

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.6.1>

JIIBC 2013-6-1

## 이종의 모바일 네트워크에서 크로스 레이어 기반 핸드오버 기법의 분석적 접근법

### Analytical Approach of Cross-Layer-Based Handoff Scheme in Heterogeneous Mobile Networks

김동휘\*, 정종필\*\*

DongHwi Kim, Jongpil Jeong

**요약** 전화, 일정관리 등 여러 기능을 담고 있는 스마트폰, 태블릿 등은 현대인의 필수품으로 자리 잡고 있다. 이들은 제각기 무선 네트워크 기능을 가진 하나의 MN(Mobile Node)이다. 현대인에게 없어서는 안 될 MN은 광범위한 환경에서 무선 네트워크를 이용할 수 있도록 LTE/3G 환경을 이용하는 모듈을 대다수 내장하고 있으며, 추가적으로 고속으로 네트워크에 접속할 수 있도록 Wi-Fi 모듈역시 내장되어 있는 경우가 대다수이다. 기존의 네트워크 환경에서는 이러한 MN이 네트워크 간 이동성관리를 주도함으로써 MN이 처리해야할 일이 많았으나, 본 논문에서는 호스트 기반 이동성관리가 아닌 네트워크 기반 이동성관리를 이용함으로써 통신사업자가 보다 저렴한 비용으로 네트워크를 유지 및 관리할 수 있는 방법에 대해 제안하고 있다. 또한, 현대인이 많이 쓰는 LTE/3G와 Wi-Fi를 사용하여 수직 핸드오버 환경을 가정하여 성능분석을 수행하였다.

**Abstract** Smartphones and tablets including phone, calendar are the necessities of modern man. They are one of the MN(Mobile Node), each with wireless network capabilities. Necessities of modern human MNs are almost included cellular module available in LTE/3G and Wi-Fi module for high-speed Internet. Until now, MN mobility management is handled, but using network-based mobility management in this paper. Then, carriers can manage and maintain the network for low-cost. In addition, it was considered that use a lot of modern people with Wi-Fi and LTE/3G, and using Cross-Layer-Based handoff.

**Key Words** : PMIPv6, MIPv6, Mobility Management, Cross-Layer, Vertical Handoff

## 1. 서론

오늘 날 일상생활에서 사용하는 MN(Mobile Node)은 여러 기능을 포함하고 있다. MN 하나에 전화기, 일정 등을 담은 스마트폰은 태블릿과 함께 현대인의 필수품

으로 자리 잡고 있다. MN의 종류로 스마트폰과 같은 무선 단말을 활용하여 업무를 처리하는 사용자가 많아짐에 따라, 무선 네트워크를 이용하여 데이터를 주고받는 경우가 폭증하였다. 또한, 사용하는 네트워크의 종류도 여러 가지이다. 과거의 MN은 하나의 네트워크만 이용

\*준회원, 성균관대학교 정보통신대학원

\*\*정회원, 성균관대학교 정보통신대학(교신저자)

접수일자 2013년 11월 6일, 수정완료 2013년 12월 6일

게재확정일자 2013년 12월 13일

Received: 6 November, 2013 / Revised: 6 December, 2013

Accepted: 13 December, 2013

\*\*Corresponding Author: jjjeong@skku.edu

College of Information and Communication Engineering,  
Sungkyunkwan University, Korea

하는 것이 많았으나, 현대의 MN은 여러 네트워크를 이용할 수 있는 기능을 포함하고 있다. 이런 MN의 기능을 활용하기 위해서는 사용가능한 네트워크에 연결할 수 있을 때 그 시점에 사용 가능한 네트워크를 선택하여 이동한다. 또한, 네트워크를 이동함에 있어 사용자는 서비스의 연속성을 통해 끊어짐 없이 데이터를 주고받을 수 있다. 다양한 무선 접속 기술이 공존하는 경우, 두 가지 핸드오버가 가능하게 되는데, 하나는 수평 핸드오버이고, 다른 하나는 수직 핸드오버이다<sup>[1]</sup>. 수평 핸드오버는 동일한 네트워크에서 핸드오버 하는 것을 말하고, 수직 핸드오버는 반대를 말한다.

핸드오버의 종류에는 수평/수직 핸드오버 이외에도 단말이 액세스 네트워크 밖으로 벗어나 다른 액세스 네트워크로 들어가는 것을 감지하는 주체가 누구냐에 두 가지로 나눌 수 있다. 하나가 호스트 기반 핸드오버이고, 다른 하나가 네트워크 기반 핸드오버이다. 호스트 기반 핸드오버는 말 그대로 서비스를 제공받는 사용자의 MN이 네트워크의 변경을 감지하여 핸드오버를 수행하도록 하는 것을 말한다. 네트워크 기반 핸드오버는 MN이 네트워크를 벗어나고 있음을 따로 인식하지 않고, 네트워크가 인식하여 핸드오버를 수행하는 것을 말한다. 현재 이루어지고 있는 대부분의 핸드오버는 수평 핸드오버이며, 이것은 단말이 주도 하에 이루어지는 호스트 기반 핸드오버이다. 네트워크 기반의 이동성관리 기법들은 일반적으로 그 총비용을 산정할 때 있어서 호스트 기반의 이동성관리 기법들보다 좀 더 저렴한 비용으로 수행되어진다<sup>[2]</sup>.

수직 핸드오버를 수행한 후 MN은 원래 TCP 연결을 통해 새로운 경로로 데이터 전송을 유지하기 위해서 새로운 IP 주소로 바인딩 업데이트를 수행해야 한다. IETF(Internet Engineering Task Force)는 MN이 하나의 네트워크에서 다른 네트워크로 이동할 때 IP 주소를 업데이트 되는 문제를 해결하기 위해 모바일 IPv6<sup>[3]</sup>를 제정했다. <sup>[4]</sup>에서 WLAN(Wireless Local Area Network)에서의 빠른 핸드오버를 문제에 대해 논의하는데, 수직 핸드오버에서 이러한 문제를 해결하기 위하여 크로스 레이어 기반 예측 RSS(Received Signal Strength) 방식은 이종의 무선 네트워크에서 수직 핸드오버 수행을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 여러 이동성관리 기법 중 비용이 조금 더 저렴한 네트워크 기반 이동성관리 기법을 활용한 핸드오버에 관한 성능을 분석한다. 또한, 현재

널리 사용되고 있는 LTE/3G와 Wi-Fi를 사용하여 현실의 환경과 흡사한 구성을 성능분석 환경으로 구성한다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 그동안 연구된 이동성관리에 대한 부분과 수직 핸드오버에 대해 설명한다. 3장에서는 RSS 예측 방식을 이용한 크로스 레이어 기반에서 PMIPv6와 FPMIPv6를 적용하는 방법에 대해 소개한다. 4장에서는 네트워크 모델을 구성하고 제안된 내용을 가지고 성능 분석을 수행한다. 5장에서는 수행한 성능분석을 통해서 서로 다른 접근방식의 결과를 평가하고 앞으로의 연구 방향을 논의한다.

## II. 관련연구

### 1. 이동성관리

이동 서비스를 지원하기 위한 다양한 이동성관리 프로토콜이 도입되었다. 특히, IETF에 의해 네트워크 계층의 이동성 지원이 개발되었다. 그림 1은 MIPv6의 작동 구조를 나타낸다. MIPv6의 규격<sup>[5]</sup>이 제정된 이후 MIPv6의 성능을 향상시킨 FMIPv6<sup>[6]</sup>와 HMIPv6<sup>[7]</sup>가 개발되었다. 또한 확장성과 안정성 끊임없는 PMIPv6도메인을 구축하기 위한 3S접근 방법도 제안<sup>[40]</sup>되었으며 변화되는 이동성과 서비스 특징에 따라 사용자를 위한 PMIPv6와 F-PMIPv6 사이의 더 나은 대안을 선택한 SSM 기법이 제안되었다<sup>[41]</sup>. IPv6 이동성관리 프로토콜의 성능 비교 분석은 MIPv6의 확장 개발에 도움이 주었다<sup>[8], [9]</sup>. 예를 들면, 성능 비교 분석은 MIPv6, FMIPv6, HMIPv6에 대한 연구와 FMIPv6와 HMIPv6의 조합은 각 이동성관리 프로토콜의 특성과 성능 지표를 수행으로 이루어졌다.

호스트 기반 이동성관리 프로토콜이 무선 이동 통신 인프라에 적용되었을 때, 통신 서비스 제공업체 및 표준 개발조직은 기존의 이동성 서비스 솔루션은 적합하지 않다는 것을 알게 되었다. 특히, MN은 이동성 지원 스택 수행이 요구되므로 MN의 수정이나 업그레이드가 필요하다라는 점과 이로 인해 MN의 복잡도와 작업 비용이 증가된다는 점 때문이다. 또한, 호스트 기반 이동성관리 프로토콜은 MN이 스스로 이동성 자원을 관리하기 때문에 통신 사업자의 제어 능력 부족을 일으킬 수 있기 때문이기도 하다. 따라서 3GPP는 IETF에 모바일 서비스

를 지원하는 새로운 접근 방식이 필요하다고 제안했다.

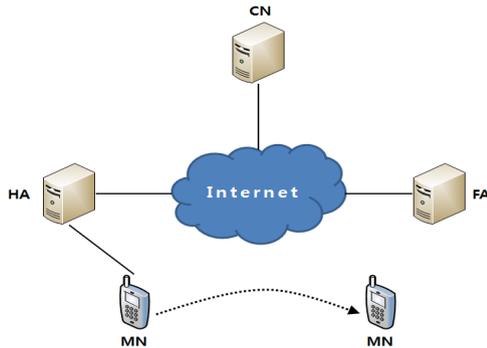


그림 1. MIPv6의 작동 구조  
Fig. 1. Operating Structure of MIPv6

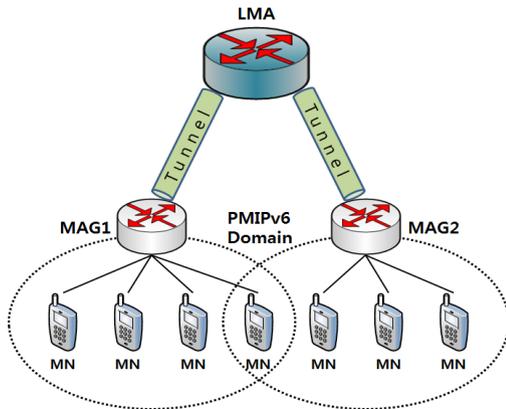


그림 2. PMIPv6의 작동 구조  
Fig. 2. Operating Structure of PMIPv6

PMIPv6는 MN에서 별도로 처리하지 않고도 연결 지점을 변경할 수 있는 네트워크 기반 이동성관리 프로토콜이고<sup>[10]</sup>, 그림 2에서 작동 구조를 보여준다. 소개된 이동성 서비스인 PMIPv6를 공급하는 MAG(Mobile Access Gateway)와 LMA(Local Mobility Anchor)는 PMIPv6 도메인에서 MN의 움직임을 감지하고 등록할 책임이 있는 두 가지 엔티티이다. MAG는 MN의 움직임을 감지하기 위해, LMA에 프록시 바인딩 업데이트 메시지를 보낸다. <sup>[5]</sup>에 명시되었듯 LMA는 HA(Home Agent)로 운영되고 추가 기능을 포함하고 있다. MN이 프록시 바인딩 업데이트 메시지에 대해 응답함으로써 LMA는 MN이 MAG에 접속하여 바인딩 캐시를 생성하거나 업데이트되었다는 것을 인지한다. MAG는

HNP(Home Network Prefix)를 포함한 프록시 바인딩 응답 메시지를 수신하고 HNP를 포함한 RA(Router Advertisement) 메시지를 전송한다. MN은 액세스 네트워크의 MAG에서 전송된 RA 메시지에 포함된 HNP를 기반으로 pHoA(proxy Home Address)를 구성한다. MN은 PMIPv6 도메인에서 pHoA를 획득한 후 이 pHoA로 데이터 트래픽을 송수신할 수 있다<sup>[42]</sup>. LMA는 같은 이동에 대해 동일한 HNP를 얻기 때문에 MN은 PMIPv6 도메인 내에서 같은 pHoA을 받는다. 이동성 서비스관리 권한설정 엔티티에서 제공하는 네트워크 기반 이동성 서비스 때문에, 모든 PMIPv6의 도메인은 MN 입장에서는 단일 링크로 인식된다<sup>[10]</sup>. 하지만 PMIPv6는 이동성관리를 제외한 MIPv6의 수행과정을 동일하게 수행하므로, MN이 PMIPv6 도메인으로 진입할 때마다 MAG가 MN의 진입을 감지하여 LMA에게 자신의 위치 정보를 알리는 핸드오버 과정을 거쳐야 한다. 핸드오버 과정을 거치는 동안, MN과의 통신이 끊어지기 때문에 패킷 손실이 발생한다.<sup>[11]</sup> PMIPv6에 대한 확장 프로토콜로 개발된 FPMIPv6<sup>[12]</sup>은 핸드오버 성능을 향상시킬 수 있도록 핸드오버 대기 시간을 줄이고 패킷 손실을 방지한다.

## 2. 수직 핸드오버

셀룰러 통신을 위해 여러 RSS 기반의 핸드오버 알고리즘이 개발되었다. <sup>[13]</sup>에서는 핸드오버 절차를 초기화하는 시기를 결정하는 RSS 기반의 핸드오버 방식을 제안했다. 이 방식은 MN이 두 개의 인접한 네트워크 사이의 영역을 이동할 때 접근 방식은 핑퐁 현상이 발생하여 대량의 불필요한 핸드오버가 발생된다. <sup>[14]</sup>에서는 이런 핑퐁 현상을 방지하기 위해 히스테리시스 같은 두 한계치 사이의 여백을 이용했다. <sup>[15]</sup>은 성능을 개선하는 한계치와 히스테리시스를 고려한 RSS 기반의 핸드오버 방식을 제안했다. 이종의 무선 네트워크에서 MN은 다양한 네트워크에서 다양한 강도의 신호를 수신하게 된다. <sup>[16]</sup>는 RSS 기반의 접근 방법에서 핸드오버 절차를 수행할 때 네트워크를 결정하기 위해 신경망 기법을 제안했다. 수직 핸드오버를 할 때 RSS만 고려하면 최적의 결과를 얻을 수 없기 때문에, <sup>[17]</sup>에서는 RSS와 MN과 기지국 사이의 거리를 모두 고려하여, 올바르게 않은 기지국으로의 핸드오버 수행을 방지했다. 하지만 대부분의 경우 RSS는 거리에 따라 달라지기 때문에 여전히 이종의

무선 네트워크에서는 동일한 문제가 나타난다.

[18]에서 사용 가능한 대역폭과 금융비용을 함수로 만들어 핸드오버 비용을 정의하여, 언제든지 최선의 무선 시스템 선택을 결정하기 위해 정책기반 핸드오버 시스템[19]에서 제안했다. 이 정책기반 핸드오버 시스템은 비용, 성능, 소비전력을 포함한 네트워크 특성과 역학의 효율을 줄여준다. 주요 목표는 핸드오버 불안정의 문제를 방지하는데 있다. [20]에서 제안한 핸드오버 비용 함수는 두 개의 중요한 파라미터로 실제 RSS와 사용가능한 대역폭을 사용한 면에서 [21]에서 제안한 것과 유사하다. 이런 방법은 단지 하나의 RSS 한계치만 처리하고 핑퐁 현상의 발생을 일으키게 된다.

[21], [22]에서 정기적으로 빠른 Fourier 변환 기법을 이용하여, 수신신호 감소를 탐지하여 핑퐁 현상을 감소시켰다. 이 방법은 신호감소를 확인하는 방법으로 빠른 Fourier 변환이 필요하지만 핸드오버를 수행할 때 다른 한계치가 필요하다. 두 절차는 긴 계산 시간을 필요로 하며, 정기적으로 RSS를 모니터링 하는 주기는 계산시간 보다 커야한다. 따라서 계산시간은 이 접근방법에서는 계산시간이 가장 중요한 매개 변수가 된다. 한편, 계산시간이 너무 길 경우 RSS 예측 실패와 높은 단절 확률이라는 결과가 발생할 수 있다.

### III. 크로스 레이어 기반 적응적 수직 핸드오버

#### 1. 네트워크 구조

이 장에서는 다음과 같은 내용으로 구성된다. 첫째, 무선에서의 이종의 네트워크 수직 핸드오버 특성을 소개하고, 네트워크 모델을 정의한다. 둘째, 수직 핸드오버의 문제점을 설명한다. 셋째, 다양한 환경에서의 성능 분석을 위해 수직 핸드오버 횟수, 커넥션 단절 확률, 네트워크 활용을 정의한다.

이종의 무선 네트워크는 LTE/3G와 Wi-Fi 네트워크로 정의한다. 그림 3은 Wi-Fi, LTE/3G로 이루어진 이종의 무선 네트워크 구성에서 단단한 결합과 느슨한 결합, 두 가지 유형을 나타내고 있다. 하나는 기가비트 인터페이스를 사용하고, 다른 하나는 IP를 사용한 백본 네트워크이다. 단단한 결합 유형은 쉬운 관리, 검증, 인증과 같은 몇 가지 장점을 제공한다. 제안된 수직 핸드오버 방

식은 두 가지 형식에서 적합하다.

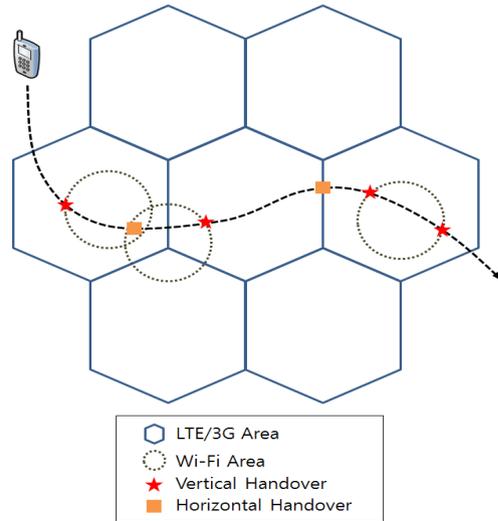


그림 3. 이종의 모바일 네트워크의 핸드오버 방법  
Fig. 3. Handover method of other types MN

단일 LTE/3G 네트워크,  $N$  WLAN과 같은 이종의 무선 네트워크가 길이  $L$ 이고 너비  $W$ 로 되어있는 하나의 지역을 담당하고  $n(0 \leq n \leq N)$ 은 네트워크 인덱스를 나타낸다고 가정하면, WLAN은  $WLAN_n$ 으로 표시된다. 또한 LTE/3G 네트워크는 모든 지역을 커버할 수 있다고 가정한다. 각 WLAN은  $R_{11}$ 의 동일한 전송 반경을 가지고 있고,  $N$  WLAN은 무작위 지역에 배포한다. MN이  $WLAN_n$ 으로부터 수신하는 신호의 강도는 각각  $RSS_{11}$ 로 표시된다. MN은 LTE/3G, WLAN에 접속할 수 있는 두 개의 인터페이스를 포함하고, 특정 시점에 통신에 필요한 인터페이스를 선택한다.

MN이 노드 이동성에 따라 네트워크  $i$ 에서 네트워크  $j$ 로 이동할 때, 두 네트워크의 종류가 다르다면, MN은 데이터 전송의 연속성을 위해 수직 핸드오버를 수행하고, 두 네트워크의 종류가 동일하다면 수평 핸드오버를 수행한다. 다르게 말해서 네트워크 기반 핸드오버나 호스트 기반 핸드오버라 할 수 있다. 네트워크 기반 핸드오버의 경우 네트워크가 핸드오버 수행을 결정하는데, 결정하기 위해 네트워크 컨트롤러가 MN으로부터 RSS를 제공 받는다. 호스트 기반 핸드오버가 네트워크 기반 핸드오버 보다 정확한 네트워크 정보를 제공함으로써, 핸드오버 결정에 도움을 주게 된다. 따라서 본 논문에서는 네트워크 지원 핸드오버의 문제에 대해 초점을 둔다. 제

안된 방법은 수직 핸드오버를 수행할 때 SWGoS, 네트워크 활용 수치를 포함한 다양한 성능평가를 사용하여 두 가지의 차이점을 이끌어낸다. 첫 번째로 MN이 두 네트워크 사이의 오버레이 주변 지역으로 이동할 때 핑퐁 현상이 발생하면, 불필요한 핸드오버가 발생하여 오버헤드가 증가하는데, 핸드오버가 횟수가 적은 것이 좋은 핸드오버 알고리즘이다.

두 번째로, 네트워크의 사용 가능한 대역폭이 충분하지 않을 때 핸드오버 연결 단절이 일어난다. 연결이 단절되어 생기는 네트워크 공급자의 피해는 새로운 연결을 맺지 못했을 때보다 훨씬 많다. 설명한 피해를 줄이고 네트워크 공급자의 수익을 극대화하기 위해서 SWGoS는 중요한 통계로 채택되었으며, 다음과 같이 표현된다.

$$SWGoS = W_B \sum_{k=1}^K k B_k + W_D \sum_{k=1}^K k D_k \quad (1)$$

$B_k$ 와  $D_k$ 는 각각 클래스  $k$  트래픽의 차단과 단절 확률을 나타내고,  $W_B$ 와  $W_D$ 는 각각 연결의 차단 및 끊김의 가중치를 나타낸다. 본 논문에서는  $W_B$ 와  $W_D$ 의 값을 1과 10으로 설정했다. 셋째, 네트워크 사용률은 별도의 성능 분석으로 채택하고 있다. 높은 네트워크 사용률이 더 좋은 성능을 보인다.

TCP 연결은 이중의 무선 네트워크에서의 수직 핸드오버 환경에서 상태가 더 안 좋아진다. 사용 가능한 대역폭의 급격한 변화는 TCP 발송자가 정확한 혼잡 윈도우를 결정하기 어렵게 하고, 타임아웃이 발생하거나 만들어 중복된 3개의 ACK를 받도록 만든다. 이러한 결과는 네트워크 곳곳에 상당한 영향을 미친다. 결론적으로, 제안된 크로스 레이어 메커니즘은 곳곳의 평균을 바탕으로 평가한다.

## 2. 작동절차

이중의 무선 네트워크에서 수직 핸드오버에 대한 제안 방법은 두 가지 측면으로 설명된다. 첫 번째는 이 장에서 설명할 예측 RSS 메커니즘과 적응 수직 핸드오버이다. 두 번째는 다음 장에서 설명할 교차 레이어 메커니즘이다. 예측 RSS 메커니즘을 이용한 적응 수직 핸드오버는 핸드오버 시 히스테리시스를 이용한 예측 RSS 측면과 최적의 무선 네트워크를 결정하는 측면으로 구

성된다. 첫 번째 측면에서, 다항식 회귀 기반 예측 RSS 기법은 MN이 네트워크에 가까이 이동하거나 멀리 이동하는 여부에 대한 예측을 제안한다. 두 번째 측면에서, 핸드오버 비용은 MDP(Markov Decision Process) 함수를 기반으로 결정된다[23]. 최소 비용의 네트워크가 곧 핸드오버 할 최적의 네트워크가 된다. 두 번째 단계는 부하분산과 영속성이다. 아래는 적응 수직 핸드오버 방식이다.

핑퐁 효과로 인해 불필요한 핸드오버를 피하기 위하여 히스테리시스를 이용한 RSS 기법이 채택된다.  $H_1$ 이 LTE/3G와 WWAN 사이의 히스테리시스를 나타낸다고 할 때, 낮은 한계치를  $S_{WLAN,1}$ , 높은 한계치를  $S_{WLAN,2}$ 로 표현하고,  $H_1$ 의 두 임계치 사이의 크기는  $\Gamma_{H_1} = |S_{WLAN,2} - S_{WLAN,1}|$ 로 나타낸다. MN이 두 한계치 안에서 불필요한 핸드오버를 수행하지 않고 올바르게 데이터를 주고받더라도, MN이 낮은 한계치에 인접해 있게 되면, 서빙 네트워크의 RSS의 신호가 약해져 데이터 속도가 낮아지고, 낮은 활용도와 높은 단절 확률을 일으킨다.

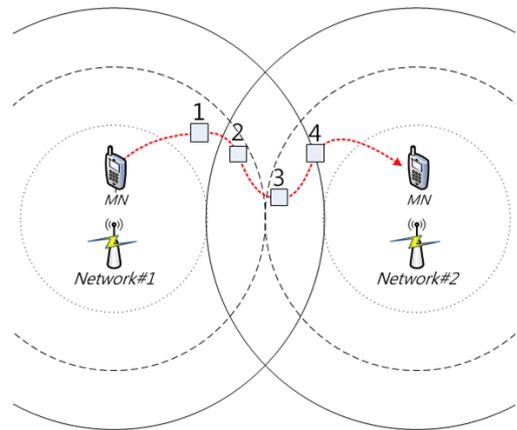


그림 4. MN의 네트워크 간 이동  
Fig. 4. Across the network of MN

그림 4는 MN이 네트워크 1에서 네트워크 2로 이동하는 모습을 나타낸다. RSS 기반 핸드오버 방식에서는 MN이 두 네트워크의 중첩 영역에 있을 때 핸드오버를 수행하므로, 핸드오버 수행은 지점 2, 지점 3, 지점 4에서 일어날 수 있다. MN이 네트워크 중첩이 시작 또는 종료되는 영역 근처를 이동하는 경우에는 심각한 핑퐁 효과가 발생된다. RSS 방식에서는 지점 4에서 핸드오버

를 수행하는데, 지점 4는 MN이 네트워크 1로부터 매우 약한 RSS를 수신하는 곳이다. 이것은 낮은 데이터 속도가 제공되고 네트워크 단절의 가능성이 매우 높다. 따라서 본 논문에서는 MN이 네트워크 2로 이동할 것으로 예상될 때 포인트 2에서 핸드오버를 수행할 수 있도록 예측 RSS 기반 핸드오버를 제안한다. 예측 RSS 메커니즘은 두 가지의 장점을 가지고 있다. 첫째, RSS가 약해지기 전에 핸드오버를 수행함으로써 좋은 QoS(Quality of Service)와 높은 데이터 전송 속도를 얻을 수 있다. 둘째, 불필요한 핸드오버를 방지하며, 네트워크 단절 가능성을 확실하게 줄여준다.

## IV. 성능평가

### 1. 네트워크 모델링

고려된 네트워크 모델은 그림 5와 같이 하나의 단말이 서로 다른 두 개의 네트워크 사이에서 수직 핸드오버와 수평 핸드오버를 수행할 수 있도록 구성되어 있다.

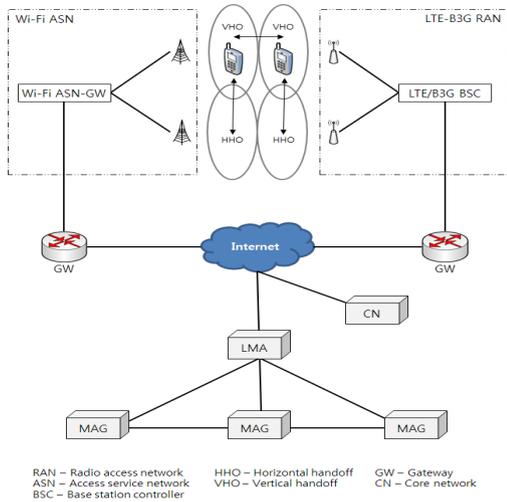


그림 5. 성능평가를 위한 이종의 네트워크 토폴로지  
Fig. 5. For evaluating the performance of other types of network topologies

아래 홉의 개수는 통신 엔티티 사이에서 특정 지점 사이의 거리를 설명하기 위해 정의된다.

$h_{C-H}$  : CN(Correspondent Node)과 HA(Home Agent) 사이의 hop 평균.

$h_{C-G}$  : CN과 게이트 사이의 홉 평균.

$h_{H-G}$  : HA와 게이트 사이의 홉 평균.

$h_{L-A}$  : LMA와 AR(Access Router) 사이의 홉 평균.

$h_{A-A}$  : 이웃 AR 사이의 홉 평균.

$h_{A-M}$  : AR과 MN 사이의 홉 평균. 무선 네트워크이기 때문에  $h_{A-M}$ 은 1로 간주한다.

제시된 네트워크 모델에서는 MN과 CN 사이에서 교환되는 데이터/제어 패킷은 GW를 통해 전달되어야 한다. 예를 들어, MIPv6의 경로 최적화(RO)가 설정되어 있으면, CN에서 MN으로 전송되는 데이터 패킷은  $h_{C-G} + h_{L-A} + h_{A-M}$ 를 통해 이루어지고,  $h_{A-M}$ 은 MN과 AR의 무선으로 연결된다. 추가로  $h_{A-A}$ 는  $\sqrt{h_{L-A}}$ 로 표현할 수 있다<sup>[24], [25]</sup>.

이동성 지원에 관한 다양한 메시지는 IPv6를 이동성 관리 프로토콜에 사용된다. 이동성 지원에 분석 모델링에서 고려할 메시지 크기는 다음과 같다.

$L_{RS}$  : RS(Router Solicitation) 메시지 크기, 52.

$L_{RA}$  : RA(Router Advertisement) 메시지 크기, 80.

$L_{BU-HA}$  : MN에서 HA에 전송한 BU(Binding Up) 메시지 크기, 56.

$L_{BAck-HA}$  : HA에서 MN에 응답한 BACk(Binding Acknowledgment) 메시지 크기, 56.

$L_{BU-CN}$  : MN에서 CN에 전송한 BU 메시지 크기, 66.

$L_{LBU-MAP}$  : MN에서 MAP에 전송한 LBU(Local Binding Update) 메시지 크기, 56.

$L_{LBAck-MAP}$  : MAP에서 MN에 응답한 LBU(Local Binding Acknowledgment) 메시지 크기, 56.

$L_{PBU-LMA}$  : MAG에서 LMA에 전송한 PBU(Proxy Binding Update) 메시지 크기, 76.

$L_{PBAck-LMA}$  : LMA에서 MAG에 전송한 PBAck(Proxy Binding Acknowledgment) 메시지 크기, 76.

$L_{HoTI}$  : HoTI(Home Test Init) 메시지 크기, 64.

$L_{CoTI}$  : CoTI(Care-of Test Init) 메시지 크기, 64.

$L_{HoT}$  : HoT(Home Test) 메시지 크기, 74.

$L_{CoT}$  : CoT(Care-Of Test) 메시지 크기, 74.

$L_{FBU}$  : FBU(Fast Binding Update) 메시지 크기, 56.

$L_{FBAck}$  : FBAck(Fast Binding Acknowledgement)

메시지 크기, 56.

$L_{UNA}$  : UNA(Unsolicited Neighbor Advertisement) 메시지 크기, 52.

$L_{RtSolPr}$  : RtSolPr(Router Solicitation for Proxy Advertisement) 메시지 크기, 52.

$L_{PrRtAdv}$  : PrRtAdv(Proxy Router Advertisement) 메시지 크기, 80.

$L_{HI}$  : HI(Handover Initiate) 메시지 크기, 52.

$L_{HAck}$  : HAck(Handover acknowledge) 메시지 크기, 52.

$L_T$  : 터널링 헤더 크기, 40.

$L_D$  : 사용자 데이터 패킷 크기, 120.

핸드오버 시 필요한 지연시간 중 인증과정 등을 제외한 실제 핸드오버에 필요한 시간은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$T_{L2}^{Wi-Fi \rightarrow Wi-Fi}$  : Wi-Fi 네트워크에서 Wi-Fi로 수평 핸드오버 시 소요시간. 가중치 100.

$T_{L2}^{LTE/3G \rightarrow Wi-Fi}$  : LTE/3G 네트워크에서 Wi-Fi 네트워크로 수직 핸드오버 시 소요시간. 가중치 150.

$T_{L2}^{LTE/3G \rightarrow LTE/3G}$  : LTE/3G 네트워크에서 LTE/3G 네트워크로 수평 핸드오버 시 소요시간. 가중치 200.

$T_{L2}^{Wi-Fi \rightarrow LTE/3G}$  : Wi-Fi에서 LTE/3G로 수직 핸드오버 시 걸리는 시간. 가중치 300.

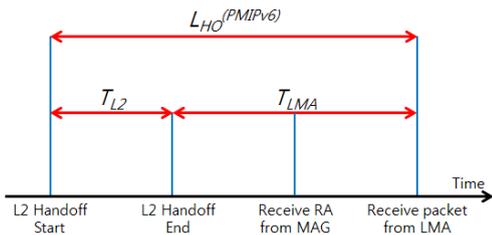


그림 6. PMIPv6 핸드오버 타이밍 다이어그램  
Fig. 6. PMIPv6 handover timing diagram

그림 6은 PMIPv6 핸드오버에 대한 타이밍 다이어그램을 나타낸다. HMIPv6와 마찬가지로, PMIPv6는 지역화 된 방법으로 MN의 이동을 관리하지만, 이동성 서비스 프로비저닝<sup>[26]</sup>, <sup>[27]</sup>에 의해 MN에 대한 이동성 서비스가 지원된다. MN은 새로운 액세스 네트워크에 접속한

것처럼, 새로운 액세스 네트워크의 MAG에 의해 탐지되고 등록되고, MAG에서 전송된 RA 메시지에 포함된 동일한 HNP를 얻게 되므로, MN이 PMIPv6 도메인<sup>[28]</sup>에서 핸드오버를 수행할 때 주소 설정 및 DAD 프로세스가 필요하지 않다.

PMIPv6 핸드오버 지연시간을  $L_{HO}^{PMIPv6}$  로 정의하고, 다음과 같이 표현된다.

$$L_{HO}^{PMIPv6} = T_{L2} + T_{LMA} \quad (2)$$

$T_{LMA}$  는 RS 메시지 전송에 필요한 소요 시간을 포함하고, MAG와 LMA 사이의 PBU/PBAck 메시지를 교환하며, LMA에서 보낸 첫 번째 데이터 패킷을 받을 수 있다. 본 논문에서는 MAG가 MN으로부터 RS 메시지를 받을 때, MN의 움직임을 감지한다고 가정한다. 따라서  $T_{LMA}$  는 다음과 같이 표현된다.

$$T_{LMA} = d_{wt}(L_{RS}) + d_{wd}(L_{PBU}h_{G-A}) + d_{lma-packet} \quad (3)$$

$d_{lma-packet}$  은 LMA가 전송한 첫 번째 데이터 패킷이 MN에 도착하는 시간을 나타낸다. LMA와 MAG 간의 양방향 터널은 추가적인 터널링 연결 지연이 필요하지 않은 둘 간의 정적 터널링으로 구현될 수 있다. 이곳에서 정적 터널링은 PMIPv6로 간주한다. LMA는 MAG에서 전송된 유효한 PBU 메시지를 수신하는 즉시, PBAck 메시지와 함께 MN으로 향하는 데이터 패킷을 전송한다. 따라서  $d_{lma-packet}$  은 다음과 같이 표현된다.

$$d_{lma-packet} = d_{wt}(L_D) + d_{wd}(L_D + L_T h_{G-A}) \quad (4)$$

$L_T$  는 단지  $d_{wd}(L_p, h)$  에서만 고려된다. 이것이 MN에 대한 데이터 패킷이 LMA와 MAG 사이에서 터널링되고, HMIPv6와 비교되는 차이점이다. PMIPv6와 HMIPv6 모두 지역화 된 방식으로 MN을 관리하는 경우, PMIPv6는 무선 링크를 통해 패킷 전송 오버헤드를 감소시킨다<sup>[26]</sup>.

FMIPv6와 마찬가지로, FPMIPv6는 예측 및 사후 모드로 구성되어 있다.

그림 7은 Pre-FPMIPv6 핸드오버에 대한 타이밍 다

이러한 그래프를 나타낸다. MN은 pMAG(previous MAG)에 연결되어 있는 동안, pMAG에게 입박한 핸드오버 이벤트를 보고한다. MN이 nMAG(new MAG)에 연결하기 전에 pMAG가 HI 메시지와 HAcK 메시지를 이용하여 nMAG와 MN에 대한 필요한 정보를 성공적으로 주고받았을 때, Pre-FPMIPv6가 수행된다. HI 메시지와 HAcK 메시지를 성공적으로 주고받은 뒤에 pMAG와 nMAG은 양방향 터널링을 이용해 연결한다. pMAG는 MN으로 전달되는 데이터 패킷을 nMAG로 전달하기 위해 이 터널을 사용한다. MN이 nMAG에 연결하는 지점을 변경했을 때, 전달되는 데이터 패킷은 nMAG에서 MN으로 직접 전달된다.

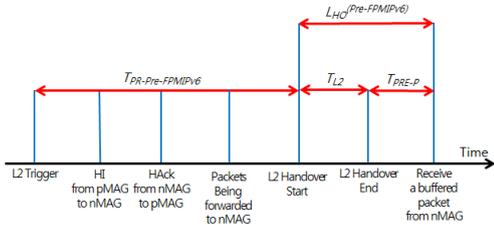


그림 7. Pre-FPMIPv6 핸드오버 타이밍 다이어그램  
Fig. 7. Pre-FPMIPv6 handover timing diagram

Pre-FPMIPv6의 핸드오버 지연시간을  $L_{HO}^{(Pre-FPMIPv6)}$ 으로 정의하고, 다음과 같이 표현된다.

$$L_{HO}^{(Pre-FPMIPv6)} = T_{L2} + T_{PRE-P} \quad (5)$$

$T_{PRE-P}$ 은 IP 계층 연결 설정 지연의 합계  $D_{\pi}$ 와 nMAG에서 MN으로 전송하는 첫 번째 데이터 패킷  $d_{mag-packet}$ 으로 구성된다. 따라서  $T_{PRE-P}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$T_{PRE-P} = D_{\pi} + d_{mag-packet} \quad (6)$$

$D_{\pi}$ 는 본 논문의  $d_{wl}(L_{UNA})$ 와 같은 지연 시간을 가지고  $d_{mag-packet} = d_{wl}(L_D)$ 라고 가정한다.

그림 8은 Re-FPMIPv6 핸드오버에 대한 타이밍 다이어그램을 나타낸다. Re-FPMIPv6 핸드오버와 마찬가지로, pMAG와 nMAG 사이의 빠른 핸드오버를 준비하기 전에 MN이 nMAG의 접속 지점을 변경이 완료될 때 수

행된다. 즉, pMAG와 nMAG 사이에 양방향 터널이 생성되기 전에 MN이 nMAG에 접속할 때 Re-FPMIPv6가 수행된다.

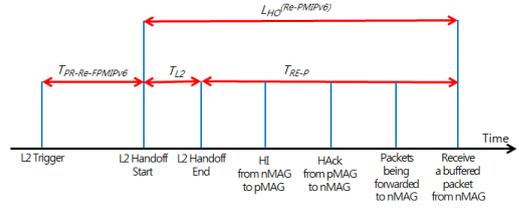


그림 8. Re-FPMIPv6 핸드오버 타이밍 다이어그램  
Fig. 8. Re-FPMIPv6 handover timing diagram

Re-FPMIPv6 핸드오버 지연시간은  $L_{HO}^{(Re-FPMIPv6)}$ 로 정의하고, 다음과 같이 표현된다.

$$L_{HO}^{(Re-FPMIPv6)} = T_{L2} + T_{RE-P} \quad (7)$$

$T_{RE-P}$ 은 IP 계층 연결하는 시간, 관련 MAG 사이에 필요한 정보를 교환 시간, nMAG에서 보낸 첫 번째 데이터를 수신하는 시간을 포함한다. 데이터 패킷이 pMAG에서 nMAG로 터널링되어 MN으로 전송됨에 주의한다.  $T_{RE-P}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$T_{RE-P} = D_{\pi} + d_{wd}(L_{HI}, h_{A-A}) + d_{wd}(L_{HAcK}, h_{A-A}) + d_{buff-packet} \quad (8)$$

각 이동성관리 프로토콜의 핸드오버 실패를 분석하기 위하여, [28], [29], [30]에 제시된 핸드오버 차단 확률을 이곳에서 사용한다. MN에 대한 핸드오버는 수용할 수 없는 높은 핸드오버 지연시간 발생, 신호에 잡음이 존재, 사용할 수 있는 무선 채널이 없는 경우 등과 같은 여러 이유로 실패할 수 있다. 예를 들어, MN이 네트워크에 머물러 있는 잔여시간이 핸드오버 완료 시간보다 적을 경우, 링크 정보나 무선 채널의 손실로 인해 MN에 대한 핸드오버가 실패한다.

$L_{HO}^{(\cdot)}$ 은 이전 서브섹션에서 개발된 특정 이동성관리 프로토콜의 핸드오버 지연시간을 나타낸다고 가정한다. 참고로  $\cdot$ 은 프로토콜 지표로 사용된다.  $E[L_{HO}^{(\cdot)}]$ 는  $L_{HO}^{(\cdot)}$ 의 값을 의미한다.  $T_R$ 은 확률 밀도 함수  $f_R(t)$ 를 이용한 네트워크의 거주 시간을 나타낸다고 가정한다.

단순함을 위해서,  $L_{HO}^{(\cdot)}$ 는 누적된 함수  $F_T^{(\cdot)}(t)$ 를 이용하여 기하급수적으로 배포된다고 간주한다. 또  $L_{HO}^{(\cdot)}$ 는 유일한 핸드오버 차단 요소이고, 핸드오버 차단 확률  $p_b$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 p_b &= \Pr(L_{HO}^{(\cdot)} > T_R) \\
 &= \int_0^\infty (1 - F_T^{(\cdot)}(u)) F_R(u) du \\
 &= \frac{\mu_c E[L_{HO}^{(\cdot)}]}{1 + \mu_c E[L_{HO}^{(\cdot)}]}
 \end{aligned} \tag{9}$$

$\mu_c$ 는 MN의 경계선 크로싱 확률이다. AR의 커버리지 가 원형으로 생겼다고 가정하면,  $u_c$ 는 [24], [27], [31]에서 다음과 같이 표현된다.

$$\mu_c = \frac{2\nu}{\pi R} \tag{10}$$

위 수식에서  $\nu$ 는 MN의 평균 이동 속도이고,  $R$ 은 AR 커버리지의 반지름이다.

MN이 핸드오버를 일으키는 동안에 네트워크 측면에서 버퍼 관리가 존재하지 않는 경우 MN으로 향하는 데이터 패킷이 손실될 수 있다. 핸드오버 중 일어나는 패킷의 손실 양  $\varphi_p^{(\cdot)}$ 는 MN에서 CN으로 보낼 때 손실되는 데이터 패킷의 합계로 정의된다.

$$\varphi_p^{(\cdot)} = \lambda_s E(S) L_{HO}^{(\cdot)} \tag{11}$$

$\lambda_s$ 는 MN이 무선 인터페이스의 평균 세션 도착 확률이고,  $E(S)$ 는 패킷의 평균 세션 길이이다. 위 수식에서  $\varphi_p^{(\cdot)}$ 은  $L_{HO}^{(\cdot)}$ 에 정비례한다. FMIPv6와 FPMIPv6 같은 빠른 핸드오버 프로토콜에서는 패킷 버퍼링에 의해 패킷 손실이 발생하지 않지만, 패킷 통신의 지연이 발생된다[31].

대부분의 RSS 기반 핸드오버 알고리즘에서는 네트워크 신호 세기가 가장 강한 네트워크를 핸드오버 할 대상으로 선택한다. MN이 신호 세기가 강한 네트워크를 지정하기 때문에, 그 네트워크의 사용가능한 대역폭이 부족하게 되고, 네트워크 간 트래픽 불균형을 일으킨다. 따라서 이 장에서는 모든 무선 네트워크의 핸드오버 비용을 정의한 MDP 비용 기반 접근방식을 제안한다. 그

런 다음, 가장 낮은 핸드오버 비용을 가진 무선 네트워크로 핸드오버 하여 부하 분사의 목적을 달성한다. 본 논문에서는 MDP의 접근 방식은 Markov 네트워크 의사결정 이론에 따라 MDP로 대역폭 할당 문제를 줄이고 핸드오버 연결을 수행하기 위한 비용을 얻는다[21]. MDP는 MDP에서 정확한 모델링을 위한 큰 상태 공간을 일으킬 수 있지만, 지금까지의 연구들은 두 가지의 가정, 링크 독립 가정과 경로 비용 분리 가능성에 대한 가정을 만들었다[32]-[35]. [34]에서 제안된 단순화된 링크 모델은 추가로 상태영역을 줄이고 멀티 서비스 손실 네트워크에서의 계산 복잡도이다. 또한, LTE/3G의 자원 관리의 단일 및 다중 코드에 대한 최적의 코드를 결정하기 위해 MDP 분석이 성공적으로 채택되었다[36].

MDP 기반에서, 무선 네트워크의 상태는 수용 가능한 대역폭에 따라 만들어졌고, 네트워크는 각각의 QoS 요구사항을 서비스의  $K$  클래스를 지원한다고 가정한다. 이제  $\lambda_k^i$ 의 출생률과  $\mu_k^i$ 의 사망률을 가진 Markov 프로세스의 전체 수용력  $C_w$ 와의 관계를 다음과 같이 나타낸다.

$$\mu_k^i \pi(i) = \lambda_k^i \pi(i-1), \quad i = 1, \dots, C_w \tag{12}$$

$$\sum_{i=0}^{C_w} \pi(i) = 1. \tag{13}$$

위 수식에서  $k$ 는 트래픽 클래스,  $i$ 는 대역폭 수용의 상태를 나타낸다.

출생과정과 사망과정에서 MDP를 형성함으로써, 평균 룬터프는 보상 손실률  $g$ 와 상대값 집합  $v(i)$ 의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$v^w(C_w) - v^w(C_w - 1) = \frac{\sum_{j=1}^K r^{w_j} \lambda_j^w}{\bar{\lambda}_{C_w-1}^w} \frac{E(\bar{\lambda}^w, C_w)}{E(\bar{\lambda}^w, C_w - 1)} \tag{14}$$

$$v^w(i) - v^w(i-1) = \frac{g}{\bar{\lambda}_{i-1}^w E(\bar{\lambda}^w, i-1)}, \quad 1 \leq i \leq C_w \tag{15}$$

위 수식에서  $E(\bar{\lambda}^w, i)$ 와  $g$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$E(\bar{\lambda}^w, i) = \frac{1}{i!} \prod_{j=0}^{i-1} \bar{\lambda}_j^w \sum_{n=0}^i \frac{1}{n!} \prod_{j=0}^{n-1} \bar{\lambda}_j^w \tag{16}$$

$$g = \sum_{j=1}^k r_j^w \lambda_j^w - C_w (v^w(C_w) - v^w(C_w - 1)). \quad (17)$$

$r_j^w$ 와  $\lambda_j^w$ 는 각각 네트워크 보상과 네트워크  $w$ 에서 클래스  $j$  트래픽의 도착 속도를 나타낸다.

수식 (14)-(17)은 클래스  $k$  연결 운반에 대한 비용을 구할 수 있는 간단한 방법이다. 그렇지만, 먼저 트래픽을 분류해야 하고, 두 개의 파라미터  $r_j^w$ 와  $\lambda_j^w$ 를 먼저 지정해야 한다. 첫 번째로, 동일한 대역폭을 필요로 하는 모든 연결은 같은 트래픽 클래스로 분류한다. 트래픽 클래스에 대한 연결 보상을 정의할 때 파라미터  $r_m^w$ 가 문제가 된다. 동일한 대역폭을 가진 연결이 다른 보상을 가질 수 있기 때문에 네트워크 보상은 온라인 측정에 의해 정의된다. 특히, 네트워크에 의해 운반되는 각각의 클래스  $k$  연결에서 네트워크 보상은  $r_k^w = r_k^{\bar{w}} \times (b_k^{\bar{w}}/Z)$ 로 표현되고,  $r_k^{\bar{w}}$ 는 연결에 대한 원래 보상,  $Z$ 는 네트워크의 연결을 설정하는데 필요한 대역폭,  $b_k^{\bar{w}}$ 는 네트워크  $w$ 에서 필요한 대역폭을 나타낸다. 클래스  $k$  연결에 대한 수정된 연결 보상은 각각의 연결에서 얻은 네트워크 보상의 평균이다.

두 번째로, 네트워크  $w$  상의 클래스  $k$  연결에서 도착 속도  $\lambda_k^w$ 는  $\lambda_{k,new}^w = (1-\alpha) \cdot \lambda_{k,old}^w + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_k^w/1-B_k^w)$ 와 같은 EWMA(Exponentially Weighted Moving Average) 모델인 온라인 계산된다. EWMA 모델에서  $\bar{\lambda}_k^w$ 는 정기적인 간격으로 업데이트 되는 시간 단위에 따라 네트워크  $w$ 에서 클래스  $k$  연결의 평균 숫자를 나타내고,  $\lambda_{k,new}^w$ 는 새로운 예측 도착율,  $\lambda_{k,old}^w$ 는 이전의 예측 도착율,  $B_k^w$ 는 클래스  $k$  연결이 차단된 시간의 비율,  $\alpha$ 는 (0, 1)의 상수를 가진다.

수식 (14)과 수식 (15)에서 얻은 상대값의 차이에 따라서, 수용인원이  $i$ 인 네트워크  $w$ 에서의 클래스  $k$  연결의 핸드오버 비용은  $\Gamma_k^w(i)$ 로 정의하고 다음과 같이 표현된다.

$$\Gamma_k^w(i) = \begin{cases} \frac{v^w(i+b_k) - v^w(i)}{\mu_k}, & (i+b_k \leq C_w) \\ \infty, & \end{cases} \quad (18)$$

위 수식에서  $b_k$ 는 네트워크  $w$ 의 클래스  $k$  핸드오버 연결에서 필요한 대역폭을 나타낸다. 가능한 이웃 네트

워크가 여러 개 있을 경우, 최소 비용의 네트워크는 MN이 핸드오버 할 때 최적의 네트워크  $NET_{opt}$ 가 선택된다. 결과적으로, MDP 비용 기반 접근 방식은 최적의 네트워크를 선택, 전송 품질을 향상, 부하 분산 수행과 같은 장점을 가진다.

마지막으로, MDP 기반의 적응 예측 RSS 방식의 시간 복잡도를 분석한다. 분석은 다항식 회기 기반 예측 RSS 방식과 최적의 대상 네트워크를 결정하기 위한 MDP 비용 기반의 접근 방식 두 가지로 진행한다. 첫 번째로, 핸드오버 알고리즘은 가우스 소거법을 이용해 선형 방정식  $Z$ 를 구하는 방식으로 예측 RSS를 계산하는데, 선형 방정식의 각 요소는  $H$  이전 RSS로 결정된다. 가우스 소거법의 시간 복잡도는  $O(Z^3)$ 이고,  $Z$ 는  $Z \times Z$ 의 행렬을 나타낸다. 최악의 경우, 대부분의  $N$  WLAN이 MN의 전송 범위 내에 있게 된다. 핸드오버 감지 절차의 전체 시간 복잡도는 다음과 같이 표현된다.

$$O(NZ^3) \quad (19)$$

다항식 함수가 결정될 때 상수  $Z$ 는 각각의 예측 RSS에 대한 일정한 시간이 필요하다. 따라서  $N \geq M$ 의 경우 시간 복잡도는  $O(NZ^3)$ 로 표현되고, 반대의 경우에는  $O(MZ^3)$ 로 표현된다.

두 번째로, MDP 비용 기반 접근 방식은 최적의 대상 네트워크 목록에서 최소의 핸드오버 비용으로 네트워크 선택을 제안한다. MDP 기반 최소 비용의 네트워크를 결정하기 위한 시간 복잡도는 WLAN에서는  $O(M)$ 이 된다.

## 2. 수치분석 결과

이 장에서는 이동성관리 프로토콜의 성능 결과를 보인다. 수치 분석을 위해, [37]-[39]에서 사용된 변수의 값을 이용한다.  $h_{C-H} = 4$ ,  $h_{C-L} = 6$ ,  $h_{H-L} = 4$ ,  $h_{L-A} = 4$ ,  $h_{A-M} = 1$ ,  $E(S) = 10$ ,  $\tau = 20$  ms,  $n = 3$ ,  $L_f = 19$  bytes,  $D_{wl} = [10, 40]$  ms,  $D_{wired} = 0.5$  ms,  $BW_{wired} = 100$  Mbps,  $T_{DAD} = 1000$  ms,  $T_{L2}^{Wi-Fi \rightarrow Wi-Fi} = 45.35$  ms,  $T_{L2}^{LTE/3G \rightarrow Wi-Fi} = 68.03$  ms,  $T_{L2}^{LTE/3G \rightarrow LTE/3G} = 90.7$  ms,  $T_{L2}^{Wi-Fi \rightarrow LTE/3G} = 136.05$  ms.

### 가. 핸드오버 지연시간

$\rho_f$  값을 0부터 0.7까지 0.05씩 증가시킨다. 그림 9와

그림 10에서  $\rho_f$ 와 핸드오버 지연 시간과의 관계를 나타낸다.  $\rho_f$ 가 높은 값을 가질 때 무선 링크를 통한 잘못된 패킷의 전송 확률이 증가된다. 따라서 이동성 신호 재전송 횟수가 증가하였고, 핸드오버 지연시간이 증가했다. 그림 9와 그림 10에서 보여주듯이 각각의 이동성관리 프로토콜의 핸드오버 지연시간은  $\rho_f$ 가 기준이 된다. 또한,  $D_{wl}$ 의 값도 핸드오버 지연시간에 영향을 미친다. 예를 들어, 핸드오버 지연시간이  $\rho_f$ 에 가까이 급격하게 증가하면,  $D_{wl}$ 의 더 높은 값과 함께 증가된다. Pre-FMIPv6와 FMIPv6는 다른 이동성관리 프로토콜에 비해 핸드오버 지연시간 측면에서 뛰어나다. 빠른 예측 핸드오버 프로토콜에서 MN은 L2 트리거를 활용하고, 새로운 네트워크로 이동하기 전에 이전 또는 현재 접속된 네트워크로부터 핸드오버를 준비한다. 그러나 빠른 사후 핸드오버 프로토콜에서는 MN이 새로운 액세스 네트워크에서 일부 작업을 수행해야 하므로 핸드오버 지연시간을 크게 줄이지 못한다. 따라서 Re-FMIPv6와 FPMIPv6와 같은 빠른 사후 핸드오버 프로토콜이 패킷 손실을 줄일 수 있지만, 핸드오버 지연시간을 크게 줄이지 못한다는 것을 확인할 수 있다. 두 번째로 MIPv6 분석을 진행한다. PMIPv6 네트워크 안의 MN은 로컬 관리되고, LMA와 MAG에서 이동성 신호가 교환된다. 이것은 이동성 무선에서의 이동성 신호가 발생하지 않으므로,  $\rho_f$ 와  $D_{wl}$ 은 PMIPv6 성능을 최소화 시킨다.

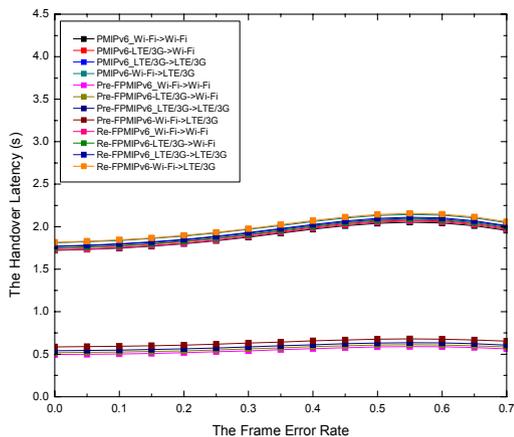


그림 9.  $D_{wl} = 10$  ms 일 때,  $\rho_f$  변화에 따른 핸드오버 지연 시간  
 Fig. 9.  $D_{wl} = 10$  ms,  $\rho_f$  handover latency due to changes in

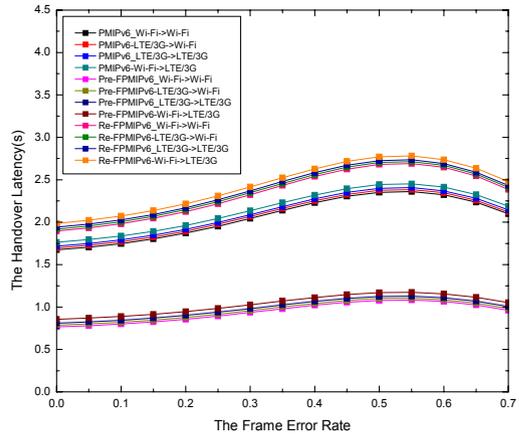


그림 10.  $D_{wl} = 40$  ms일 때,  $\rho_f$  변화에 따른 핸드오버 지연 시간  
 Fig. 10.  $D_{wl} = 40$  ms,  $\rho_f$  handover latency due to changes in

#### 나. 핸드오버 차단 확률

이 장에서는  $\nu$ 와  $R$ 의 값을 20 m/s와 500m 로 가정한다. 그리고  $D_{wl}$ 은 10 ms로 고정하고,  $\rho_f$ 는 0부터 0.7까지 0.05 간격으로 증가시킨다. 그림 11은 각각의 이동성관리 프로토콜의 핸드오버 차단 확률을 나타낸다. 핸드오버 차단 확률에 대해 실시된 분석은 차단 요소에 대한 핸드오버 지연시간만 고려한다. 그림 9와 그림 10에서 도출한 결과와 마찬가지로,  $\rho_f$ 의 값이 증가함에 따라 핸드오버 차단 확률이 증가한다. Pre-FMIPv6와 FPMIPv6의 핸드오버 차단 확률은 다른 프로토콜에 비해 낮지만, MIPv6의 핸드오버 차단 확률은 높다. 다음 분석에서는 PMIPv6를 다룬다.  $\rho_f$ 와  $R$ 은 0.2와 500m로 설정하고,  $\nu$ 는 0m/s부터 30m/s까지 변화시킨다. 그림 12는  $\nu$ 에 대한 핸드오버 차단 확률을 나타내고,  $\nu$ 를 증가시키면 MN이 네트워크 접속 지점을 신속하게 변경한다.  $\nu$ 의 값이 높은 MN은  $\nu$ 의 값이 낮은 MN 보다 핸드오버를 더 빠르게 완료한다. 따라서  $\nu$ 의 값이 증가하게 되면, 각 이동성관리 프로토콜의 핸드오버 차단 확률이 증가하게 된다. 구성된 환경에서 Pre-FMIPv6와 FPMIPv6 같은 두 빠른 예측 핸드오버 프로토콜은  $\nu$ 를 30 m/s까지 증가시켜도 0.05 보다 낮게 측정되므로, 핸드오버 차단 확률의 측면에서 좋은 성능을 나타낸다. PMIPv6도  $\nu$ 가 30 m/s에 달했을 때 0.1 미만의 핸드오버 차단 확률을 보여주므로 상당한 성능을 보여준다 할 수 있다. 이전 결과와 마찬가지로, MIPv6는 핸드오버 차단 확률의 관점에

서 저조한 성능을 보여준다. 이런 현상은  $\nu$ 의 값이 증가할 때 더 크게 나타난다. 다음으로  $\nu$ 와  $\rho_f$ 를 각각 20 m/s, 0.2로 설정한다. 그리고  $D_{wl}$ 은 10 ms로 설정하고,  $R$ 은 400m에서 800m까지 50m 씩 증가시킨다.  $R$ 의 값이 높은 것은 MN의 액세스 네트워크가 더 넓음을 의미한다.  $R$ 이 증가할 때, MN이 네트워크에 접속해 있는 시간이 길어지고, MN이 핸드오버 차단 확률을 감소시키기 때문에 핸드오버를 완료하는데 더 많은 시간이 든다. 그림 13은 대부분의 이동성관리 프로토콜은  $R$ 의 영향을 받지만, Pre-FMIPv6와 FPMIPv6의 성능에는 영향을 주지 않는다.

그림 11, 그림 12, 그림 13에서 Pre-FMIPv6와 FPMIPv6의 핸드오버 지연시간이  $\rho_f$ ,  $\nu$ ,  $R$ 에 의한 핸드오버 차단 문제를 방지 할 수 있을 만큼 짧음을 나타낸다. 이런 빠른 예측 핸드오버 프로토콜의 성능이 다른 프로토콜보다 뛰어난 이유는 MN이 이전의 액세스 네트워크에서 새로운 액세스 네트워크로 핸드오버를 수행하기 전에 L2 정보를 활용하여 준비하기 때문이다. PBU와 PBAck 메시지 같은 이동성 신호를 제외한 PMIPv6와 PMIPV6의 성능에서는  $\rho_f$ 의 값이 PMIPV6의 성능에 영향을 주지 않도록 무선 링크를 이동한다. 그리고 PMIPV6에서 이동성 신호는 유선 링크를 통해 MAG와 LMA 사이에서 교환된다. MIPV6와 마찬가지로, PMIPV6 핸드오버 기술에 빠른 핸드오버 기술을 적용해 FPMIPV6가 된다.

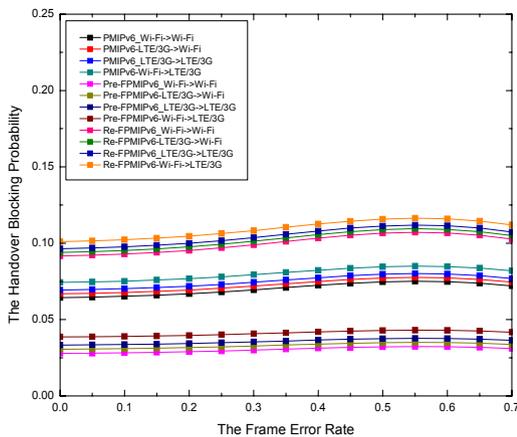


그림 11.  $\rho_f$  변화에 따른 핸드오버 차단 확률  
Fig. 11.  $\rho_f$  handover blocking probability due to changes in

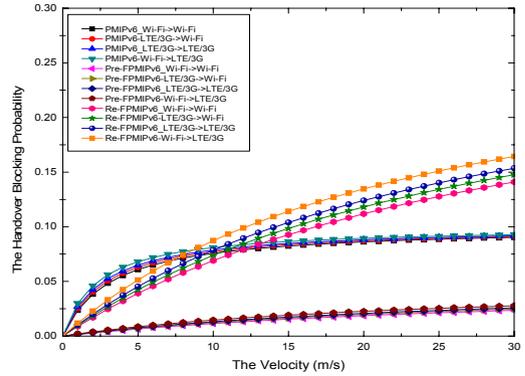


그림 12.  $\nu$  변화에 따른 핸드오버 차단 확률  
Fig. 12.  $\nu$  handover blocking probability due to changes in

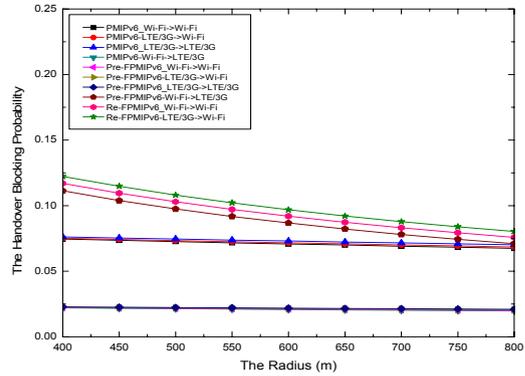


그림 13.  $R$  변화에 따른 핸드오버 차단 확률  
Fig. 13.  $R$  handover blocking probability due to changes in

#### 다. 패킷 손실

MN이 핸드오버를 수행하는 동안 CN에서 MN에 전송된 데이터 패킷은 모든 버퍼링 메커니즘 없이 손실된다. 그림 14와 그림 15는 핸드오버 동안의 패킷 손실을 보여준다. 이점에서,  $\lambda_s$ 와  $E(S)$ 는 각각 1과 10으로 설정된다. 그러면,  $\rho_f$ 는  $D_{wl}$ 의 다른 값에 의해 0부터 0.7까지 다양하다. 그림 15에서  $D_{wl}$ 의 값이 40 ms으로 설정된 반면, 그림 14에서는  $D_{wl}$ 이 10 ms으로 설정되었다. 그림 14와 그림 15에 따르면 더 높은  $D_{wl}$ 값을 가진  $\rho_f$ 이 패킷 손실에 더 많은 영향을 끼치는 것으로 보여진다. 이전 하위 섹션의 분석에 따르면 핸드오버 패킷 손실이 핸드오버 지연시간에 정비례한다. 예를 들면, MIPV6가 다른 것에 비해 핸드오버를 완료하는데 더 많은 시간이 필요하기 때문에 더 많은 패킷 손실이 일어난다. 다른 재미

있는 부분은 FMIPv6와 FPMIPv6 같은 빠른 핸드오버 프로토콜은 핸드오버 동안 패킷 손실을 일어나지 않는다는 것이다. 이것은 이러한 이동성관리 프로토콜이 AR/MAG에서 패킷 버퍼링 메커니즘을 채택하기 때문이다. 예를 들어 Pre-FMIPv6에서는 MN으로 향하는 데이터 패킷이 먼저 nAR에게 전송된 후 MN이 nAR에서 관리하는 액세스 네트워크에 도착할 때까지 nAR은 데이터 패킷을 버퍼한다. MN이 도착하는 대로, nAR은 버퍼된 데이터 패킷을 MN에 전송한다. 마찬가지로, CN에서 MN으로 전송된 데이터 패킷은 Re-FMIPv6의 pAR에 버퍼한다. 그리고 pAR가 nAR에 접속된 MN을 나타내는 FBU 메시지를 받으면 버퍼된 데이터 패킷을 nAR에 전송한다. 또한, PMIPv6는 핸드오버 지연 시간이 매우 낮은 경우에도 패킷 손실이 발생한다. 이것은 MN이 핸드오버 하는 동안 PMIPv6가 패킷 손실을 막기 위한 어떠한 버퍼링 메커니즘도 제공하지 않기 때문이다.

## V. 결론

본 논문에서는 IETF에 의해 개발된 기존 IPv6 이동성관리 프로토콜을 분석하고, 핸드오버 지연시간, 핸드오버 차단 확률, 패킷 손실의 측면에서 비교했다. 성능분석을 통해 다음과 같은 결과를 확인했다. 첫째, L2 정보 활용, 핸드오버 성능을 개선하기 위해서는 L2 정보를 활용해야 한다. 그림 10에서 보여주듯이 Pre-FPMIPv6은 새로운 액세스 네트워크로 핸드오버가 수행되기 전에 미리 준비를 할 수 있으므로 성능이 뛰어난 이동성관리 프로토콜이다. 핸드오버 지연시간이 줄어드는 것은 그림 11, 그림 12, 그림 13에 표시되었듯 핸드오버 차단 확률도 감소시켰다. 둘째, 버퍼링 관리 도입, 핸드오버 시 패킷 손실을 방지하기 위해 모든 버퍼링 메커니즘을 도입해야 한다. 그림 14와 그림 15에 표현되었듯, FPMIPv6와 같은 빠른 핸드오버 프로토콜은 CN이 전송한 데이터 패킷의 손실을 방지한다. 셋째, 무선링크 상태, 그림 9, 그림 10, 그림 11, 그림 14, 그림 15에서 표현되었듯, 무선링크를 통한 FER(Frame Error Rate)인 무선링크 상태는 모든 이동성관리 프로토콜의 핸드오버 성능에 영향을 미친다. FPMIPv6 같은 네트워크 기반 이동성관리 프로토콜은 MN의 이동성 신호 제거에 따른 장점을 가진다. 마지막으로, 네트워크 토폴로지, BU/BAck, LBU, LBAck, PBU/PBAck, HI/HAck 등과 같은 이동성 신호는 네트워크 토폴로지를 따라 전송되며, 핸드오버 성능은 네트워크 토폴로지 구성에 영향을 받는다. 예를 들어, FPMIPv6와 같은 빠른 핸드오버 프로토콜의 핸드오버 성능은 AR/MAG 사이의 홉 수에 크게 영향을 받는다. 이 논문의 성능분석 결과는 각 이동성관리 프로토콜의 특성과 성과지표를 식별하는데 사용할 수 있다. 또한 새로운 이동성관리 프로토콜 개발에 대한 의사결정을 촉진하는데 사용할 수 있다.

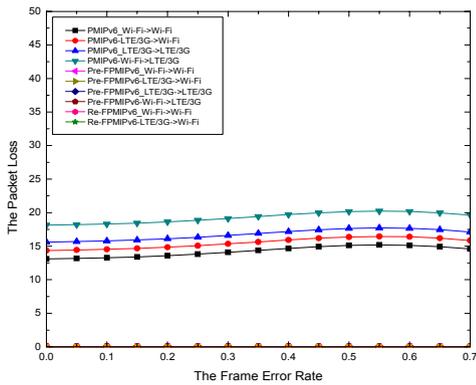


그림 14.  $D_{wl} = 10$  ms 일 때,  $\rho_f$  변화에 따른 패킷 손실  
Fig. 14.  $D_{wl} = 10$  ms,  $\rho_f$  packet loss due to changes in

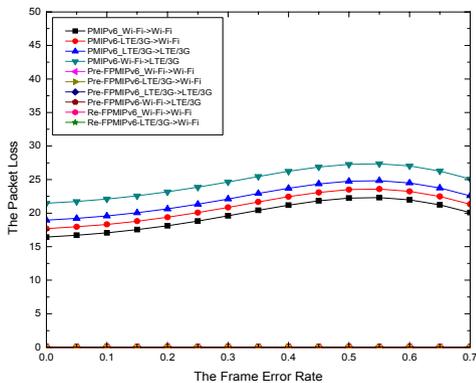


그림 15.  $D_{wl} = 40$  ms 일 때,  $\rho_f$  변화에 따른 패킷 손실  
Fig. 15.  $D_{wl} = 40$  ms,  $\rho_f$  packet loss due to changes in

## References

[1] S-H. Lee, D-R. Shin, and J-P. Jeong, "SePH: Seamless Proxy-based Handoff Scheme in IP-based Heterogeneous Mobile Networks", The KIPS transactions. Part C Part C c19(1), 71-82, 2012.  
[2] K-T. Kim, and J-P. jeong, "Cost Analysis of

- Mobility Management Schemes for IP-based NextGeneration Mobile Networks”, *Journal of Korean Society Internet Information* 2012. Apr: 13(3): 1-16.
- [3] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, Mobility support in IPv6, Jun. 2004. IETF RFC 3775.
- [4] S. Pack, J. Choi, T. Kwon, and Y. Choi, “Fast-handoff support in IEEE 802.11 wireless networks,” *Commun. Surveys Tuts.*, vol. 9, no. 1, pp. 2-12, First Quarter 2007.
- [5] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, “Mobility Support in IPv6”, IETF RFC 3775, June 2004.
- [6] R. Koodli, “Fast Handovers for Mobile IPv6”, IETF RFC 4068, July 2005.
- [7] H. Soliman, C. Castelluccia, K. ElMalki, and L. Bellier, “Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)”, IETF RFC 4140, August 2005.
- [8] R. Koodli, “Mobile IPv6 Fast Handovers”, IETF RFC 5568, July 2009.
- [9] H. Soliman, C. Castelluccia, K. ElMalki, and L. Bellier, “Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) Mobility Management”, IETF RFC 5380, October
- [10] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil, “Proxy Mobile IPv6”, IETF RFC 5213, August 2008.
- [11] H-S. Chai, and J-P. Jeong, “Security Analysis and Implementation of Fast Inter-LMA domain Handover Scheme in Proxy Mobile IPv6 Network”, *The KIPS transactions. Part C Part C c19(2)*, 99-118 , 2012.
- [12] H. Yokota, K. Chowdhury, R. Koodli, B. Patil, and F. Xia, “Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6”, IETF RFC 5949, September 2010.
- [13] G. P. Pollini, “Trends in handover design,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 34, no. 3, pp. 82-90, Mar. 1996.
- [14] N. Zhang and J. M. Holtzman, “Analysis of handoff algorithms using both absolute and relative measurements,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, no. 1, pp. 174-179, Feb. 1996.
- [15] P. Marichamy, S. Chakrabarti, and S. L. Maskara, “Performance evaluation of handoff detection schemes,” in *Proc. IEEE Conf. Conver. Technolog. Asia-Pacific*, Oct. 2003, vol. 2, pp. 643-646.
- [16] K. Pahlavan, P. Krishnamurthy, A. Hatami, M. Ylianttila, J. P. Makela, R. Pichna, and J. Vallstron, “Handoff in hybrid mobile data networks,” *IEEE Pers. Commun.*, vol. 7, no. 2, pp. 34-47, Apr. 2000.
- [17] H. Bing, C. He, and L. Jiang, “Performance analysis of vertical hand- over in a UMTS-WLAN integrated network,” in *Proc. IEEE Int. Symp. Pers., Indoor, Mobile Radio Commun.*, Sep. 2003, vol. 1, pp. 187-191.
- [18] J. McNair and Z. Fang, “Vertical handoffs in fourth-generation multinet-work environments,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 11, no. 3, pp. 8-15, Jun. 2004.
- [19] H. J. Wang, R. H. Katz, and J. Giese, “Policy-enabled handoffs across heterogeneous wireless networks,” in *Proc. IEEE Mobile Comput. Syst. Appl. Conf.*, Feb. 1999, pp. 51-60.
- [20] Z. Fang and J. McNair, “Optimizations for vertical handoff decision algorithms,” in *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf.*, Mar. 2004, vol. 2, pp. 867-872.
- [21] Q. Zhang, C. Guo, Z. Guo, and W. Zhu, “Efficient mobility management for vertical handoff between WWAN and WLAN,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 11, pp. 102-108, Nov. 2003.
- [22] C. Guo, Z. Guo, Q. Zhang, and W. Zhu, “A seamless and proactive end-to-end mobility solution for roaming across heterogeneous wireless networks,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 22, no. 5, pp. 834-848, Jun. 2004.
- [23] R. A. Howard, *Dynamic Programming and Markov Processes*.
- [24] X. Zhang, J. Castellanos, A. Campbell, “P-MIP: Paging Extensions for Mobile IP”, *ACM Mobile Networks and Applications*, vol. 7, no. 2, pp. 127-141, March 2002.
- [25] J.-H. Lee, S. Pack, I. You, and T.-M. Chung, “Enabling a Paging Mechanism in Network-based Localized Mobility Management Networks”,

- Journal of Internet Technology, vol. 10, no. 5, pp. 463-472, October 2009.
- [26] J.-H. Lee, Y.-H. Han, S. Gundavelli, and T.-M. Chung, "A comparative performance analysis on Hierarchical Mobile IPv6 and Proxy Mobile IPv6", *Telecommunication Systems*, vol. 41, no. 4, pp. 279-292, August 2009.
- [27] J.-H. Lee and T.-M. Chung, "How much do we gain by introducing Route Optimization in Proxy Mobile IPv6 networks?", *Annals of Telecommunications*, vol. 65, no. 5-6, pp. 233-246, June 2010.
- [28] S. Yang, H. Zhou, Y. Qin, and H. Zhang, "SHIP: Cross-layer mobility management scheme based on Session Initiation Protocol and Host Identity Protocol", *Telecommunication Systems*, vol. 42, no. 1-2, pp. 5- 15, October 2009.
- [29] J. McNair, I. F. Akyildiz, and M. D. Bender, "An Inter-System Handoff Technique for the IMT-2000 System", In *Proc. of IEEE Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (IN- FOCOM) 2000*, pp. 208-216, March 2000.
- [30] J.-H. Lee, M. Kim, B.-S. Koh, and T.-M. Chung, "Adaptive Authentication and Registration Key Management Scheme based on AAA Architecture", *Intelligent Automation and Soft Computing*, vol. 16, no. 4, pp. 519-536, 2010.
- [31] C. Makaya and S. Pierre, "An Analytical Framework for Performance Evaluation of IPv6-Based mobility Management Protocols", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 7, no. 3, pp. 972-983, March 2008.
- [32] T. J. Ott and K. R. Krishnan, "State dependent routing of telephone traffic", *Proc. Int. Teletraffic Congr.*,
- [33] S.-P. Chung and K. W. Ross, "Reduced load approximations for multirate", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41, no. 8, pp. 1222-1231,
- [34] R.-H. Hwang, J. F. Kurose, and D. Towsley, "State dependent routing for", *Proc. IEEE Global Commun. Conf.*, Dec. 1992, *Comput. Commun.*, vol. 29, no. 11, pp. 1948-1958, Jul. 2006.
- [35] R.-H. Hwang, "Routing in high-speed networks," *Comput. Sci. Dept.*,
- [36] B.-J. Chang and P.-S. Chang, "Multicode-based WCDMA for reducing waste rate and reassignments in mobile cellular communications," *Comput. Commun.*, vol. 29, no. 11, pp. 1948-1958, Jul. 2006.
- [37] N. Banerjee, W. Wu, S. K. Das, S. Dawkins, and J. Pathak, "Mobility Support in Wireless Internet", *IEEE Wireless Communications*, vol. 10, no. 5, pp. 54-61, October 2003.
- [38] Y.-H. Han and Min, S.-G. Min, "Performance Analysis of Hierarchical Mobile IPv6: Does it Improve Mobile IPv6 in Terms of Handover Speed?", *Wireless Personal Communications*, vol. 48, no. 4, pp. 463- 483, March 2009.
- [39] S. Pack, J. Choi, T. Kwon, and Y. Choi, "Fast-Handoff Support in IEEE 802.11 Wireless Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 9, no. 1, pp. 2-12, 2007.
- [40] M. Kang and J.-P. Jeong, "3S: Scalable, Secure and Seamless Inter-Domain Mobility Management Scheme in Proxy Mobile IPv6 Networks", *IIBC VOL. 12 No. 3*, pp.99-114, June 2012.
- [41] K.-W. Yoon and J.-P. Jeong, "Performance Analysis of Fast Handover Scheme Based on Secure Smart Mobility in PMIPv6 Networks", *IIBC VOL. 13, No. 5*, pp.121-133, October 2013.
- [42] J.-H. Kim and J.-P. Jeong, "Performance Analysis of Cost-Effective Handoff Scheme in PMIPv6 Networks with DNS Supporting", *IIBC VOL. 11 No. 4*, pp.131-140, August 2011.

※ 이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임  
(NRF-2010-0024695). 교신저자 : 정종필

## 저자 소개

### 김 동 휘(준회원)



- 2009년 : 단국대학교 전자컴퓨터 학부 (공학사)
  - 2012년 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신대학원 석사과정
- <주관심분야 : 네트워크 보안, 컴퓨터 보안, 이동성관리, 인터넷 보안 등>

### 정 종 필(정회원)



- 2008년 : 성균관대학교 정보통신대학 (공학박사)
- 2009년 : 성균관대학교 컨버전스연구소 연구교수
- 2010년 ~ 현재 : 성균관대학교 산학협력중점교수

<주관심분야 : 모바일컴퓨팅, 센서이동성, 차량 모바일 네트워크, 스마트기기 보안, 네트워크 보안, IT융합, 인터랙션사이언스 등>