

선형 회귀 분석을 이용한 모바일 와이맥스에서 계층 통합적 핸드오버 기법

Cross-Layer Handover Scheme Using Linear Regression Analysis in Mobile WiMAX Networks

최용훈* 윤석열** 정영욱*** 김범준****
(Yong-Hoon Choi) (Seok-Yeul Yun) (Young-Uk Chung) (Beom-Joon Kim)

이정륜***** 이혁준*****
(Jung-Ryun Lee) (Hyun-Joon Lee)

요 약

본 논문에서는 모바일 와이맥스환경에서 이동성 예측 알고리즘을 이용한 계층 통합적 핸드오버 기법을 제안한다. 예측 알고리즘은 선형 회귀 (Linear Regression) 분석을 사용하며 분석 데이터 수집을 위해 이동 단말의 신호의 세기를 주기적으로 샘플링한다. 예측을 이용하므로 L3 핸드오버 절차를 L2 핸드오버가 시작되기 전에 시작할 수 있으며 따라서 핸드오버 지연시간을 단축할 수 있다. 실험은 WiMAX Forum에서 정의한 경로 손실 모델 (path loss model) 및 시스템 파라미터를 이용하였다. 실험을 통하여 신호의 세기 예측이 정확하게 이뤄질 수 있으며 핸드오버 지연이 줄어드는 것을 확인하였다.

Abstract

Mobile WiMAX is an emerging technology that can provide ubiquitous Internet access. To provide seamless service in mobile WiMAX environment, delay or disruption in dealing with mobility must be minimized. However offering seamless services on IEEE 802.16e networks is very hard due to long handover latency both in layer 2 and 3. In this paper, we propose a fast cross-layer handover scheme based on prediction algorithm. With the help of the prediction, layer-3 handover activities are able to occur prior to layer-2 handover, and therefore, total handover latency can be reduced. The experiments conducted with system parameters and propagation model defined by WiMAX Forum demonstrate that the proposed method predicts the future signal level accurately and reduces the total handover latency.

Key words: Mobile WiMAX, handover, prediction, regression, cross-layer

† 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2009-F-042-01, 내장형 안테나 어레이 기반의 차세대 차량용 이동통신 시스템 기술 연구.] 이 논문은 2007년도 교내 학술 연구비 지원에 의해 연구되었음.

* 주저자 : 광운대학교 정보제어공학과 교수

** 공저자 : 제니스텍 대표이사

*** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수

**** 공저자 : 계명대학교 전자공학과 교수

***** 공저자 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수

***** 공저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 2월 4일

† 논문심사일 : 2009년 3월 3일

† 게재확정일 : 2009년 3월 4일

1. 서론

와이맥스 (WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access)는 BWA (broadband wireless access) 기술로 원격 무선 인터넷 접속을 위해 근래에 등장하였으며, 현재 표준화가 활발히 진행되고 있다. IEEE802.16 WG에서 WirelessMAN 표준화를 진행하였으며, 두 개의 대표적인 규격이 확정되었다. 각각은 802.16-2004 [1] and 802.16e-2005 [2]이다. 전자는 fixed WiMAX 또는 16d로 알려져 있으며 케이블이나 DSL을 대체할 수 있는 원격 무선 접속을 위한 규격이다. 후자는 mobile WiMAX 또는 16e로 알려져 있으며 무선 이동 접속 규격으로 언제 어디서나 이동 중에 인터넷 접속이 가능하다.

최근, IEEE802.16 망을 IP 백본에 연결하여 사용하는 방식이 데이터 서비스는 물론이고 VoIP와 같은 실시간 트래픽들을 위한 인프라로 주목 받고 있다. 이동 중에도 끊김 없는 VoIP 서비스 제공을 위해서는 핸드오버시 서비스 단절 시간을 최소화해야 한다. 하지만 IEEE802.16 망에서 VoIP 서비스를 제공하는 것은 L3 핸드오버 지연 시간이 매우 길어 어려운 문제로 남아 있다.

IEEE 802.16 핸드오버 지연은 인접 셀 탐색 (scanning), 핸드오버 메시지 교환 (특히, 백본을 통한 메시지 교환), 네트워크 진입/재진입 (entry/reentry)로 구성된다. 핸드오버 지연을 줄이기 위해 인접 셀 탐색 절차는 핸드오버 시작 전에 미리 수행할 수 있으며, 네트워크 진입/재진입 절차는 [2]에 정의되어 있는 핸드오버 최적화 (Handover Optimization)를 이용하여 단축할 수 있다. 따라서 순수한 L2 핸드오버 지연은 실시간 트래픽에 적합하게 단축할 수 있다. 하지만 Mobile IP 기반의 L3 핸드오버 지연은 L2 핸드오버 지연에 비해 상당히 크다. Mobile IP는 CoA (care of address)를 받는 과정과 HA (home agent)에 주소 등록 과정에 시간이 많이 소요되어 실시간 응용에는 적합하지 않다. 더욱이 IEEE802.16e 핸드오버 절차와 Mobile IP 핸드오버 절차를 계층으로 분리하여 수행하게 되면 총 핸드오버 지연은 더욱 증가하게 된다.

과거 몇 년 동안 Mobile IP의 지연을 줄이기 위하여 계층 통합적 설계에 기반을 둔 기술들에 대한 연구들이 활발하게 진행되어왔다. 프로토콜 [3-5]는 이동 단말 (MS: mobile station)이 기존의 서브넷에 연결되어 있으면서 이동해갈 새로운 서브넷의 prefix를 알아낼 수 있는 방식들을 제안하였다. 계층 통합적 이동성 관리 프로토콜들은 신호의 세기와 같은 링크 계층의 정보들을 이용하여 이동 탐지 (movement detection) 지연을 줄인다. L2 Trigger는 링크 계층의 이벤트로 이동 단말이 새로운 접근 망으로 이동할 것을 미리 알려주는 역할을 수행한다. L2 Trigger를 이용하여 이동 단말은 L2 핸드오버 시작과 동시 또는 이전에 L3 핸드오버 절차를 시작할 수 있다. L2 Trigger는 IEEE802.16e MAC에서 직접 얻어낼 수도 있고, IEEE802.16e MAC management 메시지를 이용할 수도 있다.

예측을 이용한 핸드오버 지연을 줄이는 연구들이 있다 [6-8]. 이들의 공통점은 이동 단말의 이동 패턴을 관찰하여 미래의 위치를 예측하는 것이다. Hsieh et al., [6]은 소프트웨어 기반의 이동 추적 기술을 이용한 핸드오버 지연 최소화 구조를 제안하였다. 이동 단말의 위치 예측을 위하여 Akyildiz 와 Wang [7]은 과거의 히스토리 데이터 뿐만 아니라 이동 단말의 확률 통계적 (stochastic) 행동을 토대로 한 이동 예측 모델을 제안하였다. 여러 가지 예측 모델 중에서 non-stationary 데이터 (예를 들면, 이동 단말의 이동에 따른 신호의 세기 변화) 예측에 적합한 방식으로 ARIMA (auto regressive integrated moving average) 모델이 있다. 하지만 ARIMA 모델은 알고리즘이 적용 과정이 복잡하고 계산량이 많아 실시간 예측에는 적합하지 않다. 많은 예측 모델들이 미리 주어진 이동 패턴을 사용하며, 만일 MS가 패턴과 맞지 않은 이동을 할 경우 예측 성능이 떨어지게 된다.

본 논문에서는 모바일 와이맥스 환경에서 이동 단말의 이동성 예측을 토대로한 계층 통합적 핸드오버 기법을 제안한다. 이동성 예측은 간단한 선형 회귀 모델 (linear regression model)을 사용한다. 이동 단말의 신호의 세기를 지속적으로 관찰하여 회귀 라인 (regression line)을 얻어내며, 이 회귀 라인은 시간이

지남에 따라 계속 갱신된다. 회귀 라인을 이용하여 미래의 신호의 세기를 예측하게 된다. 예측을 통하여 L2 핸드오버가 시작되기 이전에 L3 핸드오버 절차를 시작할 수 있으며 총 핸드오버 지연 시간을 단축할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE802.16e MAC 계층의 핸드오버 절차와 최근에 수행된 계층 통합적 핸드오버 프로토콜들에 대해서 소개한다. 3장에서는 제안하는 핸드오버 알고리즘을 설명하며 4장에서는 실험을 통해 예측이 정확히 이뤄지고 있으며 핸드오버 지연이 단축됨을 확인한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

본 절에서는 IEEE802.16e 핸드오버 절차와 모바일 IP의 핸드오버 지연을 줄이기 위한 최근의 연구 동향에 대해서 살펴본다. 먼저 [2]에 기술된 L2 핸드오버 절차를 살펴보고, 핸드오버 지연을 줄이는 연구들에 대해서 살펴본다.

IEEE802.16e에는 3가지 형태의 핸드오버를 정의하고 있다. 각각은 break-before-make 핸드오버, MDHO (macro-diversity handover), 그리고 FBSS (fast base station switching) 이다. Break-before-make 핸드오버는 하드 핸드오버이며, 본 논문에서 다루는 형태의 핸드오버이다.

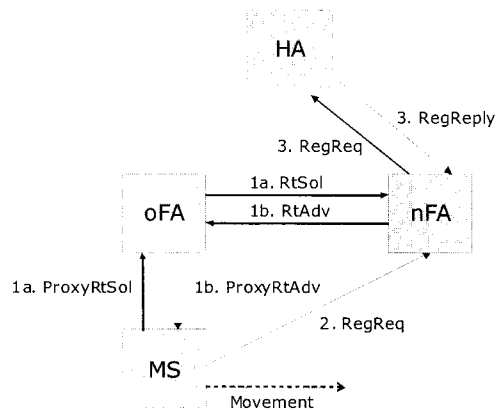
이동 단말은 인접 기지국들을 탐색하며, 핸드오버 목적지로 적절한지를 파악한 후, 이들과 선택적으로 association을 설정한다. 핸드오버가 필요한 경우 이동 단말은 서빙 기지국 (BS: base station)에서 목적지 기지국으로 핸드오버 절차를 수행하게 된다. 핸드오버는 이동 단말, 기지국, 그리고 망에서 시작할 수 있다. 또한 핸드오버 요청 메시지에는 하나 이상의 목적지 기지국을 담고 있을 수 있다. 이동 단말은 목적지 기지국들 중 적합한 것을 선택하여 서빙 기지국에 MOB-HO-IND 메시지를 보낸다. 또한, 핸드오버 후에도 정해진 시간 동안 이동 단말은 서빙 기지국의 자원을 해제하지 않는다.

이동 단말은 MOB-HO-IND 메시지를 보낸 직후,

초기 망 진입 절차와 동일한 절차를 새로운 기지국에서 수행한다. 이를 망 재진입 절차라고 한다. 망 재진입 시에는 목적지 기지국이 기존의 기지국 또는 백본을 통해 이동 단말의 정보들을 미리 알 수 있으므로, 불필요한 절차들은 생략될 수 있다. 망 재진입 후, 필요한 연결들을 설정하게 되며 서비스 재개시 시작되면 핸드오버는 끝나게 된다. 자세한 핸드오버 및 망 재진입 절차는 [2]를 참조할 수 있다.

참고문헌 [3]에서 low-latency 모바일 IP 핸드오버를 위한 3가지 방법을 제안하고 있다. 각각은 pre-registration, post-registration, and combined method 이다. Pre-registration 방식은 이동 단말이 old FA (oFA)를 통하여 new FA (nFA)와 정보를 교환할 수 있도록 하는 구조이다. 즉 L2 핸드오버가 끝나기 이전에도 nFA와 등록절차를 미리 수행할 수 있도록 한다. Pre-registration 핸드오버 방식은 <그림 1>에 설명되어 있다. 상세한 핸드오버 절차는 다음과 같다.

1. 이동 단말 MS는 proxy router advertisement 메시지 (Agent Advertisement)를 oFA로부터 수신한다. 메시지는 nFA의 링크 계층의 주소, 네트워크 prefix, 그리고 가능한 CoA 목록들이 포함되어 있다.
2. MS는 Agent Advertisement 메시지를 수신하여



<그림 1> Low-latency 모바일 IP 핸드오버 절차: Pre-registration

<Fig. 1> Low-latency mobile ip handover procedure: pre-registration

이동 탐지를 수행할 수 있다. 만일 네트워크 계층의 주소 변경이 필요한 경우가 탐지되면 nFA로 Registration Request (RegReq) 메시지를 보낸다. 이 메시지는 L2 핸드오버가 완료되기 전에는 nFA로의 직접 연결이 불가능하므로 oFA를 통해 기존의 링크를 통해 전달된다.

3. 표준 모바일 IP 등록 절차가 nFA와 HA간에 이뤄진다. Registration Reply (RegReply) 메시지는 nFA를 통해서 MS로 전달되며, 전달 경로는 oFA를 거치거나 직접 전달된다. 두 경로로 전달되는 이유는 MS가 RegReply 메시지를 수신하기 이전에 이미 oFA에서 이탈하여 nFA 영역으로 이동할 수 있기 때문이다.
4. 등록절차가 마무리 되면 MS로 도달하는 패킷들은 HA에서 nFA로 터널링되어 전달된다.

L2 Trigger를 oFA나 이동 단말이 받게 되면 pre-registration 핸드오버 절차를 시작하게 된다. L2 Trigger의 시점은 핸드오버 지연과 성능 이득에서 매우 중요하다. 가장 이상적인 경우는 L2 Trigger를 수신하고 단말이 새로운 링크로 이동하기 전에 위의 1-3 절차가 완료된 후, 새로운 링크에서 L2 핸드오버를 완료함과 동시에 첫 번째 패킷이 HA에서 nFA로 전달되는 것이다. 이렇게 되면 단말은 L3 핸드오버 때문에 서비스 불연속이 발생하지 않는다. 단말의 정확한 이동 시점을 알 수 없기 때문에 버퍼링과 바이캐스팅 (bicasting) 기술이 요구된다.

Post-registration 핸드오버 방식은 모바일 IP 프로토콜을 확장하여, oFA와 nFA가 L2 Trigger를 이용하여 양방향 터널을 설정할 수 있도록 한다. 따라서 이동 단말은 nFA 서브넷 영역에서도 oFA를 이용할 수 있다. 따라서 새로운 링크로 이동해서도 실시간 서비스에 지장이 없도록 신속한 서비스 설정이 가능하게 해준다. 이동 단말은 궁극적으로는 일반적인 모바일 IP 등록절차를 향후 수행해야 하며, MS나 FA의 요구에 의해 천천히 수행될 수도 있다. 일반적인 모바일 IP 등록이 수행되기 전까지는 oFA와 nFA간 양방향 터널을 유지한다.

Combined 방식은 pre-registration 방식과 post-

registration 방식을 병행하여 사용하는 것이다. 참고 문헌 [9]에 위에서 언급한 3가지 방식에 대한 비교를 VoIP 서비스 환경에서 수행하였다.

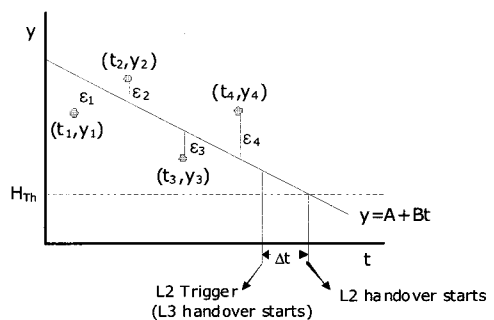
III. 제안하는 계층 통합적 핸드오버 방식

제안하는 고속 핸드오버 방식은 기존의 모바일 IP 확장 프레임워크 [3-5]와 함께 동작할 수 있도록 설계되었다. 공통적으로, 참고문헌 [3-5]에서 제시한 모바일 IP 확장 프레임워크는 이동 단말의 L2 링크가 변경됨을 미리 알려주는 L2 Trigger를 사용한다. 본 논문은 예측 알고리즘을 사용하여 적절한 L2 Trigger를 발생시켜주는 알고리즘에 초점을 맞춘다. 탐색 과정 동안 얻어진 신호의 세기 샘플들을 이용하여 이동 단말의 이동 패턴이 분석되며 예측된다. 본 논문에서는 간단한 선형 회귀 라인을 이동 패턴 예측에 사용한다. 다음 절에서 선형 회귀 모델과 이를 이용한 L2 Trigger 알고리즘에 대해서 자세히 언급한다.

입력 값 $t_i, i = 1, \dots, n$ 에 대한 응답 Y_i 를 지속적으로 관찰하여 아래와 같은 선형 회귀 모델의 파라미터 α 와 β 를 추정한다고 가정한다.

$$Y = \alpha + \beta t + e \tag{1}$$

미지수 α 와 β 를 결정하기 위해, 아래와 같이 가정한다. 만일 A와 B가 시간 t_i 에서 α 와 β 에 대한 추정치라면, 추정치는 $A + Bt_i$ 가 된다. 실제로 관측한 응답은 Y_i 이므로 실제값과 추정치와의 차이는 다음과



<그림 2> 선형 회귀 라인과 이를 이용한 L2 Trigger 발생
<Fig. 2> Linear regression line for L2 Trigger

같이 주어진다.

$$\epsilon_i = Y_i - (A + Bx_i) \quad (2)$$

여기서 추정에러가 최소가 되도록 하는 A와 B를 찾아낸다. 즉 선형회귀 모델의 파라미터 a와 β는 식 (3)이 최소가 되도록 하는 A와 B 값에 해당된다.

$$\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - A - Bx_i)^2 \quad (3)$$

이 때, A와 B는 각각 아래와 같이 주어진다.

$$A = \bar{Y} - B\bar{x}, B = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (4)$$

여기서 직선 $y = A + Bx_i$ 이 <그림 2>에서 보이는 선형 회귀 라인이다. 이 직선은 이동 단말의 미래의 신호의 세기를 예측하는데 사용된다. 즉 시간 $t_i = t_n + \Delta t$ 에서의 신호의 세기의 예측 값은 $A + B(t_n + \Delta t)$ 가 된다. 신호의 세기 Y에 대한 구간 추정 (interval estimation)을 수행하자. $100(1-\gamma)$ 의 신뢰도를 가지고 시간 $A + B(t_n + \Delta t)$ 에서의 신호의 세기 Y 값은 다음과 같은 범위 내에 위치하게 된다.

$$A + B(t_n + \Delta t) \pm \tau_{n-2, \gamma/2} W \quad (5)$$

여기서 $\tau_{n-2, \gamma/2}$ 는 t-분포에서 n-2의 자유도 (degree of freedom) 하에서 $100(1-\gamma/2)$ 번째 백분위 수가 되는 값이다. 그리고 W는 식 (6)과 같이 주어진다.

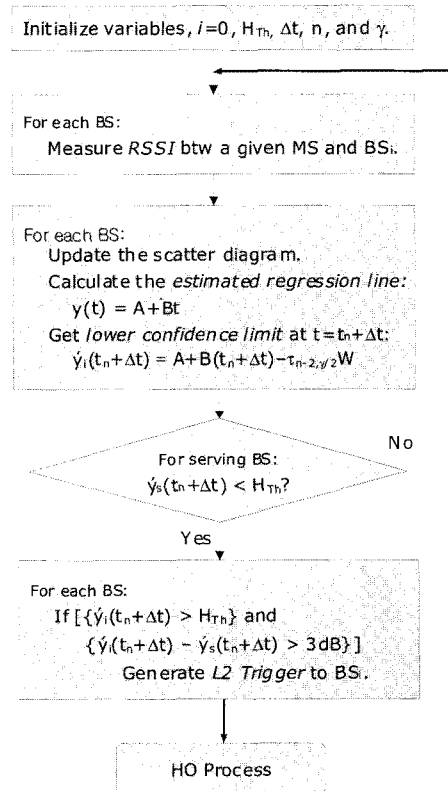
$$W = \sqrt{\left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(t_n + \Delta t - \bar{t})^2}{S_{tt}} \right] \frac{SS_R}{n-2}} \quad (6)$$

여기서 A, B, \bar{t} , S_{tt} , SS_R 은 모두 관찰한 실측값으로 계산되며, $S_{tt} = \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2$, $SS_R = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2$ 이다.

식 (5)를 Lower Confidence Limit 이라 하며, 이를 토대로, 이동 단말은 $100(1-\gamma)$ 의 신뢰도하에서 시간 $t = t_n + \Delta t$ 에서 신호의 세기가 적어도 식 (5)의 값을 가질 것으로 예측하게 된다.

이동 단말은 인접 기지국들이 핸드오버 목적지로 적합한지 결정하기 위해서 인접 기지국들을 탐색한다. 일반적으로 탐색기간 동안 인접 기지국들의 신호의 세기 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) 값을 주기적으로 관찰한다. 만일 본 논문에서 제안하는 예측 알고리즘이 적용되지 않는다면, 이동 단말은 정해진 핸드오버 임계 값 보다 RSSI 값이 낮을 때 핸드오버 절차를 시작하게 된다. 이 MAC 계층의 핸드오버 절차는 L3 핸드오버 절차를 시작하도록 하게 하며, 결국은 L2, L3 핸드오버 절차가 병렬적으로 진행되게 된다. 이 경우 핸드오버 총 지연은 Max(L2 핸드오버 지연시간, L3 핸드오버 지연시간)이 된다. 일반적으로 L3 핸드오버 지연이 L2 핸드오버 지연 보다 훨씬 길므로, 총 핸드오버 지연은 L3 핸드오버 지연과 같아진다.

본 논문에서는 예측 기반의 핸드오버 절차를 제안



<그림 3> L2 Trigger를 발생시키는 순서도
<Fig. 3> Flow chart for generating L2 Trigger

한다. 제안하는 핸드오버 절차를 <그림 3>의 순서도로 나타내었다. 첫째, 변수 H_{Th} , Δt , n , $(1-\gamma)$ 를 초기화 한다.

둘째, 서빙 기지국과 인접 기지국들의 RSSI 값을 주기적으로 관찰한다. 셋째, 수집한 RSSI 샘플들을 이용하여 이동 단말과 각 기지국들과의 scatter 다이어그램을 그리고 이를 토대로 선형 회귀 라인을 얻어낸다. 새로운 샘플이 추가될 때 마다 scatter 다이어그램을 다시 그리고 새로운 선형 회귀 라인을 얻는다. 넷째, 얻어진 선형 회귀 라인을 이용해서 이동 단말과 인접 기지국들과의 RSSI 값을 예측한다. 즉, 선형 회귀 라인의 $t = t_n + \Delta t$ 의 응답 값을 얻어낸다. 여기서 t_n 은 현재 시간이며, Δt 는 예측 구간이다.

만일 이동 단말과 서빙 기지국간의 RSSI 값이 정해진 핸드오버 임계 값 H_{Th} 보다 작을 것으로 예측하였다면, 즉 Lower Confidence Limit이 H_{Th} 보다 작다면 이는 이동 단말이 Δt 시간 이후에 $(1-\gamma)$ 의 확률로 핸드오버를 시작한다는 의미이다. 또한 핸드오버 결정을 위해서는 목적지 기지국의 신호의 세기가 임계 값 이상인지 확인해야 하며, 서빙 기지국과 목적지 기지국과의 RSSI 차이가 히스테리시스 마진 (일반적으로 -3dB 사용) 이상인지도 확인해야 한다. 즉 <그림 3>의 순서도에 나타난 조건을 더 만족해야 핸드오버 목적지가 결정된다.

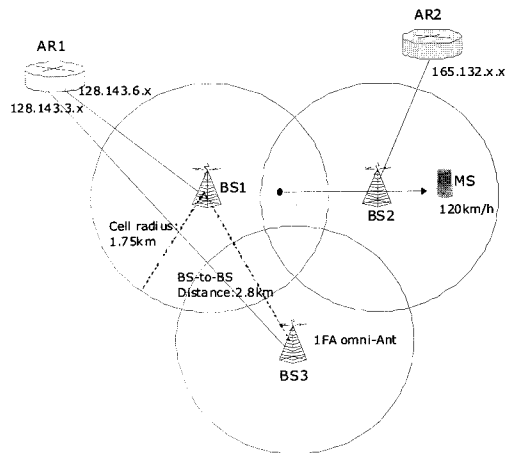
위와 같은 핸드오버 시작 조건이 만족되게 되면 L2 Trigger를 발생하게 된다. 이렇게 발생된 L2 Trigger는 L3 핸드오버 절차 (모바일 IP 핸드오버 절차)를 Δt 만큼 빨리 시작할 수 있도록 해준다. 결과적으로 핸드오버 지연은 L2 핸드오버와 L3 핸드오버를 동시에 시작하는 절차보다 Δt 만큼 줄일 수 있는 장점이 있다.

IV. 모의 실험 및 고찰

본 절에서는 제안된 핸드오버 알고리즘의 성능평가를 위해 예측의 정확성과 핸드오버 지연을 살펴본다. 성능평가를 위해 WiMAX Forum의 성능 평가 방법 [10]을 이용한다. 본 논문에서는 <그림 4>에 나타난 네트워크에 참고문헌 [10]에 기술되어 있는 시

스템 파라미터와 COST 231-Hata 경로 손실 모델을 적용하였다. 자세한 실험 조건들은 <표 1>에 요약하였다.

<그림 4>에서 보듯이, BS1과 BS3은 동일한 액세스 라우터 AR1에 연결되어 있으며, BS2는 AR2에 연결되어 있다. 따라서 이동 단말 MS가 BS1 혹은 BS3 영역에서 BS2 영역으로 이동하게 되면, L3 핸드오버가 필요하다. 논문의 실험에서는 MS가 Cell1에서



<그림 4> 실험에서 사용한 망 구조
<Fig. 4> Network topology for simulations

<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
프로 파게이션 모델	프로파게이션 모델	COST 231 Suburban
	Log-Normal Shadowing SD	5.56 dB
	BS Shadowing Correlation	0.5
	Penetration Loss	10 dB
핸드오버 파라미터	핸드오버 임계 값, H_{Th}	-232 dB
	히스테리시스 마진	-3 dB

Cell2로 120km/h의 속도로 이동한다.

MS가 다른 서브넷 영역으로 이동하게 되면, 모바일 IP 등록 절차를 수행하여야 한다. 본 논문에서 제안한 예측알고리즘을 사용하지 않는다면, 서빙 기지국으로부터의 RSSI가 H_{Th} 보다 작아지면, MS는 L2 핸드오버 절차와 L3 핸드오버 절차를 병렬적으로(동시에) 수행하게 된다. 일반적으로 L3 핸드오버를 수행하는 시간이 L2 핸드오버를 수행하는 시간보다 길므로, 동시에 L2, L3 핸드오버를 시작하게 되면 총 핸드오버 지연은 L3 핸드오버 지연과 같아지게 되어 효과적이지 못하다. 본 논문에서 제안하는 예측 기반의 L2 Trigger를 사용하게 되면, L3 핸드오버 시작 시점을 L2 핸드오버 시작 시점보다 앞 당길 수 있으므로 총 핸드오버 지연을 예측 구간에 해당되는 Δt 만큼 줄일 수 있다.

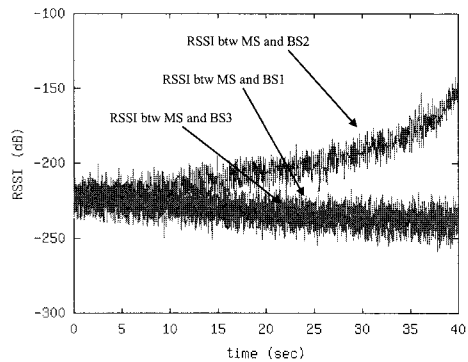
실험의 목적은 예측의 정확성과 총 핸드오버 지연을 관찰하는 것이다. 실험은 다음과 같은 파라미터를 가지고 수행하였다. MAC 프레임의 길이는 5ms, 인접 기지국 탐색 주기는 100ms, 탐색 간격은 100ms, 예측 구간 Δt 는 100ms, 선형 회귀 라인을 계산하기 위한 샘플의 개수는 최근의 50개 샘플을 이용, 단말의 이동 속도는 120km/h, 핸드오버 임계 값 H_{Th} 는 -232 dB, 핸드오버 히스테리시스 마진은 -3 dB이다. 위에서 나열된 핸드오버 파라미터를 가지고 MS는 서빙 기지국과 인접 기지국간의 RSSI 값을 예측하게 된다.

시간 $t = 21.8s$ 에서 MS에서 서빙 기지국 BS1로부터 수신한 RSSI 값은 신뢰도 95%로 예측했을 경우 (-232.01dB, -231.67dB) 사이에서 존재한다. 즉 Lower confidence limit에 해당되는 -232.01dB가 핸드오버 임계 값인 -232dB 보다 작아지게 된다. 이 때, MS에서 인접 기지국 BS2로부터 수신한 RSSI의 예측 값은 -232dB 보다 크며, 양 기지국으로부터의 RSSI 예측 값은 히스테리시스 마진 3dB 이상의 차이가 난다. <그림 3>에 제시된 알고리즘에 따라서 BS2는 목적지 기지국으로 적합하며, L2 Trigger가 발생된다. 실제 L2 핸드오버는 100ms 후인 21.9s에 시작되었으나, 21.8s에 L2 Trigger가 발생되었으므로 L3 핸드오버는 100ms 먼저 시작하게 되며, 총 핸드오버 지연도

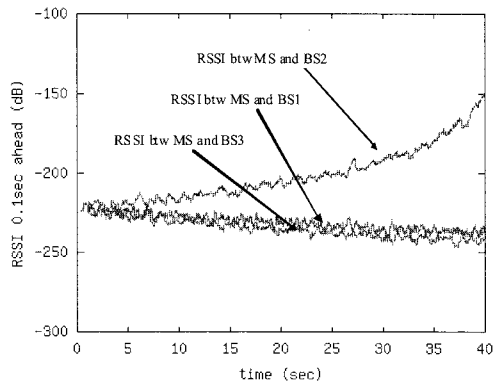
100ms 단축할 수 있다.

<그림 5>에 MS가 탐색 기간 동안 서빙 기지국과 인접 기지국들로부터 실제로 측정된 RSSI 값을 나타내었다. MS가 $t=42$ 에서 Cell2의 중심을 지나므로 BS2로부터의 RSSI 값이 최대가 된다. 반면, Cell1과 Cell3와는 계속 멀어지고 있으므로 RSSI 값은 지속적으로 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다. <그림 6>은 논문에서 사용하는 선형 회귀 라인을 이용한 예측 값을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 예측 값도 실제 값과 유사한 값을 나타내며 비교적 정확히 예측하고 있는 것을 확인할 수 있다.

MS의 이동 속도가 빠르고, 샘플들의 간격이 벌어지게 되면 올바른 예측을 할 수 없다. 따라서 MS의 이동 속도가 빨라질수록 샘플링의 간격을 줄여야 한



<그림 5> 측정된 RSSI 값
<Fig. 5> Measured RSSI value



<그림 6> 예측된 RSSI 값
<Fig. 6> Predicted RSSI value

다. 본 논문의 실험에서 사용한 파라미터인 BS간의 거리가 2.8km이고 MS의 속도가 120km/h인 경우 샘플의 간격이 1.5s 이하이면 충분히 타당한 예측결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 샘플의 간격을 100ms로 설정하였으므로 충분히 많은 샘플을 취할 수 있었다. 본 논문의 단점은 예측이 잘못 수행된 경우 불필요한 모바일 IP 등록 절차가 수행되어 시그널링 오버헤드가 망에 부가될 수 있다는 점이다.

V. 결 론

Mobile WiMAX는 개인 이동 통신으로 사용가능하며, 유비쿼터스 인터넷 접속을 위한 유망한 통신 기술이다. 성공적인 WiMAX의 보급을 위해서는 고속 핸드오버 기술이 매우 중요하다. 본 논문에서는 IETF에서 최근 연구되고 있는 핸드오버 방식과 IEEE 802.16e MAC을 살펴보고, 핸드오버 지연을 줄이기 위한 예측 기반의 L2 Trigger 방식을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 예측 기반의 L2 Trigger는 IETF의 계층 통합적 모빌리티 프레임워크 상에서 동작할 수 있다. 본 논문은 실제로 관찰한 RSSI 값들을 이용하여 예측하므로 단말의 이동 패턴에 대한 특별한 가정이 필요 없다. WiMAX Forum에서 정의한 시스템 파라미터를 가지고 실험을 수행하였으며, 실험결과 예측 값은 실제 값과 거의 같았으며 총 핸드오버 지연을 예측 구간에 해당하는 100ms 만큼 단축할 수 있었다. 좀더 정확한 핸드오버를 위해서는 지리 정보시스템 (GIS: geographic information system)과의 연계가 필요하며 이는 향후 연구할 계획이다.

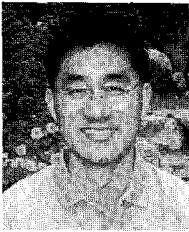
참 고 문 헌

[1] IEEE Std. 802.16-2004, *Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Oct. 2004.
 [2] IEEE Std. 802.16e-2005, *Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*,

Dec. 2005.

[3] K. Malki, *Low Latency Handoffs in Mobile IPv4*, RFC4881, June 2007, Oct. 2005.
 [4] R. Koodli and C. Perkins, *Mobie IPv4 fast handovers*, Internet draft, draft-ietf-fmip4-fmipv4-07.txt, May 2007.
 [5] R. Koodli, *Fast handovers for mobile IPv6*, Internet draft, draft-ietf-mipshopfmipv6-rfc4068bis-01.txt, Mar. 2007.
 [6] I. Akyildiz and W. Wang, "The predictive user mobility profile framework for wireless multimedia networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 12, no. 6, pp. 1021-1035, Dec. 2004.
 [7] R. Hsieh, Z. G. Zhou, and A. Senevirantne, "S-MIP: a seamless handoff architecture for mobile IP," *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 1774-1784, Apr. 2003.
 [8] C. C. Tseng, L. H. Yen, H. H. Chang, and K. C. Hsu, "Topology-aided cross-layer fast handoff designs for IEEE 802.11/mobile IP environments," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 12, no. 12, pp. 156-163, Dec. 2005.
 [9] H. Fathi, R. Prasad, and S. Chakraborty, "Mobility management for VoIP in 3G systems: evaluation of low-latency handoff schemes," *IEEE Wireless Commun.* vol. 12, no. 2, pp. 96-104, Apr. 2005.
 [10] H. Jang, J. Jee, Y. H. Han, S. D. park, and J. Cha, "Mobile IPv6 fast handovers over IEEE 802.16e networks," *Internet draft, draft-ietf-mipshop-fh80216e-01.txt*, Jan. 2007.
 [11] S. Cho, J. Kwun, C. Park, J. H. Cheon, O. S. Lee, and K. Kim, "Hard handoff scheme exploiting uplink and downlink signals in IEEE 802.16e systems," *Proc. IEEE VTC*, vol. 3, pp. 1236-1240, May 2006.
 [12] WiMAX Forum, *Mobile WiMAX-Part 1: A Technical Overview and Performance Evaluation*, Aug. 2006.

저자소개



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



윤 석 열 (Yun, Seok-Yeul)

1980년 3월 ~ 1987년 2월 : 광운대학교 전기공학과 학사
1998년 3월 ~ 1990년 2월 : 광운대학교 전기공학과 석사
1996년 9월 ~ 2000년 2월 : 광운대학교 제어계측공학과 박사수료
1990년 2월 ~ 1999년 5월 : POSCON 기술연구소 책임연구원
1999년 6월 ~ 2002년 5월 : 에이트로닉스 부설연구소 연구소장
2002년 6월 ~ 현재 : (주)제니스텍 대표이사



김 범 준 (Kim, Beom-Joon)

1992년 3월 ~ 1996년 2월 : 연세대학교 전자공학 학사
1996년 9월 ~ 1998년 8월 : 연세대학교 전자공학 석사
1998년 9월 ~ 2003년 8월 : 연세대학교 전기전자공학 박사
2004년 1월 ~ 2006년 2월 : LG전자 선임연구원
2006년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 전자공학과 교수



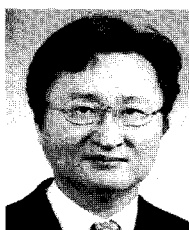
이 정 룬 (Lee, Jung-Ryun)

1991년 3월 ~ 1995년 2월 : 서울대학교 수학과 학사
1995년 3월 ~ 1997년 2월 : 서울대학교 수학과 석사
2002년 9월 ~ 2006년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학 박사
1997년 1월 ~ 2006년 8월 : LG전자, LG-Nortel 책임연구원
2006년 9월 ~ 2008년 2월 : 인천대학교 전자공학과 전임강사
2008년 3월 ~ 현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 조교수



정 영 옥 (Chung, Young-Uk)

1993년 3월 ~ 1997년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학 학사
1997년 3월 ~ 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학 석사
1999년 1월 ~ 2003년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학 박사
2003년 3월 ~ 2005년 8월 : 하이닉스 반도체 책임연구원
2005년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 조교수



이 혁 준 (Lee, Hyuk-Joon)

1985년 9월 ~ 1987년 8월 : University of Michigan, Ann Arbor (학사)
1987년 9월 ~ 1989년 6월 : 시라큐스대학교 전산학 석사
1990년 1월 ~ 1993년 12월 : 시라큐스대학교 전산학 박사
1994년 3월 ~ 1996년 2월 : (주) 삼성전자 멀티미디어연구소 선임연구원
1996년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수