

# 모바일 인터넷 환경에서 신호세기 예측을 이용한 PFMIPv6의 성능 개선

(Performance Improvement of PFMIPv6 Using Signal Strength Prediction in Mobile Internet Environment)

이준희<sup>†</sup> 김현우<sup>\*\*</sup> 최용훈<sup>\*\*\*</sup> 박수원<sup>\*\*\*\*</sup> 이승형<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
 (Jun-hui Lee) (Hyun-woo Kim) (Yong-Hoon Choi) (Suwon Park) (Seung-Hyong Rhee)

**요약** 모바일 인터넷 환경에서 단말의 끊김 없는 서비스 제공을 위해 고속 핸드오버 기술이 필수적이다. 현재까지 다양한 핸드오버 기술들이 제안되었으며, Fast handover for Proxy Mobile IPv6 (PFMIPv6)가 고속 핸드오버에 적용될 수 있는 유력한 기술이다. 본 논문에서는 PFMIPv6 기술이 모바일 와이파이와 같은 무선 인터넷 환경에 효과적으로 적용될 수 있도록 예측 모델을 적용한 L2-L3 핸드오버의 크로스 레이어 기법을 제안하였다. 제안한 핸드오버 기법의 검증을 위해 맨하탄 모델, 고속도로 모델, 개방 모델의 세 가지 이동 환경을 고려하였으며, 각 환경에서 predictive-mode 동작 성공 확률, 핸드오버 지연시간, 패킷 손실량, 시그널링 비용에 대해서 비교 분석하였다. 성능 분석을 통해 제안한 방식이 PFMIPv6와 비교하여 더 우수한 성능을 나타낸 것을 확인하였다.

**키워드 :** 모바일 인터넷, PFMIPv6, ARIMA

**Abstract** For the successful deployment of Mobile Internet, fast handover technologies are essential. For the past few years several handover mechanisms are suggested, and Fast Handover for Proxy Mobile IPv6 (PFMIPv6) is one of the promising schemes for this purpose. In this paper, we propose a novel L2/L3 cross layer handover scheme based on ARIMA prediction model to apply PFMIPv6 to Mobile Internet environment effectively. Performance gains are evaluated in terms of probabilities of predictive-mode operation, handover latencies, packet loss probabilities, and signaling costs. Three mobilities models are used for our simulation: Manhattan Model, Open Area Model, and Freeway Model. Simulation results show that the proposed scheme can increase probabilities of predictive-mode operation and reduce handover latency, packet loss probabilities, and signaling cost.

**Key words :** Mobile Internet, PFMIPv6, ARIMA

· 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2009-F-042-01. 내장형 안테나 어레이 기반의 차세대 차량용 이동통신 시스템 기술연구]

<sup>†</sup> 학생회원 : 한화 화약 종합연구소 연구원

0\_o@kw.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 학생회원 : 광운대학교 제어계측공학과

kurena0106@kw.ac.kr

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 광운대학교 제어계측공학과 교수

yhchoi@kw.ac.kr

(Corresponding author)

<sup>\*\*\*\*</sup> 정회원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수

spark@kw.ac.kr

<sup>\*\*\*\*\*</sup> 종신회원 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

rhee@kw.ac.kr

논문접수 : 2009년 12월 30일

심사완료 : 2010년 4월 28일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제37권 제4호(2010.8)

## 1. 서 론

모바일 오피스와 같은 이동 환경에서 끊김 없는 서비스 제공을 위해서는 핸드오버 지연시간과 핸드오버 시그널링 오버헤드를 최소화해야 한다.

현재 IP 계층의 이동성 제공을 위해 Proxy Mobile IPv6(PMIPv6)를 도입하는 추세이다[1]. 이는 네트워크 기반의 이동성 관리 기술로서 단말을 관리하는 mobile access gateway(MAG)이 단말들의 핸드오버를 대행해 주기 때문에 mobile IP(MIP) 프로토콜이 탑재되지 않은 단말에도 바로 적용할 수 있는 방법이다. PMIPv6의 경우 MIPv6보다 시그널링 오버헤드가 감소되는 성능 향상이 있음에도 불구하고 핸드오버 지연시간과 그 지연시간 동안의 패킷 손실에 대한 문제는 해결하지 못했다.

핸드오버 지연시간과 패킷 손실 문제들에 대한 많은 연구 중 하나로 [2]가 있다. 이 연구는 핸드오버 관련 데이터(Address Book)를 인접 기지국에 미리 보고하여 핸드오버 절차를 간소화하고 이에 따른 핸드오버 지연 시간의 단축을 유도한다. 참고문헌[3] 역시 인접 기지국이 단말에 대한 정보를 공유하여 단말의 핸드오버가 발생하지 않도록 하는 기법에 대해 제안하고 있다. 하지만 이러한 방법 역시 단말에 대한 정보를 공유하는 기지국 그룹을 벗어났을 경우 불가피하게 핸드오버가 발생하게 되며 새로운 그룹에 단말의 정보가 담긴 메시지를 전송할 때 발생하는 시그널링 비용과 오버헤드는 네트워크에 부담을 줄 수 있다.

핸드오버 지연시간과 패킷 손실에 대한 해결책으로 계층 통합적인 접근 방법도 활발히 연구가 진행중이다. 참고문헌[4]의 경우 IEEE802.16 핸드오버와 PMIP을 계층 통합적으로 접근하였다. L2 핸드오버 전에 L3 핸드오버에 관련된 정보들을 미리 교환하고, L2 핸드오버 중에는 네트워크 레벨에서 단말로 향하는 패킷을 버퍼링한다. 패킷 손실이 줄어들긴 하지만, L2 핸드오버가 시작된 후에 기지국 간에 터널을 만들고 생성된 터널을 이용하여 단말로 향하는 데이터를 버퍼링하여 전송하기 때문에 터널을 만드는 동안에 단말로 향하던 패킷은 유실되어, 핸드오버 지연으로 인한 패킷 손실을 완전히 막지는 못한다는 단점이 있다.

핸드오버 시그널링 오버헤드를 줄이는 동시에 핸드오버 지연시간을 단축시키기 위해서 PMIPv6 기법과 Fast handover for Mobile IPv6(FMIPv6) 기법을 융합한 PFMIPv6 방법이 등장했다[5]. 핸드오버는 네트워크 레벨에서 이뤄지는 동시에, L2-L3 크로스 레이어 기법을 통해 핸드오버 지연시간을 단축하는 방법이다. PFMIPv6에는 핸드오버가 성공적으로 수행 되었을 때의 동작과 핸드오버가 실패하였을 때의 동작이 존재하며, 핸드오버가 성공적으로 수행되었을 경우에만 핸드오버 지연시간이 단축된다.

본 논문에서는 PFMIPv6의 성능을 개선하기 위한 알고리즘을 제안한다. 알고리즘에 사용될 예측 데이터는 ARIMA Model을 사용하여 추정한다[6]. 단말이 이동하는 동안 인접 기지국에 대한 신호세기를 측정하여 이를 기반으로 예측한다. 예측을 통하여 L3 사전 핸드오버의 시작 시점을 L2 트리거로 알릴 수 있다. 예측이 정확하게 이뤄졌을 경우 L3 사전 핸드오버가 이뤄질 충분한 시간을 확보할 수 있으며, 이에 따라 L3 사전 핸드오버 작업이 정상 종료된 후 L2 핸드오버가 발생하기 때문에 PFMIPv6는 predictive-mode로 동작하게 된다. 본 논문은 기지국과 단말 간의 신호세기를 측정 및 예측하여, 이를 토대로 적절한 L2 트리거를 발생시켜주는 데에 초점을 맞춘다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.16-2009 L2 핸드오버와 PMIPv6, PFMIPv6에 대해 소개한다. 3장에서는 제안하는 핸드오버 알고리즘에 대해 설명하며, 4장에서는 실험을 통해 기존의 PFMIPv6에 대비한 성능향상을 확인한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 IEEE 802.16 L2 핸드오버 절차

그림 1은 mobile station(MS)의 요청에 의한 base station(BS)와 MS간의 핸드오버 절차에 대해 보여주고 있다. MS가 가능한 target BS로의 핸드오버 가능성을 판단하기 위해 단말은 MOB\_NBR-ADV 메시지로부터 획득한 인접 기지국 정보를 사용하거나 이동 단말의 인접 BS 탐색 절차에 의해 셀 선택을 수행할 수 있다. 또, 단말은 네트워크 진입이나 핸드오버의 동작을 위한 target BS를 찾기 위한 탐색 구간 동안 초기 레인딩 절차를 수행할 수 있다[7].

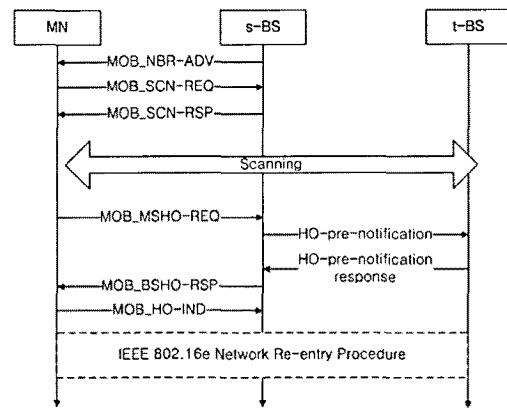


그림 1 MS의 요청에 의한 핸드오버 절차

MS가 serving BS로부터 target BS로 핸드오버를 하기 위해선 MS가 셀 탐색을 수행해야 하는데 이는 serving BS로부터 주기적으로 수신되는 메시지에 대해 RSSI 값을 감시하여 RSSI가 임계치에 다다랐을 경우 발생한다. 탐색 기간 동안 MS는 주변 BS들로부터 수신되는 하향 링크의 RSSI값과 serving BS의 RSSI 값을 비교하게 된다. target BS와 serving BS의 RSSI 값을 차이가 3dB 이상이면 핸드오버가 수행되게 된다.

### 2.2 PMIPv6

PMIPv6는 네트워크-레벨에서 단말의 핸드오버를 대신 진행하여 주는 로컬 이동성 관리 프로토콜로서, MIPv6가 탑재되어 있지 않은 단말에도 이동성을 제공하는 장점이 있다. 단말의 이동성을 관리해주기 위해 단

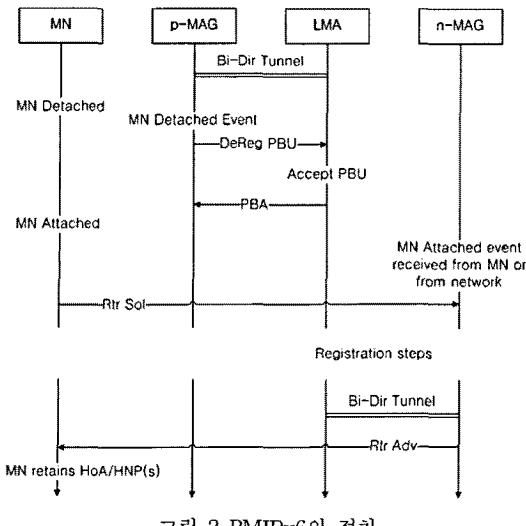


그림 2 PMIPv6의 절차

말의 MIPv6 기능을 대신 수행해주는 MAG와 단말의 프리픽스를 관리하는 동시에 MIPv6의 home agent (HA) 역할을 하는 local mobility anchor(LMA)가 PMIPv6에서 새로 정의되었다[1].

PMIPv6의 동작은 그림 2와 같다. 단말이 새로운 서브넷에 접속하면 단말 대신에 MAG가 LMA와 proxy binding update (PBU) 과정을 수행한다. LMA에서 단말의 프리픽스 및 binding cache entry (BCE)를 관리하므로 단말은 핸드오버 시에도 동일한 home address를 사용한다. MAG에서 단말 대신 핸드오버 절차를 수행하기 때문에 무선구간의 자원소모 문제와 단말의 오버헤드 문제가 해소된다. 더불어 단말의 전원이 절약되는 효과도 얻을 수 있다. 하지만 핸드오버 지연 문제와 그에 따른 패킷 손실은 해결되지 않았다.

### 2.3 PFMIPv6

PFMIPv6는 PMIPv6를 기본으로 하여 FMIPv6의 크로스 레이어 디자인을 접목시킨 기법이다[5]. PFMIPv6에는 predictive-mode와 reactive-mode, 두 가지의 동작 모드가 존재한다. 아래 그림 3에 predictive-mode의 절차에 대해서 나타내었다.

Predictive-mode로 동작할 경우 L2 핸드오버가 발생하기 전 L3 핸드오버에 관련된 정보에 대해 미리 메시지 교환을 수행한다. previous-MAG(P-MAG)과 new-MAG (N-MAG)은 핸드오버로 인한 단절시간 동안 발생할 패킷 손실을 방지하기 위해 미리 양방향 터널을 설정하고, 터널링 된 패킷을 버퍼링한다. 여기서 언급된 과정들이 L2 핸드오버가 발생하기 전에 정상적으로 완료되지 못한다면 reactive-mode로 동작하게 된다. 이 경우 PFMIPv6에서의 패킷 손실양의 감소와 지연시간

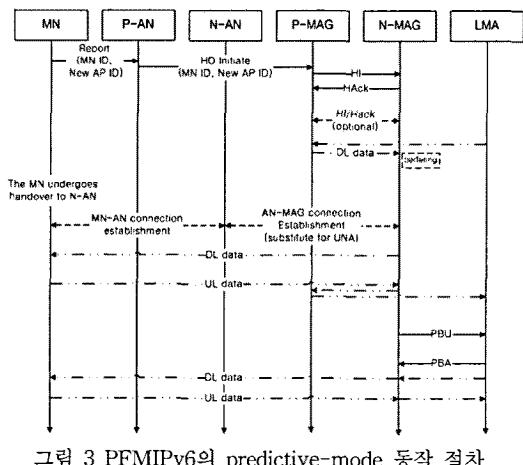


그림 3 PFMIPv6의 predictive-mode 동작 절차

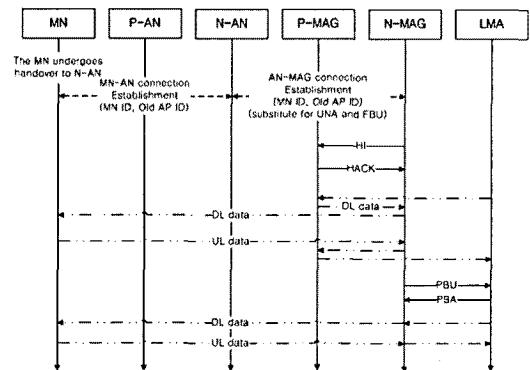


그림 4 PFMIPv6의 reactive-mode 절차

의 절감 등의 효과를 볼 수 없다. L2 핸드오버가 발생한 뒤에는 버퍼링 되어 있던 패킷이 다시 mobile node (MN)로 포워딩되며, PBU/A 메시지 교환으로 LMA와 N-MAG 간의 경로 재설정이 끝난 뒤에 predictive-mode가 종료된다.

그림 4에는 reactive-mode의 절차가 나타나 있다. reactive-mode는 predictive-mode에서 P-MAG와 N-MAG의 양방향 터널이 L2 핸드오버를 기점으로 L2 핸드오버 전에 생성되지 못할 경우 작동하게 된다. reactive-mode로 핸드오버가 이뤄질 경우 단축되는 핸드오버 지연시간은 없으며, P-MAG와 N-MAG 사이에 터널이 생성되지 않아, MN으로 전송되던 패킷이 그대로 유실되므로, 패킷 손실양도 감소하지 않는다.

### 3. 제안하는 신호세기 예측 기반 PFMIPv6 기법

앞서 언급한 것과 같이, PFMIPv6의 성능을 최대화하는 방법은 predictive-mode로 동작하는 것이다. predictive-mode로 동작할 때에 핸드오버 지연시간 단축 및

및 패킷 손실 감소라는 이득이 생긴다. PFMIPv6가 predictive-mode로 동작할지, reactive-mode로 동작할지의 문제는 N-MAG과 P-MAG 사이에 터널이 생성될 시간이 충분히 확보되는가의 여부에 달렸다.

본 논문에서 제안하는 기법은 L2 핸드오버 이전에 발생하는 L3 핸드오버 과정이 정상적으로 이뤄질 수 있도록, L2 핸드오버 시점을 미리 예측하여 L2 트리거를 발생시켜서 PFMIPv6의 predictive-mode 동작 확률을 증가 시킨다. L2 핸드오버의 예측을 위해 기지국과 이동 중계기 사이의 신호세기를 측정하고 측정된 데이터를 이용하여 예측을 수행했다.

### 3.1 신호세기 예측 방법

단일 시계열분석(Univariate time series analysis)이란 특정한 설명변수를 이용하지 않고 해당 시계열의 과거 정보만을 이용하여 현재 상태를 설명하고 미래의 변화방향을 예측하는 기법이다. 즉 시계열변수의 현재 상태를 시계열변수의 내재적인 경향과 외적인 충격들의 결과로 보는 것이다. 단일 시계열 분석의 대표적인 방법이 ARIMA 모델이다[6]. ARIMA 모델은 자기회귀(AutoRegression) 모델과 이동평균(Moving Average) 모델을 결합하여 차분(differencing)한 모델이다. 자기회귀모형은 과거의 상태가 현재에 미치는 영향으로부터 발생하는 변화를 반영하며, 이동평균모델은 순수한 충격들의 영향에 의해서만 발생하는 변화를 반영한다. 두 모델의 결합은 충격 요인이 안정적일 경우에만 설명이 가능하기 때문에 불안정적인 시계열변수를 안정화하는 방법으로서 차분을 이용한 것이다. 본 논문에서는 신호세기 예측을 위해, 위에서 언급한 ARIMA 모델을 사용했다.

ARIMA 모델은 잠정적인 모델을 추정한 후 auto correlation function(ACF)과 partial auto correlation function(PACF)을 이용하여 모델의 적합성을 판단한다. 모델이 적합하지 않은 경우 ACF와 PACF의 모습에 따라 모델을 수정한다. 수정된 모델의 ACF와 PACF가 백색잡음과정(White Noise)의 모습을 보일 때까지 이러한 과정을 반복하여 가장 적합한 모델을 채택하게 된다. 일반적 ARIMA(p,d,q) 모델은 원시계열  $Z_t$ 를 d차 차분한 시계열에 대해 자기회귀과정의 차수가 p이고 이동평균의 차수가 q인 시계열 과정임을 나타낸다. 구체적인 형태는 아래와 같다.

$$(1 - \Phi_1 L - \dots - \Phi_p L^p)(1 - L)^d Z_t = \theta_0 + (1 - \theta_1 L - \dots - \theta_q L^q) a_t \quad (1)$$

여기서 L은 Lag operator를 뜻하며 at는 백색잡음을 따르는 오차항이다.

본 논문에서는 원시계열  $Z_t$ 를 1차 차분하여 관찰한 결과 대부분의 시계열 과정들이 정상 과정(stationary process)임을 확인할 수 있었다. 따라서 d=1로 정하였

다. 또한 ACF와 PACF를 관찰한 결과 p와 q의 값은 1-4까지 다양한 값을 선택할 수 있었다. 계수 p와 q의 값은 시계열 과정에 적합하게 변경하여 사용할 수 도 있지만, 이렇게 하면 계산 오버헤드가 증가하여, 신속한 핸드오버 결정에 장애 요인이 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 자기회귀과정 차수가 1이고 이동평균의 차수가 1인 시계열 과정(ARIMA(1,1,1))을 택하였다. 각각의 샘플에 대하여 p, d, q를 다르게 적용할 수 있지만 이들의 수치 산출을 위한 ACF와 PACF 과정은 복잡하다. 각 이동 모델의 대표 샘플에 대해 ACF와 PACF로 p, d, q 값을 선정한 결과 각각의 파라미터가 1, 1, 1인 경우가 최적이었으므로 p, d, q의 값을 1, 1, 1로 고정하여 실험을 진행했다. 단, 예측을 할 때 취합된 샘플에 대해 매 시점, 최적의  $\Phi_1$ 과  $\theta_1$ 값을 산출하여 적용한다.

그림 5는 4장 실험에서 사용한 Manhattan 이동 모델 하에서 이동 단말과 서빙 기지국 간의 신호의 세기를 샘플링하여, ARIMA 차수를 정하는 과정과 정해진 차수를 이용해 예측한 신호의 세기 그래프이다. 그림 5의 (a)와 (b)에서 보듯이 PACF와 ACF를 관찰한 결과 ARIMA(1,1,1) 사용이 적합하다. 이는 (c)에 나타나 있는 “portmanteau tests” 결과에 의해서 확인이 가능하다. 그림 5의 (d)에서 보듯이 예측 값이 실제값과 유사하다는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 제안된 기법의 절차 및 기준 PFMIPv6와의 차이점

아래 그림 6에서 제안된 기법의 절차에 대한 순서도를 나타내었다. PFMIPv6에서 access network(AN)의 역할을 하는 이동 중계기는 현재 기지국에 대해 현재 데이터를 포함한 과거 데이터 100개를 샘플로 하여 미래 신호세기의 예측(serving BS RSSIt+1)을 수행한다. 예측한 값이 핸드오버 임계치보다 작을 경우 스캐닝을 시작한다. 스캐닝을 시작으로 인접된 후보 기지국들과 현재 접속된 기지국에 대한 신호세기의 예측(serving BS RSSIt+1, target BSs RSSIt+1)을 수행한다. 현재 접속된 기지국의 신호세기 예측값(serving BS RSSIt+1)과 후보 기지국들 중 가장 신호세기가 강한 기지국의 예측된 신호세기(target BS RSSIt+1)를 비교하여 그 차(target BS RSSIt+1 - serving BS RSSIt+1)가 히스테리시스 마진을 넘는 경우 L2 트리거를 발생한다. L2 트리거를 감지한 L3에서는 그림 3과 같이 MAG에 handover initiate (HI) 메시지를 serving BS(P-MAG)에게 보내 PFMIPv6의 predictive-mode를 시작한다.

기존의 PFMIPv6의 경우, 제안하는 예측 알고리듬이 적용되어 있지 않으므로, 예측값이 아닌 현재 측정한 RSSI 값을 토대로 L2 트리거를 발생시킨다. 따라서 제안하는 알고리듬을 적용할 경우, 정확한 예측을 수행한 경우에는 예측 구간 만큼 L2 트리거가 일찍 발생할

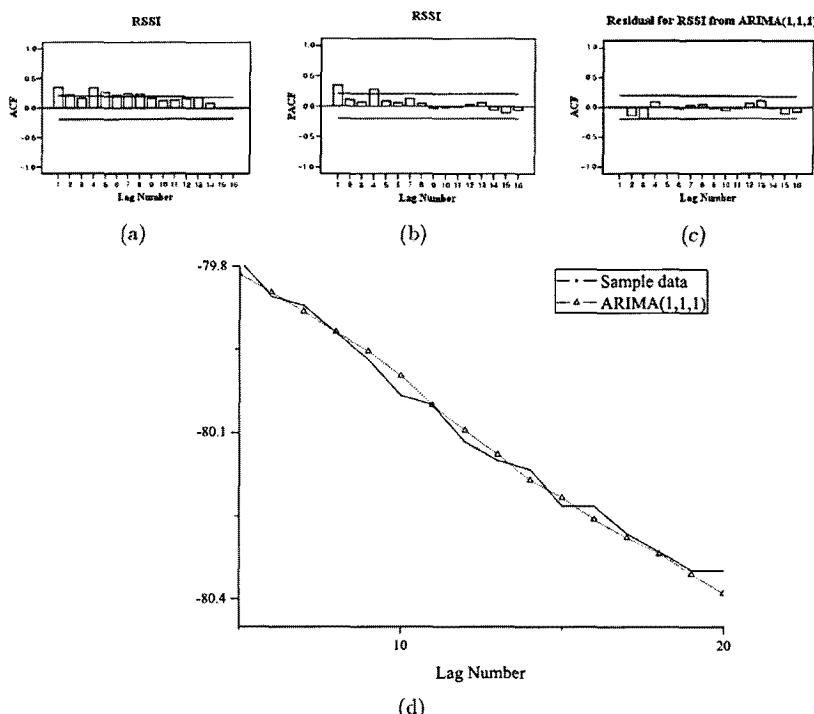


그림 5 ARIMA 예측 과정 및 결과

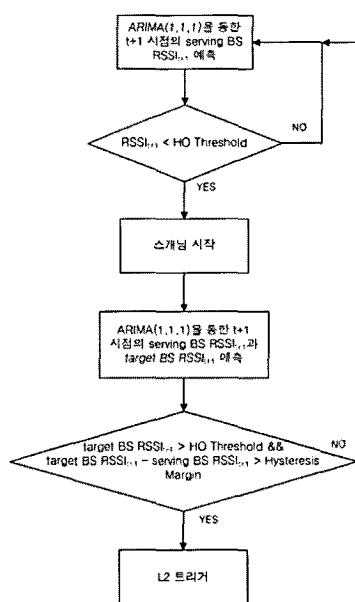


그림 6 제안된 기법의 절차에 대한 순서도

수 있으며, 따라서 핸드오버 절차도 예측 구간만큼 일찍 시작할 수 있어, PFMIPv6가 predictive-mode로 동작 할 확률이 높아진다.

#### 4. 성능 분석

##### 4.1 실험 환경

본 실험을 위해 단말(차량용 Mobile RS 포함) 및 mobile network node(MNN)가 이동 모델에 따라 움직이는 상황을 가정했다. Mobile network의 이동 모델로 Open Area Mobility(OM) 모델, Manhattan Mobility (MM) 모델, Highway Mobility(HM) 모델을 사용했으며[8], 각 모델에 대한 설명은 표 1에 정리했다. L2 핸드오버 절차는 그림 1에 기술된 IEEE802.16 핸드오버 절차를 가정하였다. 본 연구에서 제안하는 기법은 Serving BS의 신호의 세기를 측정할 수 있는 형태의 망에는 모두 적용 가능하나, 실험의 단순화를 위해 L2 핸드

표 1 이동 모델의 종류

Open Area Mobility Model	2D 직교 좌표계 위를 움직이는 한 점에 대해, 진행방향으로 움직일 확률과 진행방향에 대해 좌/우로 움직일 확률을 각각 33%씩 두는 모델
Manhattan Mobility Model	일정한 너비의 격자 위를 움직이는 한 점에 대해, 교차점을 지날 경우 진행방향으로 직진할 확률과 진행방향에 대해 좌/우로 움직일 확률을 각각 33%씩 두는 모델
Highway Mobility Model	실제 고속도로와 같이 심플한 1-way의 길을 따라가는 모델

오버 방식을 IEEE 802.16 망으로 한정하였다. 또한, 예측 기법이 효과적으로 적용될 수 있도록, 고속 이동 환경을 고려하여 이동 속도를 차량 이동 속도로 설정하였다. 단말은 차량용 이동 릴레이인 경우에도 유사하게 적용될 수 있다.

여기서 OM 모델과 MM 모델이 적용될 공간은 그림 7과 같이 5km by 5km로 한정되어져 있으며 각 기지국은 총 36개가 1km 간격으로 놓여 있다. MM 모델 적용 시 도로 간격은 0m, 블록의 크기는 50m by 50m로 가정한다.

한편, HM 모델이 적용될 공간은 서해안 고속도로의 당진JC와 면천IC 사이의 길을 모델로 삼았으며 기지국은 아래 그림 8과 같이 길 주변을 따라 조밀히 설치했다고 가정하였다.

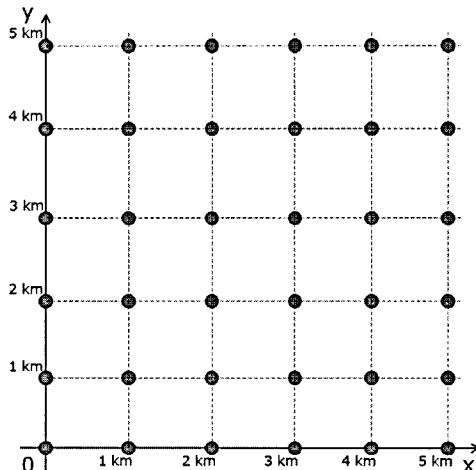


그림 7 실험 구역과 BS의 배치도



그림 8 HM 모델의 실험 구역과 BS의 배치도

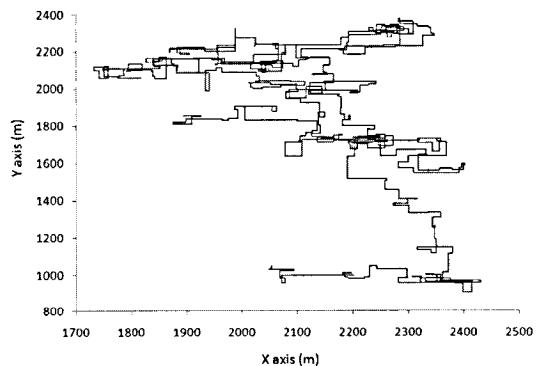


그림 9 OM 모델에 의한 궤적

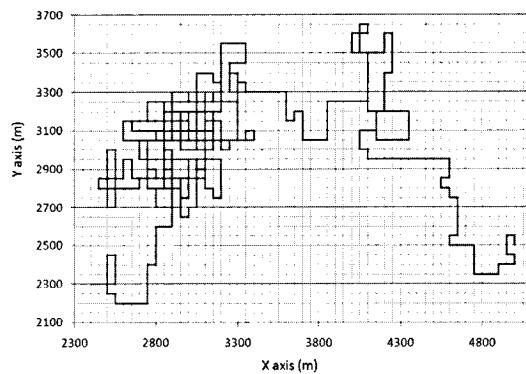


그림 10 MM 모델에 의한 궤적

각각의 모델 구현 시 이동 노드는 OM 모델의 경우 0~30km/h, MM 모델의 경우 0~80km/h, HM 모델의 경우 80~100km/h의 속도로 이동하도록 하였다. 한편, 각 이동 모델의 공통사항은 실험 공간을 이탈하거나 실험 시간이 1시간을 초과했을 경우 실험은 자동 종료된다는 점이다. 그림 9와 그림 10에는 OM 모델과 MM 모델에 대해 구현한 결과 중 하나씩을 선정하여 2차원 궤적 그래프로 나타냈다.

각 이동 모델의 이동 데이터에서 RSSI값을 추출하기 위해 Cost 231 Hata Propagation Model을 이용하였는데 이 모델은 기존 Hata 모델보다 넓은 스펙트럼을 사용하는 것이 특징이다[9]. 이동 모델의 특성이 상이한 만큼, OM 모델과 HM 모델에는 Cost 231 Hata for Open Areas을, MM 모델에는 Cost 231 Hata for Suburban Areas를 적용했다. 해당 파라미터는 위의 표 2에 정리하였다.

Hata 모델을 통해서 도출된 값이  $T(dB)$ 라면 최종적으로 RSSI 값은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$RSSI = 43(dBm) - T(dB) - 10(dB) \quad (3)$$

표 2 RSSI 도출에 관련한 파라미터

Parameters	Value
BS Height	32 meters
Mobile Terminal Height	1.5 meters
Propagation Model	COST 231 Hata
BS Maximum Power Amplifier Power	43 dBm
Penetration Loss	10 dB
Handover Threshold	-80 dB
Hysteresis Margin	-3 dB

본 RSSI 값은 100ms 주기로 샘플링 되며, ARIMA (1,1,1) 모델을 통해 현재 시점으로부터 100ms 후의 RSSI 값을 예측했다.

또, 패킷 손실율의 측정을 위해서 실험이 진행하는 동안 Correspondent Nodes(CN)에서 MN으로 동일 크기의 Constant Bit-Rate(CBR) 패킷이 전송된다고 가정하였다.

#### 4.2 성능 비교 요소

본 논문에서 제안하는 기법과 기존의 PFMIPv6의 성능 비교를 위해, predictive-mode 동작율과 평균 핸드오버 지연시간, 평균 패킷 손실, CMR에 따른 시그널링 비용 측면에서 측정 및 분석하였다. 이는 [3]의 분석방법을 참고 하였다.

Predictive-mode 동작율은 총 핸드오버 횟수에 대한 predictive-mode로 동작할 횟수를 백분율로 표시한 것이다. 반복된 실험의 결과를 모두 합하여 평균 낸 수치이다.

핸드오버 지연시간은 단말이 핸드오버 과정동안 패킷을 송수신하지 못한 시간이다. 핸드오버 지연시간은 L2 링크가 스위칭하는 지연 시간( $D_{L2}$ )과 IP의 연결 지연시간( $D_{IP}$ ), 그리고 위치 개선에 걸리는 시간( $D_{LU}$ )의 총 합이다. 여기서 위치 개선에 걸리는 시간( $D_{LU}$ )은 세분화하여 주소 요청에 걸리는 시간( $t_{AR}$ ), HA와 단말 사이에 메시지 전송 지연( $t_{HA-MS}$ ), MIP의 지연( $t_{MIP}$ )으로 정리할 수 있다. 따라서 핸드오버 지연시간에 대한 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} D_{HO,MIP} &= D_{L2} + D_{IP} + D_{LU} \\ &= D_{L2} + D_{IP} + t_{AR} + 2 \times t_{HA-MS} + t_{MIP} \end{aligned} \quad (4)$$

패킷 손실은 지연 시간에 비례한다. 따라서 패킷 도착율을  $\lambda_p$ 라고 한다면 패킷 손실은 다음과 같다.

$$L_{HO,MIP} = \lambda_p \times (D_{HO,MIP} - t_{HA-MS}) \quad (5)$$

현재 본 논문에서 다루고 있는 PFMIPv6의 경우 predictive-mode와 reactive-mode의 핸드오버 지연시간을 각각 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$D_{HO,PFMIP-Pre} = D_{L2} + t_{AR} + 2 \times t_{BS-mobile RS} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} D_{HO,PFMIP-Re} &= D_{L2} + t_{IP-mv} + t_{AR} \\ &\quad + 3 \times t_{PAR-NAR} + 2 \times t_{NAR-mobile RS} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $t_{IP-mv}$ 란 IP 계층에서 이동을 감지하는데 걸리는 지연시간을 뜻한다. PFMIPv6의 패킷 손실 역시 지연시간에 비례하므로 다음 식으로 정리할 수 있다.

$$L_{HO,PFMIP-Pre} = \max(0, \lambda_p \times (D_{HO,PFMIP-pre} - t_{NAR-mobile RS}) - Buffer_{NAR}) \quad (8)$$

$$L_{HO,PFMIP-Re} = \lambda_p \times (D_{L2} + t_{IP-mv} + t_{AR} + t_{NAR-MS} + t_{PAR-NAR}) \quad (9)$$

마지막으로 시그널링 비용은 특정 시그널링이 전체 시그널링에 대비하여 네트워크에 주는 부하의 상대양이다. 시그널링 비용이 낮을수록 오버헤드가 감소한다. 시그널링 비용을 정의하기 위해 표 3의 파라미터를 사용한다.

표 3 시그널링 비용의 정의에 쓰인 파라미터 정의

p	MN call to mobility ratio (CMR) $\rho = \lambda / \mu$ ( $\lambda$ : 호 도착율 / $\mu$ : 호 지속시간의 역수)
U	MIP에서의 위치 개선의 평균 시그널링 비용
L	PFMIP에서 NAR과 PAR 사이의 터널을 생성할 때 시그널링 비용

여기서 CMR의 의미는 CMR의 값이 커지면 커질수록 MN의 이동성이 낮아진다는 것이며, 그만큼 핸드오버 발생이 감소한다는 의미이다.

위의 요소를 통하여 MIPv6의 위치 개선 비용을 정의하면 다음과 같다. 여기서 a(i)는 MN가 핸드오버를 발생시킬 확률이다.

$$C_{MIP}(\rho) = \sum_{i=0}^{\infty} i U \alpha(i) = \frac{U}{\rho} \quad (10)$$

PMIPv6의 경우 핸드오버 지연시간은 줄어들지만 패킷 손실 방지를 위해 PAR과 NAR 사이의 터널을 만들기 위해 추가적으로 시그널링을 해야 한다. L는 PAR과 NAR 사이의 터널을 생성할 때의 시그널링 비용이다. 다음 식은 PMIPv6의 위치 개선 비용을 정의한 식이다.

$$C_{PFMIP}(\rho) = \sum_{i=0}^{\infty} i (U + L) \alpha(i) = \frac{U + L}{\rho} \quad (11)$$

위에서 도출한 식 (11)을 이용하여 전체의 시그널링 비용을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} T_{PFMIP}(\rho) &= C_{PFMIP} + M + 2T + F + B \\ &= \frac{U + L}{\rho} + M + 2T + F + B \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 M은 MIP의 패킷 전송 비용을 뜻한다. F는 패킷의 전달 및 라우팅 비용을, T는 PFMIP의 추가적인 캡슐화 비용을 의미한다. B는 PFMIP에서 NAR에 패킷을 베팠하는 비용이다.

#### 4.3 실험 결과

성능 분석을 위해 각 이동 모델에 대해 총 30회의 텐

抑郁한 데이터를 이용하여 실험을 한 뒤 실험한 데이터를 평균 내었다.

먼저 각각의 이동 모델에 대한 predictive-mode 동작율을 살펴보겠다. 그림 11에서 보듯이 OM 모델의 경우 본 논문에서 제안하는 방식이 기존 방식에 비해 약 7.8% 성능 향상이 있었다. MM 모델과 HM 모델 환경에서 역시 본 논문에서 제안한 방법이 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 12는 핸드오버 지연시간의 결과에 대해 나타내고 있다. 전 이동 모델에 걸쳐서 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 PFMIPv6에 대해 지연시간 단축이 있는 것으로 나타났다. 특히 OM 모델에서는 지연시간이 약 8.7ms 단축 되었다. 이것은, 예측을 통해 적절한 L2 트리거 발생 시점을 결정하여 L3 핸드오버가 L2 핸드오버 이전에 정상 종료할 수 있도록 하였기 때문이다.

다음 그림 13은 패킷 손실양 결과이다. 핸드오버 시간연시간 동안 단말은 패킷 손실을 경험하게 되는데, predictive-mode로 동작할 확률이 높아진다면, 핸드오버 과정 동안 패킷이 버퍼링 되어 손실을 방지할 수 있다. 이러한 이유로 본 논문에서 제안한 방법이 패킷 손실양에 기준에 비해 감소됐다.

다음 그림 14 - 그림 16은 각각의 이동 모델 환경에서의 시그널링 비용 결과를 정리한 그래프이다. CMR 수

치는 2에서부터 10까지 순차적으로 증가하여 실험했다. 위에서 서술했듯이 CMR 수치는 0으로 근접할수록 MN의 이동이 빈번하고 이동속도가 빠르다는 의미를 갖고 있다. 반대로 10으로 CMR 수치가 근접할수록 MN의 활동성이 낮아지고 이동속도가 느려진다는 의미가 된다. 제안된 방법이 상대적으로 predictive-mode로 동작할 경우가 높아지기 때문에, reactive-mode로 동작할 경우가 줄어들고 이로 인해 시그널링이 감소된다. CMR이 2인 경우, OM 모델에서는 약 374.5, MM 모델에서는 약

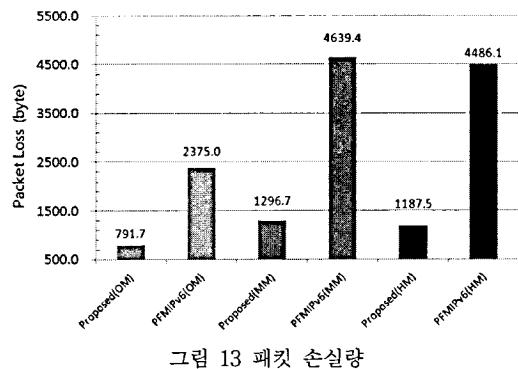


그림 13 패킷 손실량

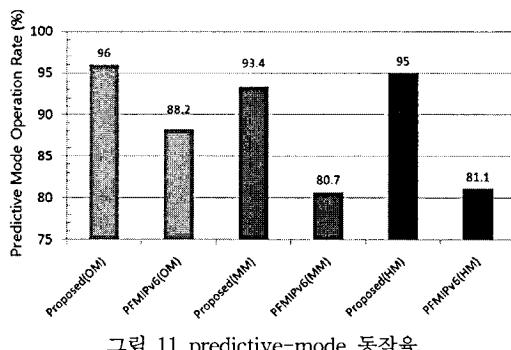


그림 11 predictive-mode 동작율

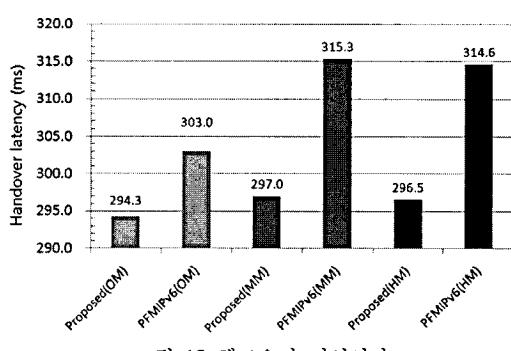


그림 12 핸드오버 지연시간

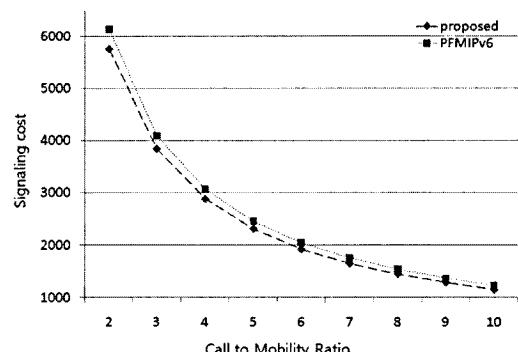


그림 14 OM 모델에서의 시그널링 비용

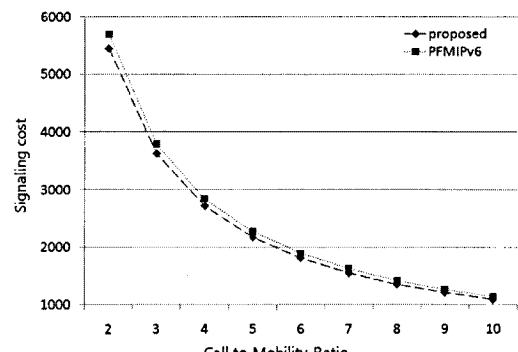


그림 15 MM 모델에서의 시그널링 비용

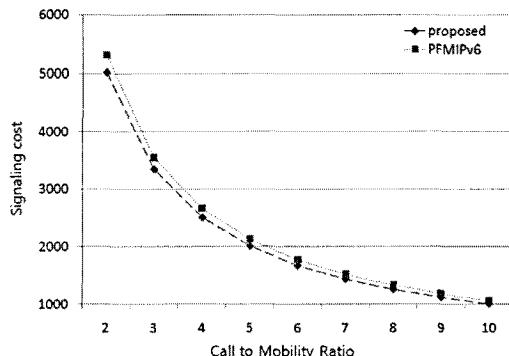


그림 16 HM 모델에서의 시그널링 비용

245.1, HM 모델에서는 약 304.4 만큼의 시그널링 비용이 절약됐다. 여러 CMR 조건 구간에서 본 논문에서 제안한 방법의 시그널링 비용이 기존의 PFMIPv6에 비해 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 핸드오버 지연시간을 단축하기 위한 핸드오버 기법을 제안하였다. 제안한 핸드오버 기법은 신호의 세기를 ARIMA 모델을 사용하여 예측하여, L2 트리거를 발생시켜 PFMIPv6 환경에서 predictive-mode로 동작할 확률을 높여준다. 이에 따라 핸드오버 지연시간이 단축되며, 패킷 손실율과 시그널링 비용도 절감할 수 있다. 제안한 기법의 성능 평가를 위해 세 가지 이동모델을 이용하여 실험하였다. 실험을 통해 핸드오버 지연시간과, 패킷 손실율, 시그널링 비용을 관찰하였으며, 제안한 기법이 PFMIPv6 보다 성능이 우수한 것을 확인하였다. 특히, 일정한 방향으로 움직이거나 속도 변화가 적은 경우 ARIMA 예측 기법이 잘 적용되어, 우수한 성능을 보였다.

본 연구에서 제안한 시계열 분석 기반의 RSSI 예측과 이를 토대로 L2 트리거를 발생시켜 PFMIPv6의 성능을 개선하는 방안은 와이브로 뿐만 아니라 다른 무선 네트워크에도 적용가능하다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Gundavelli *et al.*, "Proxy Mobile IPv6," RFC 5213, Aug., 2008.
- [2] Y. Zhang *et al.*, "A Pre-Anticipated Handover Seamless QoS Scheme for IEEE 802.16e Based on Mobile Station Character Pattern," WiCOM2006, Sep. 2006.
- [3] J. Yeh *et al.*, "Fast Intra-Network and Cross-Layer Handover (FINCH) for WiMAX and Mobile Internet," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol.8, Iss.4, pp.558–574, Apr. 2009.
- [4] S. Sim *et al.*, "Seamless IP Mobility Support for Flat Architecture Mobile WiMAX Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol.47, Iss. 6, pp.142–148, Jun. 2009.
- [5] H. Yokota *et al.*, "Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6," Internet-Draft, Dec. 2009; draft-ietf-mipshop-pfmiipv6-12.txt,
- [6] G. Box *et al.*, "Time Series Analysis, Forecast and Control," 3rd ed, Prentice-Hall, 1994.
- [7] Local and Metropolitan Area Networks Part 16, "Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," IEEE Std. 802.16-2009, 2009.
- [8] F. Bai *et al.*, "IMPORTANT: A Framework to Systematically Analyze the Impact of Mobility on Performance of Routing Protocols for Adhoc Networks," IEEE INFOCOM2003, pp.825-835, Aug. 2003.
- [9] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.VT-29, no. 3, pp.317–325, Aug. 1980.



이준희

2008년 2월 광운대학교 정보제어공학과 공학사. 2010년 2월 광운대학교 제어계측공학과 공학석사. 2010년 7월~현재 한화 화약 종합연구소 연구원. 관심분야는 Ad hoc 라우팅, 고속 핸드오버, 임베디드 소프트웨어



김현우

2006년 2월 광운대학교 정보제어공학과 공학사. 2009년 2월 광운대학교 제어계측공학과 공학석사. 2009년 3월~현재 광운대학교 제어계측공학과 박사과정. 관심분야는 멀티홉 러레이, 고속 핸드오버, 무선망의 QoS 관리



최용훈

1995년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사. 1997년 2월 연세대학교 전자공학과 공학석사. 2001년 2월 연세대학교 전기전자공학과 공학박사. 2001년 3월~2002년 4월 (미)매릴랜드 주립대 Postdoctoral Research Associate. 2002년 6월~2005

년 8월 LG전자 정보통신사업부 네트워크 연구소 책임연구원. 2005년 9월~현재 광운대학교 정보제어공학과 부교수 관심분야는 차량 통신 시스템, 트래픽 엔지니어링, Ad hoc 네트워크, 네트워크 관리



박 수 원

1994년 2월 KAIST 전기및전자공학과  
공학사 수학과(복수전공). 1996년 2월  
KAIST 전기및전자공학과 공학석사. 2003  
년 2월 KAIST 전자전산학과 공학박사  
1994년 3월~1998년 9월 삼성전자 전임  
연구원. 1998년 9월~1999년 2월 한국과  
학기술원 전일제 위촉연구원. 1999년 3월~2002년 5월 한국  
전자통신연구원 시간제 위촉연구원. 2002년 6월~2006년 2  
월 삼성전자 통신연구소 책임연구원. 2006년 3월~2007년 2  
월 광운대학교 전자통신공학과 전임강사. 2007년 3월~현재  
광운대학교 전자통신공학과 조교수. 관심분야는 CDMA/  
OFDM/OCHM/ORHM 무선접속기술, 전력제어, SDR/CR  
기술, 간섭/공존문제, PAPR완화기술, 부호이론



이 승 형

1988년 2월 연세대학교 전자공학과 공학  
사. 1990년 8월 연세대학교 전자공학과  
공학석사. 1999년 5월 Univ. of Texas  
at Austin 공학박사. 1990년~1995년 국  
방과학연구소 연구원. 1999년~2000년  
삼성종합기술원 전문연구원. 2000년~현  
재 광운대학교 전파공학과 교수. 관심분야는 무선네트워크,  
이동통신망, 간섭/공존문제, 군 통신 기술