

## 와이브로 망에서 지수평활법을 이용한 핸드오버 지연 단축 기법

### Low-Latency Handover Scheme Using Exponential Smoothing Method in WiBro Networks

표 세 환\*                      최 용 훈\*\*  
(Se-Hwan Pyo)                (Yong-Hoon Choi)

#### 요 약

초고속 인터넷 서비스와 이동 통신의 발달, 그리고 Mobile Device 보급의 증가는 유비쿼터스(Ubiquitous) 기술의 발전을 촉진시키는 계기가 되었다. 와이브로(WiBro, Wireless Broadband Internet) 시스템은 이동 중에도 무선 랜(Wireless LAN)보다 넓은 서비스 지원 영역에서 고속의 멀티미디어 서비스를 제공 받을 수 있는 MBWA(Mobile Broadband Wireless Access) 기술이며, IP 기반의 백본 망(Backbone Network)로 구성된다. 이와 같은 무선 이동 통신 환경에서는 와이브로 시스템의 Layer 2(MAC Layer, Medium Access Control Layer)에서의 이동성 지원 기술뿐만 아니라 Layer 3(Network Layer)에서의 이동성 지원 프로토콜이 필요하며, 사용자가 이동 중에도 원활한 서비스를 제공받기 위해서는 핸드오버(Handover)의 지연 시간을 최소화 시켜야 한다. 따라서 본 논문에서는 IPv4 기반의 와이브로 망에서의 핸드오버 지연 단축 기법을 제안한다. 제안된 방법은 이동 단말(MS, Mobile Station)이 수신하는 신호 강도의 예측 값을 바탕으로 크로스 레이어(Cross-Layer) 기반의 고속 핸드오버 기법(Fast Handover Scheme)을 적용하며, 지수평활법(Exponential Smoothing Method)을 사용하여 예측 값을 계산한다. 모의 실험을 통해 기존의 방법과 제안된 방법을 비교, 분석하여 핸드오버 지연 시간의 단축을 증명한다.

#### Abstract

Development of high-speed Internet services and the increased supply of mobile devices have become the key factor for the acceleration of ubiquitous technology. WiBro system, formed with IP backbone network, is a MBWA technology which provides high-speed multimedia service in a possibly broader coverage than Wireless LAN can offer. Wireless telecommunication environment needs not only mobility support in Layer 2 but also mobility management protocol in Layer 3 and has to minimize handover latency to provide seamless mobile services. In this paper, we propose a fast cross-layer handover scheme based on signal strength prediction in WiBro environment. The signal strength is measured at regular intervals and future value of the strength is predicted by Exponential Smoothing Method. With the help of the prediction, layer-3 handover activities are able to occur prior to layer-2 handover, and therefore, total handover latency is reduced. Simulation results demonstrate that the proposed scheme predicts that future signal level accurately and reduces the total handover latency.

**Key words:** Handover latency, prediction, cross-layer, exponential smoothing method

† 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2009-F-042-01, 내장형 안테나 어레이 기반의 차세대 차량용 이동통신 시스템 기술 연구]. 이 논문은 2008년도 광운대학교 교내 학술 연구비 지원에 의해 연구되었음.

\* 주저자 : LG전자 MC사업부 연구원

\*\* 공저자 : 광운대학교 정보계어공학과 교수(교신저자)

† 논문접수일 : 2009년 3월 9일

† 논문심사일 : 2009년 4월 20일

† 게재확정일 : 2009년 4월 21일

## I. 서 론

무선 랜 서비스는 고속 인터넷의 급속한 보급과 비견될 정도로 인터넷 통신 방식의 혁명을 가져 왔다. 하지만 최근 좁은 서비스 지원 영역, 이동 중 서비스 지원 불가 등과 같은 한계가 부각되며, 사용자의 만족도를 높일 수 있는 유비쿼터스 환경 구축이 요구되는 실정이다. IEEE 802.16 규격은 이러한 무선 랜 기술에 비하여 보다 넓은 서비스 지원 영역, 이동 중의 서비스 지원 등과 같은 장점을 가지고 있는 새로운 광대역 무선 접속 (BWA, Broadband Wireless Access)을 위한 프로토콜이다. IEEE 802.16 규격은 한국 정보통신 기술 협회 (TTA, Telecommunication Technology Association)의 전파 방송 기술 위원회 산하의 2.3GHz 휴대 인터넷 프로젝트 그룹에서 와이브로라는 이름으로 IEEE 802.16-2004 [1]와 IEEE 802.16e-2005 [2]에 호환되는 국내 표준을 발표하였으며, KT를 주축으로 서비스가 상용화 되었다.

와이브로는 60km/h 이상의 속도에서 이동성을 보장하는 이동 단말에게 1Mbps 이상의 하향 링크 (DL, Down Link) 대역폭과 128Kbps 이상의 상향 링크 (UL, Up Link) 대역폭 지원을 기본으로 하며, 끊김 없는 초고속 무선 인터넷 서비스를 제공할 수 있도록 설계되었다 [3]. 이러한 이동성 보장은 와이브로의 핵심 기술 중 하나이며, 이를 위해 와이브로 표준에서는 기지국 간 이동 시 단말과 기지국 간의 무선 인터페이스가 변경될 때 수행되는 Layer 2 핸드오버 절차가 기술되어 있다 [4]. 그러나 IP 기반의 와이브로 환경에서 이동 중에도 초고속 인터넷 서비스를 제공하기 위해서는 Layer 2 핸드오버 외에도 서브넷(Subnet) 간 단말의 이동에 따른 새로운 IP 주소 할당 및 홈 네트워크 등록 절차를 위한 Layer 3 핸드오버 절차가 필요하다. Mobile IP 기술은 기존 IPv4 프로토콜의 이동성 지원 한계를 극복하기 위해 제안된 방법이며, Layer 3 핸드오버 절차에 해당된다 [5].

와이브로 핸드오버는 기존의 셀룰러 (Cellular) 환경과는 달리 하드 핸드오버 (Hard Handover: Break-before-make HO) 방식이 적용되기 때문에 단말의 이동에 따른 끊김 현상이 발생하며, 이동 단말의

이동 중에도 실시간 서비스를 원활하게 제공받을 수 있도록 지연 시간을 50ms 내외로 유지하는 것을 목표로 개발되었다 [6]. 핸드오버의 지연 시간은 인접 셀 탐색 (Neighbor cell scanning), 핸드오버 메시지 교환 그리고 네트워크 재진입 (Network Re-entry) 절차에 의해 결정된다. 핸드오버의 지연 시간을 줄이기 위해 인접 셀 탐색은 핸드오버 시작 이전에 수행되며, 네트워크 재진입 절차는 핸드오버 최적화 절차에 의해 줄어든다 [2]. 하지만 Layer 3 핸드오버 절차에 해당되는 Mobile IP의 지연 시간은 상대적으로 Layer 2 핸드오버의 지연 시간보다 길다. 또한 Layer 2와 Layer 3의 핸드오버가 확연히 구분되어 순차적으로 진행되는 기존 방식은 실시간 서비스 제공에 부적합하다. 따라서 IP 기반의 백본 네트워크로 구성되는 와이브로 시스템에서 서비스의 품질을 보장하기 위해서는 핸드오버에 따른 지연 시간을 최소화해야 하며, 이에 대한 해결 방안이 필요하다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 다양한 방법들이 연구되고 있다. IETF의 WG (Working Group)에서는 Mobile IP의 성능을 개선하기 위한 작업이 활발히 이루어지고 있으며, 이동성 관리 (Mobility Management) 기술에 대한 표준화는 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째는 지역 이동성 관리 (Local Mobility Management) 방식이며, 두 번째는 고속 핸드오버 (Fast Handover) 방식이다. 지역 이동성 관리 방식은 각 지역 도메인이 지역 이동성 에이전트를 가지며 지역 내의 이동성 관리는 지역 이동성 에이전트가 처리하게 함으로써 HA (Home Agent)와 CN (Correspondent Node)에게 단말의 이동성에 대한 부담을 덜어주게 된다. 지역 이동성을 구현하기 위한 방법으로는 Mobile IP를 계층적으로 구성하거나 Gateway를 두고 Gateway 하부에 Mobile IP와는 독립적인 이동성 관리 프로토콜을 운용하는 방법이 있다. 대표적인 예로는 Mobile IPv4 Regional Registration [7]과 Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6) [8]을 들 수 있다. 고속 핸드오버 방식은 핸드오버의 발생 시 지연을 최소화하기 위해 Layer 2에서의 핸드오버 예상 정보를 바탕으로 Layer 2 핸드오버가 발생하기 전에 Layer 3의 핸드오

버를 수행시키는 방법이다. 대표적인 예로는 Low-Latency Handoffs in Mobile IPv4 [9]와 Fast Handovers for Mobile IPv6 [10]을 들 수 있다.

고속 핸드오버 방식을 적용하기 위한 방법들이 연구되고 있으며, Layer 2와 Layer 3간의 Cross-Layer Design을 이용한 방식이 대표적이다. Cross-Layer Design이란 기존의 레이어 기반 구조(Layered Architecture)의 엄격한 레이어 구분에는 위배되지만 layer간의 최적화를 통한 효율성 향상을 위해 개발된 모델이다. 고속 핸드오버 방식에서는 Layer 2의 정보를 이용하여 Layer 3 핸드오버 시 수행되는 이동 탐지 (Movement Detection)에 대한 지연을 줄이는 방법이다. L2 Trigger는 Layer 2 이벤트에 대한 Trigger 정보이며, 이 정보를 사용하여 단말의 이동에 따른 핸드오버 발생을 Layer 2 핸드오버가 시작되기 이전에 미리 탐지하게 된다 [9]. L2 Trigger를 이용하여 핸드오버의 지연 시간을 줄이기 위해서는 단말의 이동 예측이 선행되어야 한다.

최근 예측 기법을 이용하여 핸드오버의 지연을 단축시키기 위한 방법들이 연구되고 있다. 일반적으로 과거의 이동 패턴에 따라 미래의 이동 단말의 위치를 예측하는 방법이 사용되었다. Prediction-Based Fast Handoff for Mobile WLANs [11]에서는 Mobile 무선 랜 환경에서 예측 기반의 핸드오버 지연 단축을 시도하였으며, 방향과 경로 등의 이동 패턴에 따라 향후 발생할 핸드오버를 예측하였다. 하지만 이동 단말이 사전에 정의된 경로만을 이동해야 한다는 제약 조건 때문에 버스 또는 지하철 같은 대중 교통 수단에만 적용될 수 있다는 한계가 있다. 본 논문에서는 이동 단말의 신호 강도를 이용하여 예측을 수행하므로, 위와 같은 제약 조건이 없으며, 적용 범위가 더 넓다고 판단할 수 있다.

본 논문에서는 IPv4 기반의 와이브로 환경에서 Layer 2와 Layer 3간의 Cross-Layer 기반의 고속 핸드오버 기법을 제안한다. Low-Latency Handoffs in Mobile IPv4 [9]의 선 등록 (Pre-registration) 방식을 적용했으며, 단말의 이동 여부를 사전에 탐지하기 위해 RSSI (Received Signal Strength Indicator, Serving 기지국으로부터 수신 받은 이동 단말의 신호 강도에 해당되는 파라미터)를 이용 하였다. 단말은 RSSI의

예측 값을 주기적으로 계산하며, 예측 값이 Layer 2 핸드오버 조건과 부합되면 L2 Trigger를 발생하여 L3 핸드오버를 미리 수행시킨다. 예측 알고리즘은 최근의 자료에 더 많은 가중치를 두는 지수 평활법 (Exponential Smoothing Method)을 사용하였다. 지수 평활법은 비교적 간단하면서도 정확한 예측이 가능한 방법이며, 본 논문에서는 시 계열 자료가 선형 추세와 이차 곡선 추세를 갖는 경우 적합한 수식을 적용하였다. 모의 실험을 통하여 본 논문과 예측 알고리즘의 적합성 여부를 검증하였고, 기존의 방식과 지수 평활법을 적용한 핸드오버 지연 단축 기법을 비교, 분석하여 핸드오버 지연 시간의 단축을 증명하였다. 또한 실질적으로 사용자가 체감하게 되는 서비스 단절 구간을 비교하며, 고찰하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 IPv4 기반의 와이브로 환경에서 사용되는 핸드오버 기술과 관련 연구들을 설명한다. 3장에서는 사용된 예측 알고리즘을 살펴보고 이를 바탕으로 핸드오버 지연 단축기법을 기술한다. 마지막으로 4장에서는 실험 결과를 바탕으로 기존의 핸드오버 방식과 논문에서 제안한 방식을 비교, 분석하여 핸드오버 지연 시간의 단축을 증명하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 1. 와이브로 망에서의 Layer 2 핸드오버

와이브로 시스템은 이동 단말(이동 단말)과 기지국(BS), 여러 개의 기지국을 수용하고 제어 기능을 갖춘 ACR, 인증과 관련한 AAA 서버, 그리고 IP 기반의 백본 망으로 구성된다. 이와 같은 망을 기반으로 와이브로는 60km/h 이상의 속도로 이동 중인 단말에게 1Mbps 이상의 하향 링크 (DL, Down Link) 대역폭과 128Kbps 이상의 상향 링크 (UL, Up Link) 대역폭을 지원한다. 단말은 현재 서비스를 제공하는 기지국의 영역에서 인접 기지국 (Neighbor BS)의 영역으로 이동할 수 있으며, 이 때 발생하는 Inter-BS 핸드오버에 대한 정의가 필요하다. 와이브로 표준에서는 이를 지원하기 위한 절차를 명시하였으며,

Layer 2 핸드오버가 이에 해당된다.

이동 단말은 현재 무선 인터페이스를 통해 링크되어 있는 서빙 기지국 (Serving BS)을 제외한 인접 기지국들 중 핸드오버를 수행할 타겟으로서의 적합성을 결정하기 위한 탐색(scanning) 절차를 수행하며, 인접 기지국들이 광고하는 MOB\_NBR\_ADV (Neighbor Advertisement) 메시지의 파라미터들을 근거로 해당 셀의 채널 품질을 측정하게 된다.

핸드오버는 이동 단말이 서빙 기지국으로부터 타겟 기지국으로의 핸드오버를 결정하거나 서빙 기지국의 판단에 의해 수행되며, 각각 MOB\_MSHO-REQ 또는 MOB\_BSHO-REQ 메시지를 전송하여 상대방에게 핸드오버의 의사를 알림으로써 핸드오버 절차가 시작된다. 이동 단말은 서빙 기지국에게 서빙 기지국 해제 옵션이 설정된 MOB\_HO-IND 메시지를 전송함으로써 타겟 기지국으로의 핸드오버를 수행하게 되며, Resource retain timer가 만료되기 전까지 서빙 기지국에 의해 수신되는 DL 트래픽을 모니터링하게 된다.

이동 단말은 MOB\_HO-IND 메시지의 수신 이후 초기 망 진입 (Initial Network Entry) 절차와 마찬가지로 망 재진입 (Network Re-entry) 절차를 수행한다. 이때 이동 단말은 이전 서빙 기지국의 ID가 포함된 RNG-REQ (Ranging Request) 메시지를 통해 핸드오버의 시도를 타겟 기지국에 알리게 된다. 또한 이 메시지는 power 및 하향 링크 burst 특성 변경을 요구하기 위해 전송된다. 백본 망을 통해서 서빙 기지국으로부터 획득한 단말 정보를 타겟 기지국이 소유하는 경우 망 진입 절차는 줄어들 수 있다. 망 진입 시 단말은 기지국과의 등록 (Registration) 절차를 수행하며, REG-REQ (Registration-Request) 메시지와 REG-RSP (Registration-Response) 메시지를 통해 이루어진다. 핸드오버와 망 진입 및 재진입에 대한 상세한 절차는 참고문헌 [2]에 기술되어 있다.

## 2. IPv4 환경에서의 Layer 3 핸드오버

단말은 상황에 따라 ACR 영역 또한 벗어날 수 있다. 이 때 ACR 간의 이동 시 발생하는 Inter-ACR 핸

드오버에 대한 정의가 필요하며, Layer 3 핸드오버가 이에 해당된다. 현재 인터넷은 여러 서브넷이 라우터를 통해 연결되어 있는 형태이다. 한 서브넷에서 다른 서브넷으로 이동한 단말은 인터넷에 접속할 수 없다. 이동 단말이 다른 서브넷에서 통신을 하기 위해서는 해당되는 서브넷에 맞게 새로운 IP 주소를 할당 받아야 한다. IPv4 환경에서 이런 문제점을 해결하고자 IETF에서 제안한 프로토콜이 Mobile IPv4이다. 이에 대한 상세한 내용은 참고문헌 [5]에 기술되어 있다.

하지만 Mobile IP는 IP 주소 할당 과정과 홈 네트워크 등록 과정 때문에 핸드오버에 따른 지연이 발생하며, 이에 따른 데이터 유실은 망의 성능 (Throughput) 저하를 유발한다. 또한 VoIP와 같은 실시간 서비스의 품질을 보장받기 위해서는 핸드오버의 지연 시간을 줄이는 것이 필요하다.

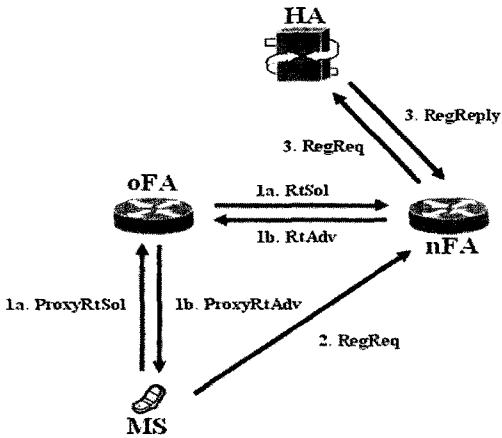
최근 이와 같은 문제를 해결하기 위해 많은 연구들이 수행되고 있으며, Cross-Layer 기반의 핸드오버 최적화 기술이 주류를 이룬다 [9, 10]. Cross-Layer란 Layer간의 최적화를 위해 새로운 모델을 제시하며, 기존 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 가능성을 내재하고 있다. 본 절에서는 Layer 2와 Layer 3 간의 Cross-Layer 기반의 핸드오버 최적화 기술에 대한 연구를 살펴본다.

Low-Latency Handoffs in Mobile IPv4 [9]에서는 IPv4 환경에서 핸드오버의 지연을 단축시키기 위한 두 가지의 방법을 제시하며, 각각 선 등록 (Pre-registration)과 후 등록 (Post-registration) 방식이다. 본 논문에서는 선 등록 방식만을 다룬다.

선 등록 방식은 이동 단말이 oFA와 연결되어 있는 동안 Layer 2 핸드오버의 발생 이전에 nFA로 등록 절차를 수행한다. <그림 1> 참조. 제안된 핸드오버 메커니즘은 다음과 같다.

1. 이동 단말은 oFA로부터 Proxy router advertisement (Agent Advertisement) 메시지를 수신한다. 이 메시지는 단말의 요청 또는 비 요청 방식에 의해 전송되며, MAC 주소, 네트워크 프리픽스(Network Prefix), nFA의 CoA (Care-of-address)를 포함한다.

2. 이동 단말은 Agent Advertisement 메시지를 통



<그림 1> Mobile IPv4 환경에서 저 지연 핸드오버: 선 등록 방식

<Fig. 1> Mobile IPv4 preregistration procedure

해 이동 탐지 (Movement Detection) 과정을 수행하며, 필요하다면 nFA에게 Registration Request 메시지를 전송한다. 이 메시지는 Layer 2 핸드오버 이전에 nFA에게 전달된다. 이동 단말은 현재 nFA와 직접 연결되지 않았으므로 oFA를 통해 릴레이(Relay)된다.

3. 이후 nFA와 HA는 Standard Mobile IP 절차 [5]를 수행하며 Registration Reply 메시지는 nFA에 의해 이동 단말에게 전송된다.

4. 등록 절차가 성공하면 HA와 nFA의 터널(Tunnel)이 형성되며 핸드오버 과정을 종료한다.

### III. 핸드오버 지연 단축 기법

와이브로 망에서 이동 단말이 핸드오버를 결정하기 위해 필요한 파라미터는 RSSI 이다. Layer 2 핸드오버의 트리거(Trigger) 조건은 이동 단말과 서버 기지국과의 신호 강도가 특정 임계값( $H_{TH}$ , Handover Threshold) 이하로 떨어지고, 서버 기지국과 타겟 기지국과의 신호 강도 차이가 3dB 이상의 차이를 갖는 경우이다. 이동 단말은 탐색 과정을 통해 서버 기지국과 잠재적인 타겟 기지국들의 RSSI를 수신할 수 있다.

본 논문에서 사용한 Cross-Layer 기반의 핸드오버 지연 단축 기법을 적용하려면 Layer 2 핸드오버 시작 이전에 Layer 3 핸드오버를 수행시켜야 한다. 이

를 위해서는 Layer 2 핸드오버의 시작을 사전에 탐지해야 하며, RSSI를 L2 Trigger 정보로 사용한다. L2 Trigger를 사용하기 위해서는 과거의 RSSI 샘플을 바탕으로 예측 값을 계산하여 Layer 2 핸드오버의 트리거 조건을 사전에 탐지해야 한다. 예측 값은 시계열 자료 분석 방법 중 지수평활법 (Exponential Smoothing Method)을 사용하였으며, 그 중 시계열 자료가 각각 선형 추세와 이차 곡선 추세를 갖는 경우 적합한 선형 지수평활법과 이차 지수평활법을 적용하였다.

관측된 과거 및 현재의 시계열 자료를 바탕으로 불규칙 변동을 평활시켜서 시계열의 미래 값을 예측하는 방법이 평활법에 의한 시계열 분석 방법이다. 대표적인 방법은 이동 평균 평활법과 지수평활법 등이 있으며, 그 중 지수평활법은 과거의 자료와 최근의 자료에 동일한 가중치를 부여하는 이동 평균 평활법과는 달리  $\alpha$  (평활 상수,  $0 < \alpha < 1$ )를 사용하여 최근의 자료들에 대해 더 많은 가중치를 부여하며, TCP(Transmission Control Protocol)에서 RTT(Round Trip Time)를 예측하는 방법으로도 사용된다. 지수평활법에 의한 예측에서는 실제 값들에 대한 가중치의 역할을 하는 평활 상수  $\alpha$ 의 결정이 매우 중요한 문제가 된다. 일반적으로 시계열 자료가 안정적이고 변동이 완만한 자료에서는 작은 값의  $\alpha$ 가 적절하며, 변동이 심한 자료에서는 큰 값의  $\alpha$ 가 높은 정확도를 보인다. 일반적으로는 0.01과 0.30 사이의 범위에서 높은 정확도를 보인다 [12]. 적절한  $\alpha$ 의 결정은 다음과 같은 예측 오차의 제곱 합 평균(이동 단말E, Mean Squared Error)을 최소로 하는  $\alpha$ 로 결정한다. 주어진 수식은 식 (1)과 같다.

$$MSE(\alpha) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Z_t - F_t)^2 \quad (1)$$

선형 지수평활법(Linear Exponential Smoothing Method)은 추세성을 갖는 시계열의 예측을 위한 지수평활법이며, 지수 평활값과 이중 지수 평활값을 이용하여 미래의 값을 예측하는 방법으로 식 (2)와 같다.

$$F_{n+1} = 2SM_n - SM_n - SM'_n + \frac{\alpha}{1-\alpha}(SM_n - SM'_n) \cdot l \quad (2)$$

식 (2)에서  $F_{n+l}$ 은 현재 시점  $n$ 에서  $l$ (예측 interval) 시점 이후에 대한 예측 값을 나타내며,  $\alpha$ 는 평활 상수이다.  $Z_n$ 은  $n$ 시점에서의 실제 값을 의미한다.  $SM_n$  (지수 평활값)과  $SM'_n$  (이중 지수 평활값)은 각각 다음과 같이 정의되는 지수 평활값과 이중 지수 평활값이며, 식 (3), (4)와 같다.

$$SM_n = \alpha Z_n + (1-\alpha)SM_{n-1} \quad (3)$$

$$SM''_n = \alpha Z_n + (1-\alpha)SM''_{n-1} \quad (4)$$

이차 지수평활법(Quadratic Exponential Smoothing Method)은 시 계열이 이차 곡선 형태의 추세를 갖는 경우에 적용하는 예측 방법이다. 이 경우 이차 추세는  $SM''_n$  (삼중 지수 평활값)을 사용하여 평활시킨다. 이차 지수 평활 예측값은 식 (3)과 식 (4) 그리고 식 (5)~(9)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$F_{n+l} = a_n + b_n \cdot l + \frac{1}{2}c_n \cdot l^2 \quad (5)$$

$$a_n = 3SM_n - 3SM'_n + SM''_{n-1} \quad (6)$$

$$b_n = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} [(6-5\alpha)SM_n - (10-8\alpha)SM'_n + (4-3\alpha)SM''_{n-1}] \quad (7)$$

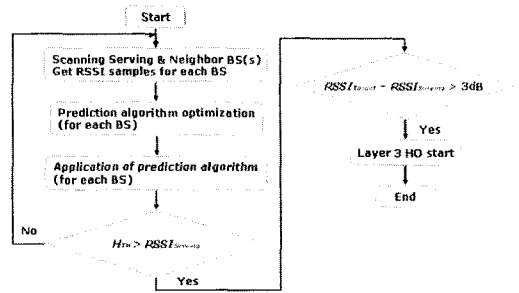
$$c_n = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} (SM_n - 2SM'_n + SM''_{n-1}) \quad (8)$$

$$SM''_n = \alpha Z_n + (1-\alpha)SM''_{n-1} \quad (9)$$

### 1. Cross-Layer 기반의 고속 핸드오버 기법

본 절에서는 제안된 핸드오버 지연 단축기법을 서술한다. 단말과 기지국의 무선 인터페이스를 변경하는 절차인 Layer 2 핸드오버 이전에 ACR 간의 Layer 3 핸드오버를 미리 수행함으로써 핸드오버의 총 지연 시간을 단축할 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법은 다음과 같다. 이동 단말은 시간에 따라 변화하는 서빙 기지국과 잠재적인 타겟 기지국들의 RSSI 값을 각각 저장한다.  $n$  개의



<그림 2> 핸드오버 지연 단축 기법  
<Fig. 2> Flow chart for Handover latency reduction

RSSI 샘플이 모이면  $n$  개의 데이터를 기반으로 각 기지국에 대한  $l$  이후의 예측 값을 계산한다. 계산된 예측 값은 선형 지수평활법과 이차 지수평활법에 의해 비교되며 각각 0.01과 0.30 사이의 범위를 갖는 30개의  $\alpha$ 를 이용하여  $MSE(\alpha)$ 를 구한 후 더 작은  $MSE(\alpha)$ 를 만족하는 방법을 선택한다. 예측 구간은  $n$  개의 데이터로  $l$  이후의 예측 값을 계산한 순간부터 1초당 1개의 RSSI 값을 샘플링(Sampling)한다. 1초 이후 1개의 새로운 RSSI 값이 샘플링 되면 가장 오래된 RSSI가 삭제되고 최신 RSSI가 업데이트되며 위의 방식대로 해당 구간에서 최적의 예측 값을 계산하며, 이 과정을 반복한다. 단말은 계산된 예측 값이 Layer 2의 핸드오버 트리거 조건과 만족될 때까지 예측 값을 계산하며, 계산된 예측 값이 조건과 부합되면 Layer 3 핸드오버 절차를 수행시킨다. <그림 2>에 순서대로 핸드오버 절차를 나타내었다.

## IV. 모의 실험 및 고찰

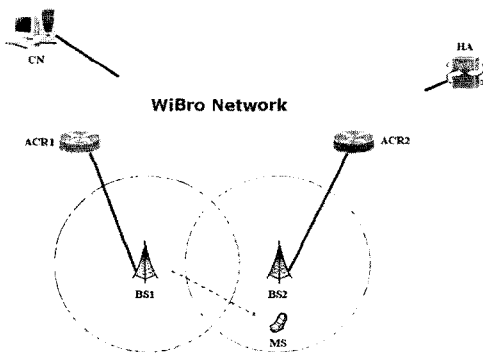
본 장에서는 기존의 방식과 제안된 핸드오버 기법을 비교하여 핸드오버 지연 시간의 단축을 증명한다. WiMAX Forum [6]에서는 와이브로 망에서의 시뮬레이션 환경에 대한 기준을 제시하며, 본 논문은 제시된 기준 중 <표 1>에 의거하여 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 조건에 해당하는 파라미터는 <표 1>과 같다. 예측 알고리즘의 정확도를 측정하기 위해 이동 단말이 수신하는 RSSI의 예측 값을 계산하였다. RSSI는 최신 30개의 샘플을 사용하고 예측

<표 1> 실험에서 사용한 시뮬레이션 파라미터  
<Table 1> Parameters for simulations

	파라미터	값
시스템 파라미터	BS-to-BS 거리	2.8 Km
	MS 속도	120 Km/h
	안테나 패턴	700 (-3dB) with 20dB
	BS 안테나 이득	15 dBi
	MS 안테나 이득	-1 dBi
	BS 최대 PA 전력	43 dBm
	MS 최대 PA 전력	23 dBm
프로파게이션 모델	프로파게이션 모델	COST 231 Suburban
	Log-Normal Shadowing SD	5.56 dB
	BS Shadowing Correlation	0.5
	Penetration Loss	10 dB

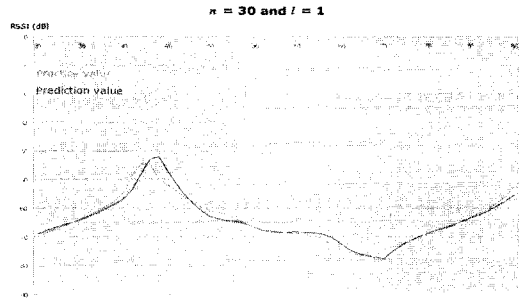
interval은 1초일 때 가장 정확한 예측 값을 얻을 수 있었다. 단말이 정지 상태일 때 60초 구간 동안 최대 0.7% 미만의 예측 오차율을 얻을 수 있었으며, 단말의 이동 시에는 약 0.07%의 최소 오차율과 약 6.83%의 최대 오차율을 각각 얻을 수 있었다. Qualnet 4.0을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 예측 알고리즘은 별도의 프로그래밍 작업을 통해 시뮬레이터 내에 삽입하여 실험하였다. 모의 실험을 위한 망 구성도는 <그림 3>과 같다.

<그림 4>는 시뮬레이터를 사용하여 단말이 서빙 기지국으로부터 수신하는 RSSI의 실제 값과 지수평



<그림 3> 실험 망 구성도

<Fig. 3> Network topology for simulation



<그림 4> RSSI에 대한 실제값과 예측값의 비교

<Fig. 4> RSSI values: measured values vs. predicted values

활법을 사용하여 30개의 RSSI 샘플을 바탕으로 1초 간격으로 예측 값을 계산한 결과의 비교 그림이다. 단말이 이동에 따라 서빙 기지국에서 수신하는 RSSI는 점점 낮아지게 되며, HTH 이후 타겟 기지국으로의 핸드오버를 수행하여 서빙 기지국의 RSSI는 높아지는 양상을 보인다.

실험을 통해 확인한 결과 지수평활법은 기울기가 양에서 음으로 또는 음에서 양으로의 변화를 갖는 경우 예측 오차율이 증가하고, 기울기의 부호가 바뀌지 않는 경우, 즉 일정한 추세를 갖는 구간에서는 비교적 정확한 예측이 가능하였다. 본 논문에서는 RSSI의 예측 값을 계산하기 위해 지수평활법을 사용하며, 핸드오버의 트리거 조건을 만족시킬 때까지 예측 값을 계산한다. 핸드오버의 트리거 조건이 만족될 때까지 RSSI의 기울기는 일정한 추세를 보이며 하락한다. 따라서 L2 Trigger를 수행하는 시점에서는 정확한 예측이 가능하다는 추측이 가능하다. 실질적으로 샘플의 개수와 예측 인터벌을 다양하게 변화시키면서 실험을 수행한 결과 L2 Trigger를 수행하는 시점에서는 1% 내외의 예측 오차율을 얻을 수 있었다. 따라서 지수평활법은 비교적 간단하면서도, 본 논문에 적합한 예측 알고리즘이라고 판단할 수 있었다.

시뮬레이터를 사용하여 기존의 방법과 핸드오버 지연 단축 기법을 적용하여 각각 실험을 수행했다. 30개의 RSSI의 샘플과 1초의 예측 인터벌로 지수평활법을 사용하여 핸드오버의 지연 시간을 측정 하였다. <그림 5>와 <그림 6>은 각각 시뮬레이터를 통해

```

C:\Opus>nslookup paper_jin@qm2_11_000
.....
L2 HO Start!
At 45.412691220 sec Node 4 (35) Send a MOB-HO_IND msg. L2 HO Start
Build a MOB-HO_IND msg
Build a MOB-HO_IND msg
At 45.501210066 sec Node 2 (85) Handle a MOB-HO_IND msg. L2 HO Termination
L2 HO Termination!
.....
L3 HO Start!
At 45.501210066 sec Node 4 (35) Send a REG_REQ(L3) msg
At 45.501210066 sec Node 4 (35) Send a REG_REQ(L3) msg
At 45.501210066 sec Node 4 (35) Send a REG_REQ(L3) msg
At 45.501210066 sec Node 4 (35) Handle a REG_REQ(L3) msg
L3 HO Termination!
.....
C:\Opus>nslookup paper_jin@qm2_11_000 paper_jin@qm2_11_000 paper_jin@qm2_11_000
.....

```

<그림 5> 핸드오버 지연 시간. 기존 방법 적용  
<Fig. 5> Handover latency: existing method

```

C:\Opus>nslookup paper_jin@qm2_11_000
.....
L2 HO Start!
At 44.352161198 sec Node 4 (35) Send a REG_REQ(L3) msg
At 44.352161198 sec Node 4 (35) Send a REG_REQ(L3) msg
At 44.352161198 sec Node 4 (35) Send a REG_REQ(L3) msg
At 44.352161198 sec Node 4 (35) Handle a REG_REQ(L3) msg
L2 HO Termination!
.....
L2 HO Start!
At 45.412691220 sec Node 4 (35) Send a MOB-HO_IND msg. L2 HO Start
Build a MOB-HO_IND msg
Build a MOB-HO_IND msg
At 45.501210066 sec Node 2 (85) Handle a MOB-HO_IND msg. L2 HO Termination
L2 HO Termination!
.....
C:\Opus>nslookup paper_jin@qm2_11_000 paper_jin@qm2_11_000 paper_jin@qm2_11_000
.....

```

<그림 6> 핸드오버 지연 시간.  
핸드오버 지연 단축 기법 적용  
<Fig. 6> Handover latency: proposed method

도출된 결과물이며, 기존 방법을 적용했을 때의 핸드오버 지연 시간과 핸드오버 지연 단축 기법을 적용했을 때의 핸드오버 지연 시간을 나타낸다.

45.412691220 sec 시점에 Layer 2 핸드오버가 시작되었고, 45.501210066 sec 시점에 종료되었다. Layer 3 핸드오버는 45.501210066 sec 시점에 시작되었고, 46.573679606 sec 시점에 종료되었다. 따라서 핸드오버의 총 지연은 약 1.16099 sec를 갖는다.

44.352161198 sec 시점에 Layer 3 핸드오버가 시작되었고, 45.424630741 sec 시점에 종료되었다. Layer 2 핸드오버는 45.412691220 sec 시점에 시작되었고, 45.501210066 sec 시점에 종료되었다. Layer 3 핸드오버는 Layer 2 핸드오버 종료 이전에 완료되었으므로, 핸드오버의 총 지연 시간은 Layer 2 핸드오버의 지연 시간과 일치하며, 약 88.51885 ms의 지연을 갖는다.

따라서 본 논문에서 제안한 핸드오버 지연 단축 기법을 적용했을 때 핸드오버 지연 시간을 약 1.07247 sec 만큼 단축할 수 있었다.

사용자가 체감하는 서비스의 단절 구간은 핸드오버의 지연 시간과 일치하지 않는다. 사용자는 단말이 전송하는 MOB-HO\_IND 메시지를 기지국이 처리하는 시점부터 단말이 Layer 3의 Registration Reply 메시지를 처리하는 시점까지 서비스의 단절을 인지하게 된다. 기존의 방식에서는 약 1.07247 Sec의 서비스 단절이 발생하는 반면, 핸드오버 단축 기법을 적용했을 때에는 기지국의 MOB-HO\_IND 메시지 처리 이후 바로 서비스를 개시할 수 있으므로 도출된 실험 수치에 의거하여 사용자는 끊김 없는 서비스의 보장이 가능하다고 판단할 수 있다.

## V. 결 론

와이브로는 이동성을 보장하는 무선 통신 시스템이며, 단말이 이동할 때 발생하는 기지국 간의 핸드오버 절차가 필요하다. 하지만 OFDMA를 사용하는 와이브로의 특성 상 하드 핸드오버를 수행하며, 이에 따른 핸드오버 지연은 필연적으로 발생한다. 또한 IP 기반으로 동작하는 와이브로 망에서는 ACR 간의 핸드오버 절차가 요구될 수도 있다. 이 때 ACR 간의 핸드오버는 Layer-3 핸드오버가 수반되므로 일반적으로 와이브로 기지국간 핸드오버 지연 시간보다 길다. 따라서 이동 중에도 사용자가실시간 서비스를 원활하게 제공받기 위해서는 핸드오버의 지연 시간을 최소화시켜야 한다. 이에 대한 해결 방안으로 본 논문에서는 지수 평활법을 이용하여 이동 단말의 신호의 세기를 예측하여 L-2 Trigger 이벤트를 발생시켜, Layer-2 핸드오버 시작 시점 이전에 Layer-3 핸드오버를 수행하게 한다. 따라서 총 핸드오버 지연을 단축할 수 있다. 실험을 통하여 약 1초 정도의 핸드오버 지연을 단축할 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 단말이 수신하는 RSSI의 예측 값을 토대로 L2 Trigger를 수행하기 때문에 이동 패턴에 따른 제약 조건이 없다는 장점이 있다. 또한 지수평활법은 간단하면서도 일정 추세를 갖는 경우 정확한



예측 값을 구할 수 있으므로 핸드오버 예측에 적합하며 구현이 용이하다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEEE Std. 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System," Oct. 2004.
- [2] IEEE Std. 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access System," Dec. 2005.
- [3] 배성수, 최동훈, 최규태, 와이브로 기술과 시스템, 도서출판 세화, 2006. 8.
- [4] TTA Std. TTAS.KO-06.0082/R1, 2.3GHz 휴대인터넷 표준, 물리 계층 및 매체접근제어 계층
- [5] C. Perkins, IETF RFC 3344, "IP Mobility Support for IPv4," Aug. 2002.
- [6] WiMAX Forum, "Mobile WiMAX - Part 1: A Technical Overview and Performance Evaluation," Aug. 2006.
- [7] E. Fogelstroem, A. Jonsson, and C. Perkins, IETF RFC 4857, "Mobile IPv4 Regional Registration," June 2007.
- [8] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, and L. Bellier, IETF RFC 4140, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)," Aug. 2005.
- [9] K. El Malki, IETF RFC 4881, "Low-Latency Handoffs in Mobile IPv4," June 2007.
- [10] R. Koodli, IETF RFC 4068, "Fast Handovers for Mobile IPv6," July 2005.
- [11] E. K. Paik and Y. H. Choi, "Prediction-Based Fast Handoff for Mobile WLANs," *ICT*, pp. 748-753, Mar. 2003.
- [12] 이성덕, 이우리, SAS를 이용한 시 계열 자료 분석, 도서출판 탐진, 2006. 10.

### 저자소개

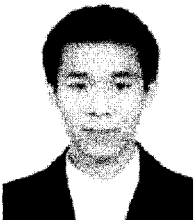


표 세 환 (Pyo, Se-Hwan)

2002년 3월 ~ 2006년 2월 : 광운대학교 정보제어공학과 학사  
 2006년 3월 ~ 2008년 2월 : 광운대학교 제어계측공학과 석사  
 2008년 3월 ~ 현재 : LG전자 MC 사업부 연구원



최 용 훈 (Choi, Yong-Hoon)

1991년 3월 ~ 1995년 2월 : 연세대학교 전자공학 학사  
 1995년 3월 ~ 1997년 2월 : 연세대학교 전자공학 석사  
 1997년 1월 ~ 2001년 2월 : 연세대학교 전기전자공학 박사  
 2001년 4월 ~ 2002년 3월 : University of Maryland, Postdoctoral Research Associate  
 2002년 6월 ~ 2005년 8월 : LG전자 책임연구원  
 2005년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 정보제어공학과 교수