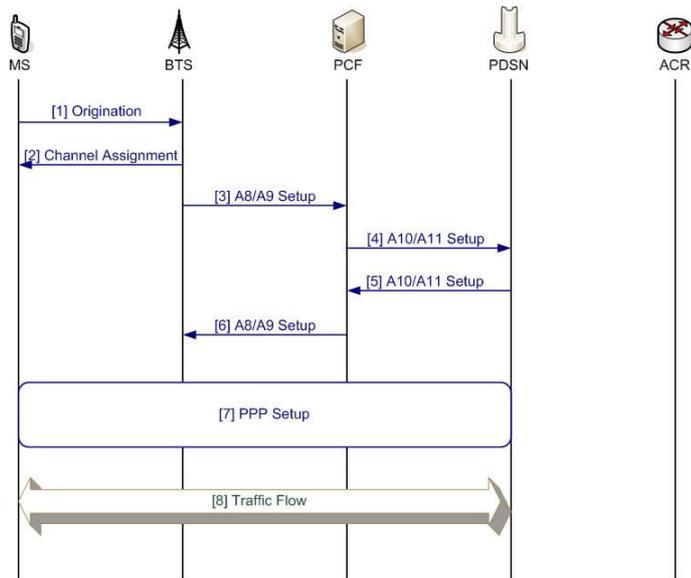


그림 11 . 시나리오 2 : CDMA2000 이동통신망 발신

위 그림은 시나리오 1과 시나리오 2의 일반적인 WiBro 네트워크와 CDMA2000 이동 통신망에서의 발신을 나타낸다.

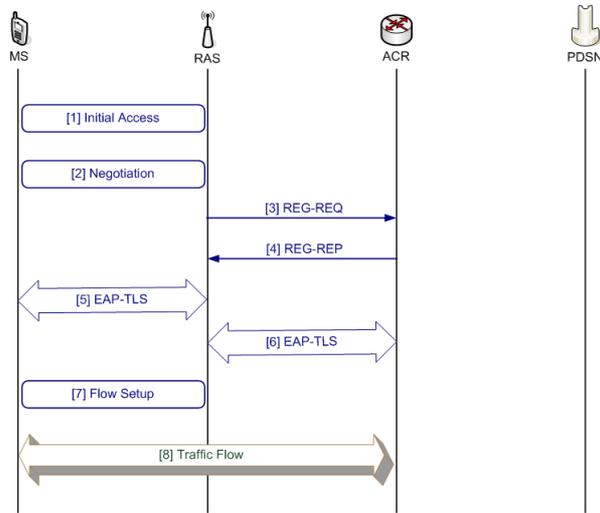


그림 12 . 시나리오 7 :
WiBro->CDMA2000->WiBro

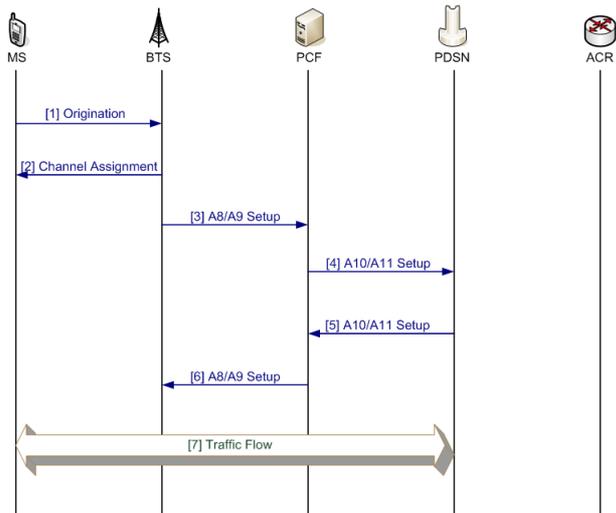


그림 13 . 시나리오 8 :
CDMA2000->WiBro->CDMA2000

WiBro 네트워크 시나리오 7과 시나리오 8은 시나리오 1과 시나리오 2에서의 DHCP 과정과 PPP Setup과정을 생략한 것을 제외하고는 동일하다. 그림 11과 그림 12는 시나리오 7과 시나리오 8의 동작절차를 나타낸다.

중심 대상으로써 고려되어야 할 대상은 시나리오 5 및 시나리오 6으로, 본 논문이 제안하는 L2 핸드오프의 동작절차를 설명하는데 적합하다. 다음은 시나리오 5의 동작절차를 나타낸다.

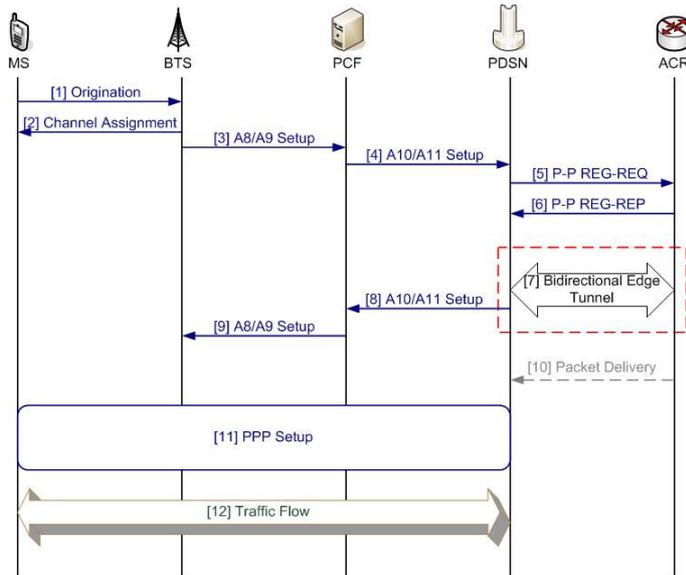


그림 14 . 시나리오 5 : WiBro-CDMA2000 Handoff

단말이 초기부팅이 되거나 새로운 망으로 접속하게 되면, 단말은 새로운 네트워크를 찾아내고 네트워크와의 연결을 하기 위한, L2 연결설정을 수행하게 된다. 이때, L2 연결설정을 위한 메시지의 교환이 이루어지게 되는데, 이러한 메시지 교환을 통해 미리 단말의 핸드오프를 알리고, L2 연결설정 중 새로운 네트워크로의 패킷 경로를 확보하여 패킷 손실과 지연을 줄이고자 하는 것이 본 논문의 요지이다.

시나리오 5에서 보다시피 MS가 CDMA2000 네트워크로 이동하게 되면, 최초로

MS는 BTS로 Origination 메시지를 전송하게 된다. Origination 메시지는 CDMA2000 표준 규격에 제시된 L2 메시지로, Service Option 필드를 설정하고 Service Option의 가용한 값을 사용함으로써, 다른 망으로부터의, 즉, WiBro 네트워크로부터의 발신임을 알 수 있도록 하며, 이를 통해 네트워크 구성 요소 간의 터널을 생성하도록 한다. 양방향 터널을 생성해야 하는 구성요소는 Origination 메시지를 수신 받은 CDMA2000 이동 통신망의 PDSN과 WiBro 네트워크의 ACR이다. 이때, 터널 생성을 요청하는 PDSN은 ACR로의 터널 생성 요청 메시지를 전달해야 하는데, 이를 위해서는 PDSN은 ACR에 대한 주소를 획득해야 한다. 이러한 주소 획득 방법으로는 CDMA2000에서 사용되는 PREV_SID (Previous System Identification), PREV_NID (Previous Network Identification), PREV_PZID (Previous PacketZone Identification)를 WiBro 네트워크의 Base Station ID와 매핑시키는 방법을 사용한다. WiBro 네트워크에서는 MS가 초기에 Downlink에 대한 정보를 획득하기 위해 DCD(Downlink Channel Description) 메시지를 사용하며 DL-MAP (Downlink MAP) 내에 48비트의 Base Station ID가 정의되어 있다. 또한, CDMA2000 이동 통신망에서는 15비트의 System Identification과 16비트의 Network Identification, 8비트의 Packet Zone Identification을 정의하고 있다. WiBro 네트워크의 48비트의 Base Station ID를 CDMA2000 이동 통신망의 PREV_SID, PREV_NID, PREV_PZID에 매핑하고 남은 비트를 RAS의 식별 ID로 매핑시킨다면, PDSN과 ACR 내의 IP Address와의 매핑을 통하여 상대에 대한 정보를 취득할 수 있다.

PDSN은 터널 생성을 요청하는 메시지를 ACR에 보내게 되는데, 이때 Origination 메시지로부터 취득한 PREV_SID, PREV_NID, PREV_PZID와 자신의 주소를 포함하여 보낸다. 이후 L2 연결설정이 진행되는 중에 PDSN과 ACR은 터널을 생성하고 MS는 등록을 수행하며, 패킷은 ACR에서 PDSN으로, PDSN으로부터 MS로 전달되는 경로를 가진다.

시나리오 6은 시나리오 5와의 반대의 경우로 MS가 CDMA2000 이동 통신망에서 WiBro 네트워크로 이동을 수행했을 경우이다. 이 경우도 WiBro 네트워크와의 L2 연결 협상과정에서 ACR과 PDSN의 터널을 생성하는데, 시나리오 5와 동일하게 PREV_ANID (previous Access Network Identification)를 WiBro 네트워크에서 정의된 REG-REQ 메시지에 포함하여, PDSN의 정보를 얻고 통신하게 된다. 이때, PREV_ANID와 WiBro 네트워크의 ACR 및 CDMA2000 이동 통신망의 PDSN의 주소와의 매핑 테이블은 정의하고 있지 않으나 미리 배치 되어 있는 것으로 가정한다.

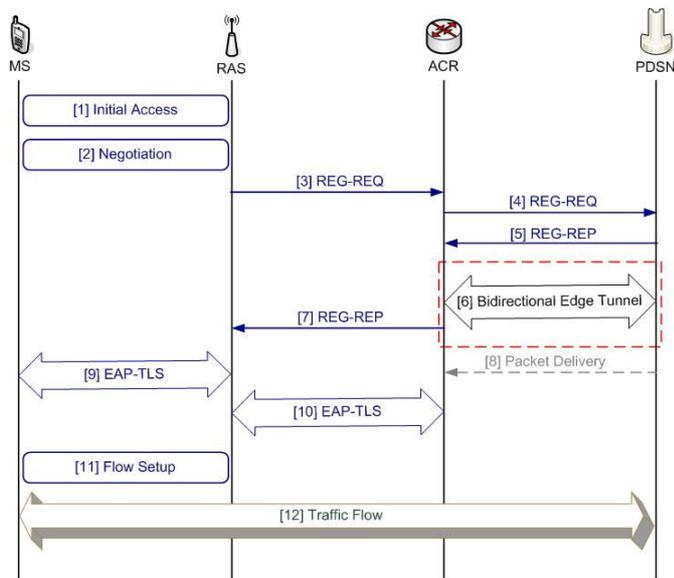


그림 15 . 시나리오 6 : CDMA2000-WiBro Handoff

4. 성능 분석

본 방안에 대한 성능 분석은 단말이 계속 이동한다며 이동시 다른 망으로의 접속을 시도한다는 가정하에 이루어지며, 시간에 따른 패킷손실률 및 딜레이에 대해 나타낸다. 비교 대상은 대표적인 L3 핸드오프 방안과 제안하는 L2 핸드오프 방안으로 한다.

4.1. 시뮬레이션 환경

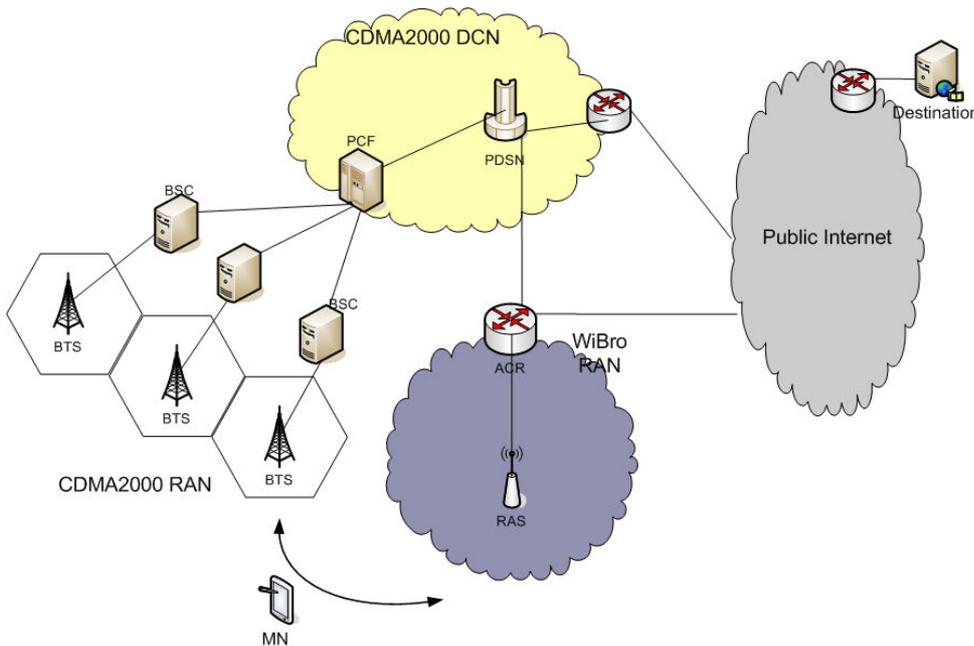


그림 16 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안한 L2 핸드오프 방안의 성능 검증을 위한 시뮬레이션 환경은 그림과 같으며, 단말은 WiBro 네트워크와 CDMA2000 이동통신망을 위해 각각의 네트워크 인터페이스와 Dual Mode Stack을 지원하고, WiBro의 RAN (Radio Access Network)과 CDMA2000 이동통신망의 RAN은 서로 인접된 셀이 존재하며, 단말은 계속 이동한다고 가정한다.

4.2. 시뮬레이션 모델

본 절에서는 다음과 같이 기호를 정의한다.

- $D_{L2Handoff}$: 제안하는 L2 핸드오프의 지연시간
- $D_{L3Handoff}$: 기존 L3 핸드오프의 지연시간
- T_{scan} : MN이 새로운 네트워크를 찾는 소요시간
- T_{Signal} : 새로운 네트워크에 시그널링 메시지가 전송/처리되는 시간
- T_{L3Proc} : L3 터널을 위한 절차 소요시간
- d_{c1} : MN-BTS간 소요시간
- d_{w1} : MN-RAS간 소요시간
- d_{c2} : BTS-BSC간 소요시간
- d_{c3} : BSC-PCF간 소요시간
- d_{c4} : PCF-PDSN간 소요시간
- d_{w2} : RAS-ACR간 소요시간
- d_{c5} : PDSN-HA간 소요시간
- d_{w3} : ACR-HA간 소요시간
- d_{init} : WiBro Ranging 소요시간
- d_{neg} : WiBro 단말능력 협상 소요시간
- d_{flow} : WiBro flow setup 소요시간
- d_{ppp} : CDMA2000 PPP setup 시간
- d_T : ACR-PDSN간 소요시간

제안하는 L2 핸드오프 방안은 다음과 같은 지연시간을 가진다.

$$D_{L2Handoff} = T_{Scan} + T_{Signal} \quad (\text{L2 핸드오프})$$

T_{Scan} 은 단말이 해당 네트워크의 링크를 검색하는 소요시간이며, T_{Signal} 은 네트워크 상에서 시그널링에 소요되는 시간을 뜻한다.

그러나, 본 논문에서 제안하는 핸드오프 방안은 MN이 중첩된 네트워크에서 두 개의 링크에 모두 접속되어 있는 소프트 핸드오프가 아니라 연결이 끊기고 접속하는 (break-after-make) 형태의 하드 핸드오프를 고려하고 있으므로 실질적으로 단말이 이전 링크와 해제를 하는 시간 $T_{Release}$ 를 고려하는 것은 의미가 없다.

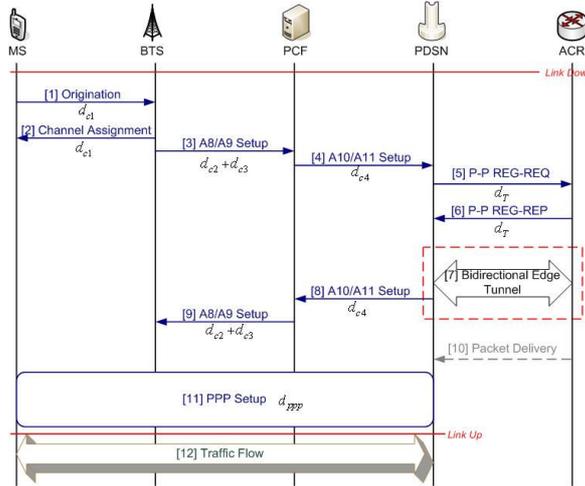


그림 17 WiBro-CDMA2000 Handoff (Proposed Scheme)

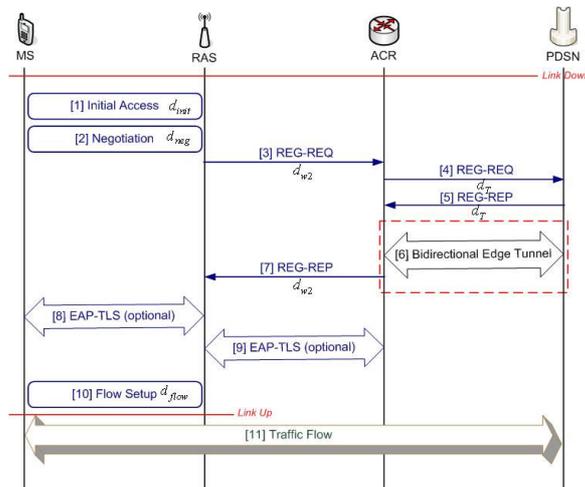


그림 18 CDMA2000-WiBro Handoff (Proposed Scheme)

또한, T_{Signal} 는 그림과 같이 각 시그널링이 이루어지는 구간간의 시간을 통해 다음과 같이 계산되어진다.

WiBro 네트워크에서 CDMA2000 이동통신망으로 이동시,

$$T_{Signal} = 2(d_{c1} + d_{c2} + d_{c3} + d_{c4} + d_T) + d_{ppp}$$

CDMA2000 이동통신망에서 WiBro 네트워크로 이동시,

$$T_{Signal} = d_{init} + d_{neg} + 2(d_{w2} + d_T) + d_{flow}$$

또한, 기존의 L3 핸드오프방안은 다음과 같은 동작절차를 보인다.

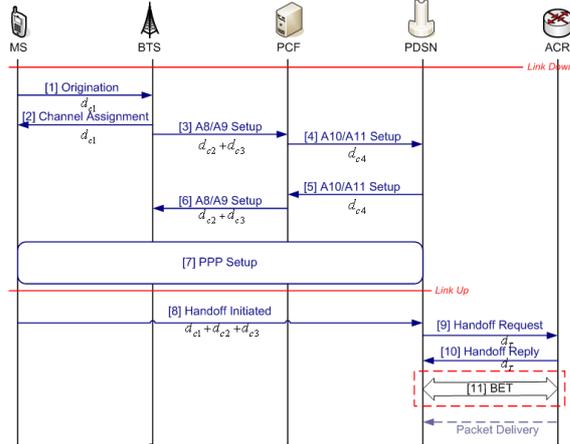


그림 19 WiBro-CDMA2000 L3 Handoff

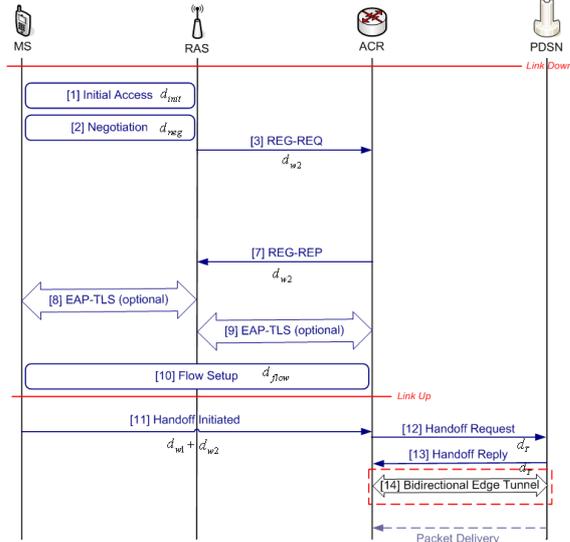


그림 20 CDMA2000-WiBro L3 Handoff

기존의 L3 핸드오프 방안에 대한 핸드오프 구간은 다음과 같은 식으로 표현 될 수 있다.

$$D_{L3Handoff} = T_{Scan} + T_{Signal} + T_{L3Proc} \quad (\text{L3 핸드오프})$$

기존의 L3 핸드오프 방안은 단말에 이동성을 제공하기 위한 Mobile IP를 사용하도록 하는데, 이는 2.3절의 방안을 따라 동작하며, T_{L3Proc} 의 시간이 소요된다. T_{L3Proc} 은 다음과 같이 계산된다.

WiBro 네트워크에서 CDMA2000 이동통신망으로 이동시,

$$T_{L3Proc} = d_{e1} + d_{e2} + d_{e3} + 2d_T$$

CDMA2000이동통신망에서 WiBro네트워크로 이동시,

$$T_{L3Proc} = d_{w1} + d_{w2} + 2d_T$$

실제적으로 $D_{L2Handoff}$ 에 따른 패킷 손실 구간은 핸드오프 구간과 일치하지 않는다. 패킷 손실 구간은 패킷이 PDSN이나 ACR에서 버퍼링된다는 것을 감안하면, T_{Signal} 에서 d_T 구간까지 존재하게 된다.

MN이 새로운 네트워크에 시그널링 메시지를 전달함으로써 ACR과 PDSN간 양방향 터널이 생성되는 d_T 시간까지의 구간부터 버퍼링을 시작하게 되고 이때까지의 시간이 패킷 손실이 발생하는 구간으로 존재한다.

이에 반해, 기존의 L3 핸드오프 방안에서는 제안된 방안에서의 핸드오프 지연 시간을 포함하여, L3 터널 절차를 모두 마치는 T_{L3Proc} 구간까지 패킷 손실 구간으로 나타난다. 이는 L3 핸드오프 방안에서는 MN이 L3 터널 절차 이전에 단말의 핸드오프에 대해 알 수 없기 때문이다. 현재 Mobile IP기반의 이동성 제공시 지연과 패킷 손실을 감소하기 위해 표준화 및 여러 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 WiBro 네트워크와 CDMA2000 이동통신망과 같은 이기종만간의 연구는 미약한 실

정이다.

본 논문의 시뮬레이션은 다음과 같은 시나리오를 따른다.

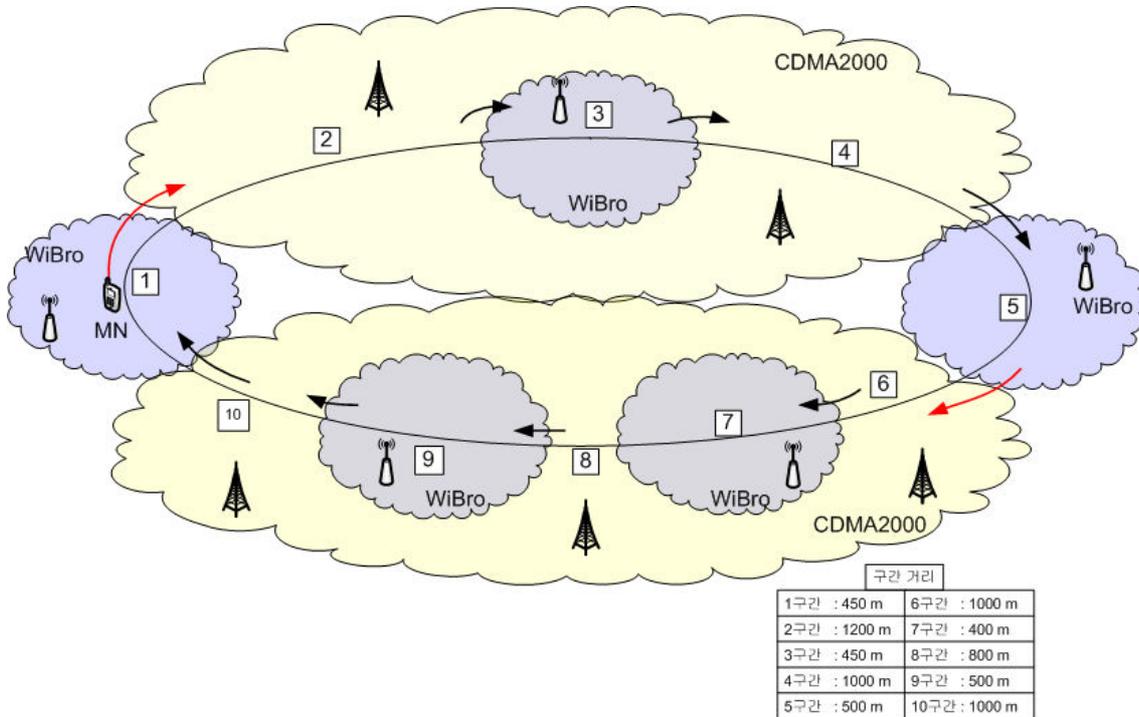


그림 21 시뮬레이션 시나리오

각 WiBro, CDMA2000, WiBro에서 CDMA2000로의 이동, CDMA2000에서 WiBro로의 이동은 각각 구간의 거리와 속도에 관련되어 T_{WiBro} , $T_{CDMA2000}$, $T_{WiBro \rightarrow CDMA2000}$, $T_{CDMA2000 \rightarrow WiBro}$ 의 소요시간을 갖는다.

제시하는 시나리오에 따르면, 초기 MN은 WiBro영역에서 이동을 시작한다. 이때 CDMA2000 영역에 중첩되지 않고 독립적으로 존재하며, 이러한 구간은 시나리오상의 구간 1과 구간 5이다. MN이 이동하여 구간 1-2간 핸드오프가 수행되어지며, 이 경우는 3장에서 제안하고 있는 시나리오 5의 형태를 취하게 된다. MN은 구간 2-4, 구간 6-8, 구간 8-10에서는 3장의 시나리오 7 및 8의 형태로 PPP 설정과 EAP-TLS절차가 생략되는 핸드오프 형태를 띄며, 구간 4-5, 구간 10-1에서는 3장

의 시나리오 6의 절차를 취한다.

본 시뮬레이션은 실시간 스트리밍 서비스와 웹서핑 등의 서비스, 두 가지의 트래픽 모델을 가지고 수행된다. 실시간 스트리밍 서비스는 일정 간격($T_{interval}$)을 가지고 동일한 크기의 패킷을 전송하는 트래픽 모델을 상정하며, 웹 서비스는 임의의 시간 간격(T_{web})으로 일정한 크기로 패킷을 전송받는 형태의 트래픽 모델로 상정한 다.

다음은 본 시뮬레이션의 매개변수 값을 나타낸 표이다.

표 1 시뮬레이션 매개변수

Parameter	Value	Remarks
d_{c1}	100ms	MS to BTS
d_{c2}	5ms	BTS to BSC
d_{c3}	2ms	BSC to PCF
d_{c4}	2ms	PCF to PDSN
d_{w1}	50ms	MN to RAS
d_{w2}	5ms	RAS to ACR
d_T	2ms	ACR-PDSN
d_{init}	72ms	WiBro Initial Access
d_{neg}	16 ms	WiBro negotiation
d_{flow}	39 ms	WiBro flow setup
d_{ppp}	3015 ms	CDMA ppp setup time

Parameter	Value
T_{WiBro}	Variable (속도 및 거리로부터 얻어지는 값)
$T_{CDMA2000}$	Variable (속도 및 거리로부터 얻어지는 값)
T_{web}	5s (exponential distribution)
$T_{interval}$	20 ms (streaming)

4.3. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 일반적으로 사용자들이 많이 사용하고 있는 Realtime Streaming 서비스와 Web 서핑 서비스 환경을 상정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 제안하고 있는 L2 핸드오프방안과 이미 존재하고 있는 L3 핸드오프방안중 가장 대표적이라고 할 수 있는 IPv4 네트워크 상에서의 Mobile IPv4의 패킷손실과 지연 시간을 감소시키기 위해 제안된 Low Latency Handoff의 Post Registration과 유사한 방안과의 비교로 수행되었다. Mobile IPv4를 선택한 이유는 IPv6 네트워크가 현재 널리 보급된 상황이 아니며, 현존하는 CDMA2000 이동통신망과 새로 배치될 WiBro 역시 기존망과의 연동을 위해서 IPv4의 네트워크로 배치될 것으로 보기 때문이다.

그림 22부터 그림 30에서 보이는 결과에서 나타난 바와 같이 제안된 L2 핸드오프 방안은 전체적으로 우수한 성능을 보이고 있다. 그림 22부터 그림 26까지는 각 결과는 각각 Web 서핑 서비스로 상정된 버스트한 패킷 특성을 갖는 Interactive service와 CBR(constant bit rate)의 패킷 특성을 갖는 Realtime service에 대하여 속도의 변화에 따른 패킷 손실률에 대한 값을 도시화 한 것이며, 그림 27부터 그림 30은 그림 22부터 그림 26과 동일한 두 서비스에 대하여 각 핸드오프 과정중의 평균 손실 패킷수를 도시화하여 나타낸다.

그림 22부터 그림 26 에서 보이는 것과 같이 고속에 있어서의 패킷 손실률은 제안한 L2 핸드오프 방안과 L3 핸드오프 방안과 큰 차이를 보인다. 특이할만한 점은 보행속도로 가정한 저속에서도 제안하는 L2 핸드오프 방안과 L3 핸드오프 방안간의 차이가 존재하고 있다는 점인데, 이는 패킷 손실 구간을 패킷이 새로운 네트워크로 전달되어지며, 새로운 네트워크에서 버퍼링이 이루어지는 순간까지로 정의하였을 경우, 제안하는 L2 핸드오프 방안은 L2 연결설정과정중 L2 메시지가 네트워크로 전달됨에 따라 바로 이전 네트워크와의 터널링을 시작되고 L2 연결설정이 완료되는 동안 이전 네트워크와 새로운 네트워크간의 터널이 생성되어 새로운 네트워크로 패킷이 전달되어 버퍼링이 시작되고, L3 핸드오프 방안은 패킷 손실 감소를 위한 방안을 사용한다 하더라도 IP계층의 메시지를 주고 받음으로써 절차가 이루어지

게 되므로 두 방안의 차는 항상 존재하게 된다. 따라서 L3 방안과 비교할 때, 제안하는 L2 핸드오프 방안은 패킷 손실률과 이에 따른 핸드오프 성능이 향상되게 된다.

그림 27부터 그림 30은 매 핸드오프시에 발생하는 손실 패킷의 수를 평균화한 값으로, 버스트한 패킷 특성을 갖는 Interactive Service에서는 약간의 변동폭이 존재하지만, Realtime Service에서는 항상 일정한 폭이 유지되는 것을 알 수 있다. 이는 기존의 방안이 L2 연결설정중의 발생하는 패킷손실 외에도 추가적인 L3 방안의 동작절차중 발생하는 패킷손실이 추가된다는 것을 나타내고 있다.

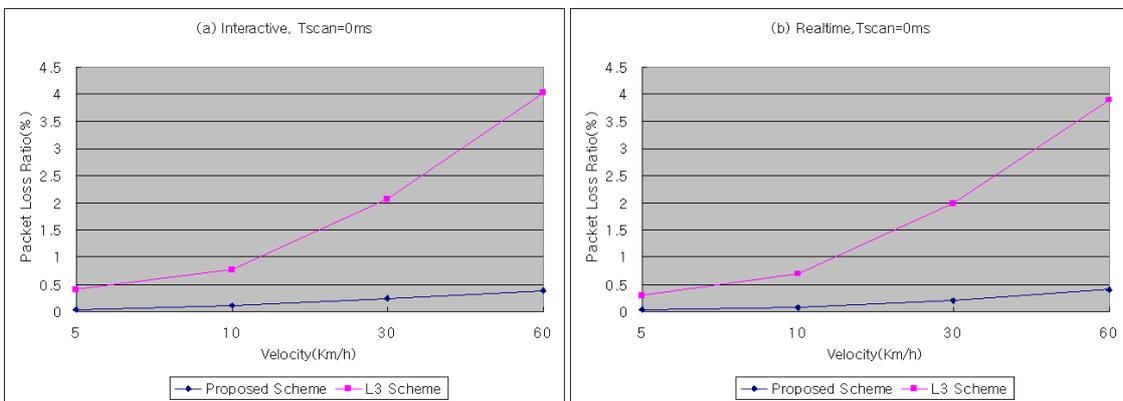


그림 22 Packet Loss Ratio(%), Tscan = 0ms

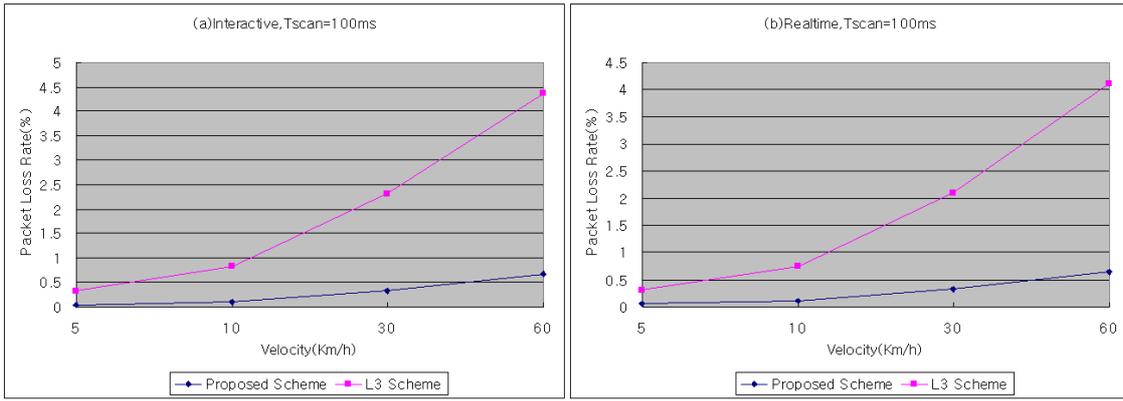


그림 23 Packet Loss Ratio(%), Tscan = 100ms

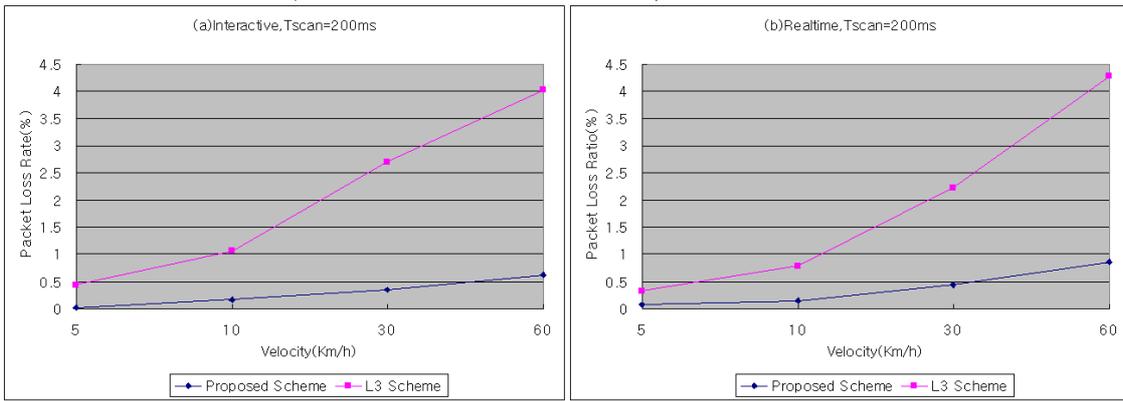


그림 24 Packet Loss Ratio(%), Tscan = 200ms

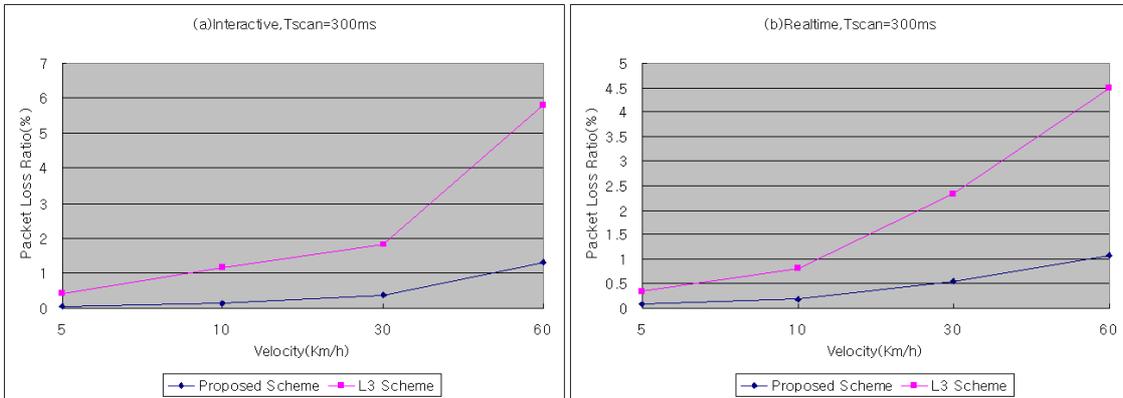


그림 25 Packet Loss Ratio(%), Tscan = 300ms

5. 결론

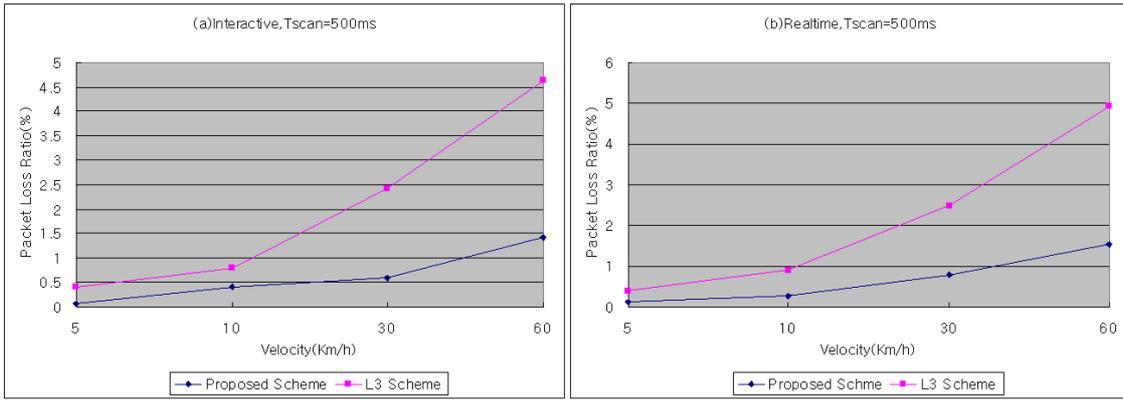


그림 26 Packet Loss Ratio(%), Tscan = 500ms

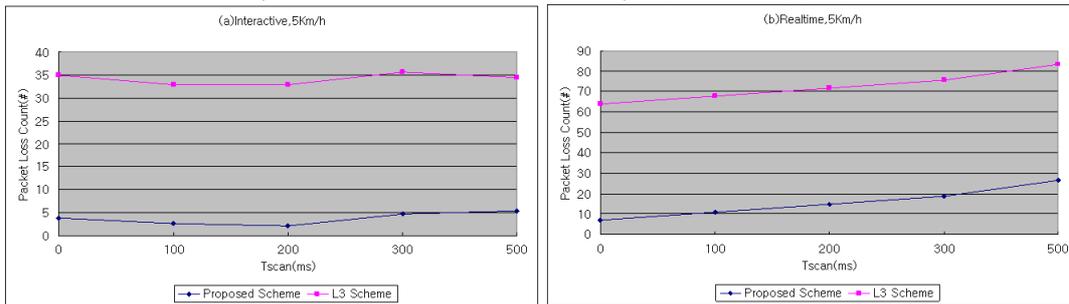


그림 27 Packet Loss Count(#), 5Km/h

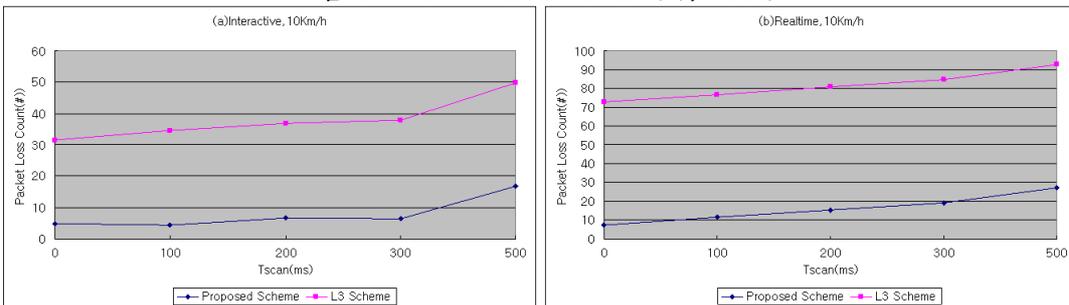


그림 28 Packet Loss Count(#), 10Km/h

본 논문에서는 차세대 이동 통신으로 곧 상용화를 앞둔 WiBro 네트워크와 CDMA2000 이동 통신망 간의 연동시 낮은 지연을 위한 L2 핸드오프 방안을 제시하였다. 제안하는 L2 핸드오프 방안을 위하여, WiBro 네트워크의 ACR과 CDMA2000 이동 통신망의 PDSN을 재정의하고, 전체적인 동작절차 및 고려사항에

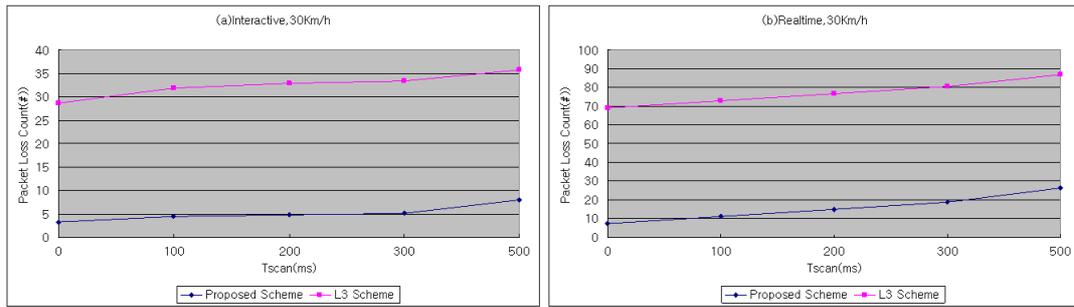


그림 29 Packet Loss Count(#), 30Km/h

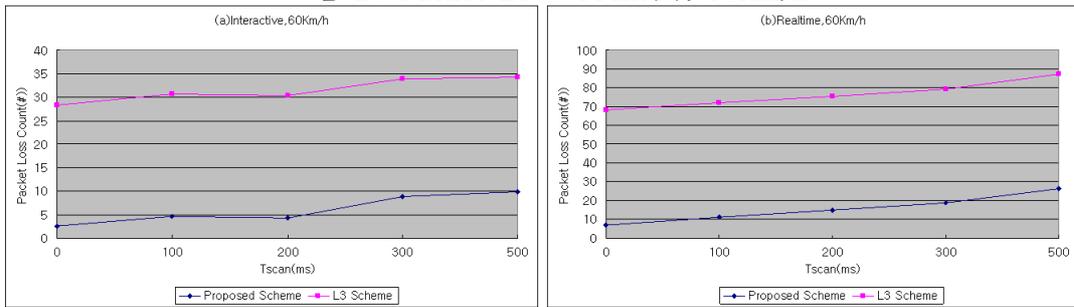


그림 30 Packet Loss Count(#), 60Km/h

대해서 기술하였다.

본 논문에서 제안한 L2 핸드오프 방안은 L2 메시지를 사용함으로써 추가되는 메시지가 존재하지 않으며, 기존의 L3 핸드오프 방안에 비하여 L3 메시지의 시그널링으로 인한 고속이동시의 패킷손실을 감소시킨다. 그러나 본 방안을 적용시키기 위한 단말과 네트워크 개체에 대한 기능적인 추가부분은 불가피하며, 별도의 네트워크 개체나 수정을 통해 WLAN을 포함하는 연구가 더해진다면, 더 유용해질 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- [1] 3GPP2 C.S0001-D Version 1.0, February 2003, Introduction to cdma2000 Spread Spectrum System Release D
- [2] 1xEV:1xEvolution IS-856 TIA/EIA Standard Airlink Overview, Qualcomm Inc. November 7, 2001
- [3] cdma2000 Wireless Internet Optimization, Qualcomm
- [4] 3GPP TR 22.934 (2003-09) Feasibility study on 3GPP system to Wireless Local Area Network(WLAN) interworking (Release 6)
- [5] All IP 망에서의 IP 기반 RAN 기술, 연철흠, 임병근, 최진성, 이완연, LG전자
- [6] 3GPP2 A.R0003, Abis Interface Technical Report for cdma2000 Spread Spectrum
- [7] 3GPP2 A.Soo13-A version 2.0.1, July 2003, Interoperability Specification (IOS) for cdma2000 Access Network Interface-Part 3 Features

- [8] IEEE 802.1x, Port-Based Network Access Control, 2001
- [9] 3GPP TS 25.401, UTRAN Overall Description
- [10] IEEE Internet Computing, March-April 2003, Integrating Wireless LAN and Cellular Data for the Enterprise, Hui Luo, Zhimei jiang, Byoung-Jo Kim, N.K. Shankaranarayanan, and Paul Henry, AT&T Labs-Research
- [11] IEEE Wireless Communications, April 2002, WCDMA and WLAN for 3G and Beyond, Harri Honkasalo, Kari Pehkonen, Markku T. Niemi, Anne T. Leino, Nokia
- [12] IEEE Wireless Communications, February 2003, Always Best Connected, Eva Gustafsson and Annika Jonsson, Ericsson Research
- [13] IEEE 802.11 WLAN, <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- [14] IEEE std. 802.16, 2001, IEEE Standard for Local and Metroplitan Area Network Part 16 : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System
- [15] IEEE Communication Magazine April 2002, Broadband wireless access solution based on OFDM access in IEEE 802.16, Koffman, L., Roman V.
- [16] IETF RFC 2284, PPP Extensible Authentication Protocol(EAP)
- [17] IETF RFC 2865, Remote Authentication Dial In User Service(RADIUS)
- [18] IETF RFC 2246, The TLS Protocol Version 1.0

[19] IETF RFC 1492, An Access Control Protocol, Sometimes Called TACTICS

[20] 3GPP TR 23.934 (2002-08) 3GPP system to Wireless Local Area Network(WLAN) Interworking

[21] 3GPP2 P.S0001-B version 1.0.0, October 25, 2002, Wireless IP Network Standard

[22] Richard van nee, Ramjee Prasad, OFDM for wireless multimedia communication, Artech House, 2000

[23] 3GPP TR 25.892, Feasibility study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) for UTRAN enhancement

[24] IEEE Wireless Communication, October 2002, WLAN-GPRS Integration For Next-Generation Mobile Data Networks, Apostolis K. Salkintzis, Chad Fors, and Rajesh Pazhyannur, Motorola

[25] IEEE Communications Magazine, November 2003, Design and Implementaion of a WLAN/CDMA2000 Interworking Architecture, Milind M. Buddhikot, Girish Chandranmenon, Seungjae Han, Yui-Wah Lee, Scott Miller, and Luca Salgarelli, Bell Laboratryies, Lucent Technologies

[26] Architects Of An Internet World, Public Wireless LAN for Mobile Operators - WLAN beyond the enterprise, Philippe Laine, Alcatel