

# 모바일 IPv6 라우터에서 플로우 측정을 이용한 핸드오버 모니터링

## (Handover Monitoring with Flow-based Traffic Measurement in Mobile IPv6 Routers)

손현구<sup>†</sup>      최낙중<sup>\*\*</sup>      최양희<sup>\*\*\*</sup>      이영석<sup>\*\*\*\*</sup>  
 (Hyeongu Son)      (Nakjung Choi)      (Yanghee Choi)      (Youngseok Lee)

**요약** 본 논문에서는 모바일 IPv6 망에서 트래픽을 모니터링하고 사용자의 이동성 정보를 분석하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 트래픽 모니터링을 위한 별도의 소프트웨어를 단말에 설치하지 않고 라우터에서 패킷들을 모니터링하여 핸드오버 지연시간을 분석한다. 라우터에서 플로우 기반 트래픽 모니터링을 수행하기 위하여 표준 플로우 기반 트래픽 모니터링 방법인 IPFIX를 사용한다. 따라서, 단말과 상관없이 라우터에서의 모니터링만으로 사용자의 이동성에 대한 정보를 분석할 수 있는 장점을 가진다. 제안한 방법을 검증하기 위하여 실제 구축된 802.11 기반의 모바일 IPv6 망에서 이동성 실험을 수행하여 핸드오버를 측정하고 분석하였다. 실험을 통하여 분석된 결과 다운로드의 핸드오버 지연시간 측정 결과는 약간의 오차를 포함하였지만, 업로드의 핸드오버 지연시간 측정은 정확한 결과를 보여주었다.

**키워드** : IPv6 모바일, 라우터, 플로우, 핸드오버, IPFIX

**Abstract** In this paper, we propose a method of monitoring traffic and analyzing information of handover in mobile IPv6 networks. Our proposed method analyzes handover latency through monitoring packets at routers without installing monitoring applications at mobilenodes. For this purpose, we employ a flow-based traffic monitoring standard called IPFIX to perform the traffic measurement function the packets at the routers. Therefore, our method is useful in that we could easily obtain information regarding handover of mobile nodes by only monitoring traffic at the routers. In order to verify the proposed method, we carried out experiments in a real 802.11-based mobile IPv6 network testbed. From our experimental results, it was shown that the calculated handover latency for uploading traffic is accurate with less accuracy of analyzing the handover latency for downloading traffic.

**Key words** : IPv6, mobile, router, flow, handover, IPFIX

· 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2009-(C1090-0902-0016))  
 · 본 연구는 기초기술연구회의 NAP 과제 지원으로 수행되었음

† 학생회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 hgson@cnu.ac.kr  
 \*\* 정 회 원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사후연구원 fomula@mmlab.snu.ac.kr  
 \*\*\* 종신회원 : 서울대학교 컴퓨터공학과 교수 yhchoi@mmlab.snu.ac.kr  
 \*\*\*\* 정 회 원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수 lee@cnu.ac.kr  
 논문접수 : 2008년 9월 3일  
 심사완료 : 2009년 7월 21일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 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 제36권 제5호(2009.10)

### 1. 서론

최근 무선 인터넷 사용자가 증가함에 따라 인터넷의 이동성 지원 요구가 늘어나고 있으며, 국내 일부 인터넷 서비스 사업자(ISP)는 이동성이 지원되는 무선 인터넷 서비스를 시작하고 있다. 기존 IPv4 망에서의 이동성 지원뿐만 아니라 IPv6망에서의 이동성 지원이 가능하기 때문에 ISP들은 이동성이 지원되는 무선망의 성능, 품질 및 이동 단말의 이동 정보 등을 알기 위한 이동성에 특화된 트래픽 모니터링 방법을 필요로 한다. 특히, IEEE 802.11, CDMA EVDO, WCDMA HSDPA, 및 와이브로(WiBro) 등과 같은 링크 계층에서의 무선 환경 지원 기술과 모바일 IPv6(MIPv6)[1], 계층적 MIPv6(HMIPv6)[2], Fast MIPv6[3] 및 프락시 MIPv6(PMIPv6)[4]등과 같은 네트워크 계층에서의 무선 환경

지원 기술이 최근에 등장하기 시작하여 2계층 뿐만 아니라 3계층에서 이동성 관련 트래픽 모니터링 기술에 관한 필요성이 대두되고 있다. 차세대 인터넷의 기반인 IPv6 프로토콜은 이동성을 기본적으로 지원하며 이에 대한 관련 연구가 진행되고 있다.

IETF의 모바일 IPv6 표준은 IPv6 네트워크에서 IPv6 단말의 이동성을 지원하기 위하여 제안된 프로토콜이다. 이 프로토콜은 인터넷에서 단말이 서로 다른 서브넷을 사용하는 망 사이를 옮겨 다니며 통신을 계속 수행할 수 있도록 지원한다.

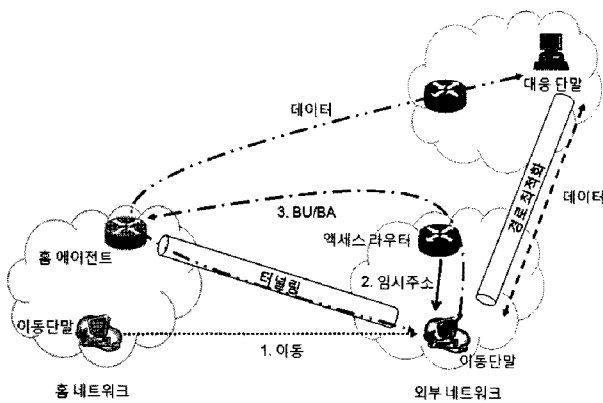


그림 1 모바일 IPv6 동작과정

그림 1은 모바일 IPv6 망에서 단말이 외부 네트워크로 이동했을 때 데이터 송수신 과정을 보여준다. [1]에서 제시된 모바일 IPv6 망에서 통신 방법은 두 가지가 존재한다. 첫째로 대응 단말이 모바일 IPv6 기능을 지원하지 않을 경우 이동 단말과 대응 단말 사이의 트래픽은 반드시 홈 에이전트(HA: Home Agent)를 경유해야 한다. 이는 대응 단말이 이동 단말이 외부 네트워크로 이동했을 때 받은 임시주소(CoA: Care-of-Address)를 알 수 없기 때문이다. 두 번째는 경로 최적화(Route Optimization)가 적용되어 대응 단말에 모바일 IPv6 기능이 탑재될 경우로 대응 단말에서 이동 단말간의 트래픽은 홈 에이전트를 경유하지 않고 직접 통신이 가능하다. 하지만 모바일 IPv6 보급 초기에는 대응 단말들이 모바일 IPv6 기능을 지원하지 않은 경우가 대부분일 것이기 때문에 본 논문에서는 경로 최적화가 지원하지 않을 경우의 환경을 고려한다.

이동 단말이 홈 네트워크를 벗어나 외부 네트워크에 접속하면 이동 단말은 방문한 네트워크에서 사용할 임시 주소를 액세스 라우터(AR)로부터 얻는다. 이동 단말은 임시 주소를 홈 에이전트의 바인딩 캐시에 등록하기 위하여 Binding Update(BU)를 전송하고, 홈 에이전트는 BU의 발신지 주소를 단말의 임시주소로 등록한다. 이후 홈 에이전트는 이동 단말에게 등록 완료를 알리는

Binding Acknowledgement(BA)를 전송한다. 이후 이동 단말이 핸드오버 실행 전 홈 주소를 목적지로 하는 데이터 패킷이 액세스 라우터<sup>1)</sup>에 도착하면 임시주소를 목적지 주소로 설정하여 터널링을 통해 이동 단말로 전송한다. 이동 단말은 이 패킷을 수신받아 터널링 헤더를 제거하고 원래의 패킷을 얻을 수 있다. 또한 이동 단말이 대응 단말에 데이터를 전송할 경우에는 역 터널링을 통해 전송된다.

이동성을 지원하는 무선 인터넷 환경에서의 트래픽 모니터링 방법은 단말에서 측정하는 방법과 액세스 라우터에서 측정하는 방법으로 나눌 수 있다. 단말에서 측정하는 방법은 무선 인터넷 망 성능이나 품질을 정확하게 측정할 수 있지만, 사용자의 단말에 별도의 프로그램을 설치해야 하는 오버헤드가 발생한다. 한편, 라우터에서의 트래픽 모니터링 방법은 관리자가 별도의 비용 부담없이 트래픽을 모니터링할 수 있다는 장점을 가진다. 대표적인 라우터에서의 트래픽 모니터링 기술로 시스코 라우터에서 제공하는 NetFlow가 널리 사용되고 있으며, 다양한 사용자 트래픽 모니터링 응용에 활용되고 있다. 하지만, NetFlow를 이용하여 이동성에 관련된 트래픽 모니터링 방법에 대한 연구는 많이 되지 않았다. 이동성이 지원되는 환경에서는 사용자의 이동성, 이에 따른 모바일 트래픽의 추적 및 모바일 트래픽에 대한 과금 등을 위해서는 이동하는 트래픽을 모니터링하는 기술이 필수적이다. 따라서 이동성이 지원되는 인터넷 환경에서 라우터에서의 트래픽 모니터링 기술을 확장하여 이동성 관련 트래픽 모니터링 방법을 개발할 필요가 있다. 최근에 들어 모바일 IPv6 망에서의 트래픽 모니터링에 대한 몇몇 연구가 진행되었다. [5]에서는 VoIP 트래픽을 이용하여 핸드오버 지연시간을 이동 단말에서 측정한 결과를 보여주고 있다. [6]에서는 SIP 시그널링을 할 때 핸드오버 지연시간 측정 결과를 보였다. [6]의 핸드오버 지연시간 측정은 SIP를 모바일 환경에서 사용하기 위하여 리눅스 커널을 수정했을 때와 수정하지 않았을 때의 결과를 비교하여 보여준다. 이와 같은 연구들에서는 핸드오버 지연시간을 측정하기 위한 실험 결과로만 제시되었고, 체계적인 측정 방법을 제안하지는 않았다. [7]에서는 라우터에서 패킷 샘플링을 이용하여 NetFlow v9 기반 트래픽 모니터링 방법을 제시하였다. [7]에서는 NetFlow v9의 플로우 데이터만 이용하여 모바일 플로우를 관측하였지만, 핸드오버 신호나 핸드오버 데이터 관리 등에 대한 연구는 수행되지 않았다.

1) 본 논문에서는 홈 에이전트가 액세스 라우터의 기능으로 존재한다고 가정한다.

본 논문에서는 모바일 IPv6 망의 액세스 라우터에서 트래픽 모니터링 기법을 제시하여, 인터넷 서비스 관리자가 이동 단말의 트래픽 정보과 이동성 정보 및 망 성능을 쉽게 측정할 수 있도록 한다. 제안하는 라우터에서의 모바일 트래픽 모니터링 방법은 플로우 기반 트래픽 모니터링 표준인 IETF IPFIX[8]를 사용한다. IPFIX는 시스코에서 제안된 NetFlow v9을 기반으로 가변적이고 확장이 쉬운 템플릿 구조를 제공한다. 고정적인 템플릿을 제공하여 확장이 쉽지 않은 NetFlow v5와는 다르게 IPv6와 MPLS 같은 다양한 프로토콜을 지원한다. IPFIX에서 사용되는 템플릿은 레코드 포맷 구조를 변경하지 않고 모니터링을 원하는 필드를 추가하여 트래픽 정보를 수집할 수 있다. 또한, 가변적으로 필드의 추가 및 삭제가 가능하여 관리자가 필요한 정보에 대해서만 모니터링할 수 있는 장점이 있다.

IPFIX를 이용하여 트래픽 모니터링을 수행하는 연구들이 진행되고 있으며, 실제 네트워크 환경에서 IPFIX를 이용하여 트래픽 모니터링을 수행할 수 있는 여러 툴들이 출시되고 있다. [9]에서는 IPFIX를 이용하여 TCP, UDP와 ICMP 트래픽의 모니터링을 위한 IPFIX 템플릿 구조와 모니터링 결과를 보여주고 있다. IPFIX 장점인 가변적인 템플릿을 사용하여 다양한 프로토콜을 모니터링할 수 있는 장점을 통해 [10]에서는 IPFIX를 이용하여 IP 멀티캐스트 트래픽을 모니터링하는 방법을 제시하였다. 또한 [11]과 [12]는 IPFIX를 이용하여 트래픽 모니터링한 결과를 보여주는 툴이다. 이들 툴에서는 기본적인 트래픽 통계정보뿐만 아니라 이상 트래픽 탐지 등의 기능들이 포함되어 있다. 하지만 이들 논문과 툴은 모바일 환경에서 발생하는 모바일 트래픽 모니터링 기능을 제공하지 않아 이동 단말의 핸드오버 등의 모니터링이 불가능하다.

본 논문에서는 모바일 IPv6망의 액세스 라우터에서 모바일 트래픽을 모니터링하기 위한 IPFIX 템플릿과 이를 이용한 실험 결과를 제시한다. 모바일 IPv6 플로우 관련 IPFIX 템플릿은 모바일 IPv6 핸드오버 신호와 데이터 트래픽의 헤더 정보를 모니터링하여 핸드오버 지연시간을 분석할 수 있도록 한다. 본 실험결과[14,15]에 더하여 실외에 구축된 캠퍼스망에서의 테스트베드에 대한 실험 결과와 이의 분석 결과를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안한 라우터에서의 플로우 기반 트래픽 모니터링 기법을 설명하여, 3장에서는 핸드오버 지연시간 측정 방법을 제시한다. 4장과 5장, 6장은 본 논문에서 제시한 트래픽 모니터링 기법과 트래픽 분석 방법의 실험을 위한 실험 환경과 실험 결과를 보여준다. 7장은 결론과 향후과제를 다룬다.

## 2. 플로우 기반 모바일 IPv6 트래픽 측정 구조

본 논문에서 제시하는 트래픽 모니터링 방법은 모바일 IPv6 망에서 단말이 아닌 액세스 라우터에서 트래픽을 모니터링한다. 본 트래픽 모니터링 시스템은 IPFIX 플로우 생성기와 IPFIX 플로우 수집기로 구성된다. IPFIX 플로우 생성기는 그림 2와 같이 모바일 IPv6 망에 존재하는 액세스 라우터들(HA, AR)에 설치되고, IPFIX 플로우 수집기는 IPFIX 플로우 생성기에서 전송되는 IPFIX 플로우를 받아 분석하여 트래픽 모니터링 통계 정보를 저장한다.

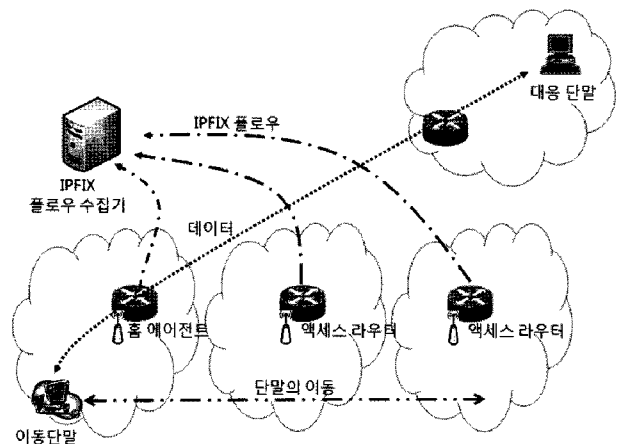


그림 2 모바일 IPv6 트래픽 측정 개요

- IPFIX 플로우 생성기: IPFIX 플로우 생성기는 모바일 IPv6 망의 액세스 라우터에 설치되며, 기본적인 IPv6 트래픽과 모바일 IPv6 망에서 발생하는 트래픽을 분석하여 IPFIX 플로우 형태로 만들어 IPFIX 플로우 수집기에 전송하는 역할을 한다. IPFIX 플로우를 수집기로 전송할 때 UDP 외에 TCP나 SCTP 같은 신뢰성 있는 전송 프로토콜도 사용이 가능하다. 이 플로우 생성기에서는 기본적인 IPv6 트래픽 외에 모바일 IPv6 망에서 발생하는 트래픽(BU, BA, 터널링 트래픽)의 모니터링도 가능하다.
- IPFIX 플로우 수집기: IPFIX 플로우 수집기는 IPFIX 플로우 생성기로부터 다양한 형태의 IPFIX 플로우를 수신하여 저장하는 역할을 수행한다. 모바일 IPv6 지원을 위하여 새롭게 정의된 다수의 추가 템플릿을 인식할 수 있으며, 동시에 여러 IPFIX 플로우 생성기로부터 IPFIX 플로우를 수신할 수 있다. 또한, 수신한 IPFIX 플로우를 다른 지점으로 재전송이 가능한 구조를 가지고 있다. IPFIX 수집기는 IPFIX 플로우를 분석하여 트래픽 모니터링 통계 정보를 데이터베이스에 저장하여 추후 분석이 용이하도록 하고 있다.

### 3. 라우터에서의 플로우 측정을 이용한 핸드 오버 지연시간 모니터링 기법

본 장에서는 라우터에서 트래픽을 플로우 단위로 모니터링할 때 핸드오버 지연시간을 측정할 수 있는 방법을 제시한다. 모바일 IPv6 망에서 플로우 기반 핸드오버 지연시간 측정은 [15]에서 제시한 템플릿을 이용한다. 하지만, 본 논문에서는 핸드오버 지연시간 측정을 위해 이동 단말을 기준으로 업로드와 다운로드에 대해 다른 방법을 적용한다. 그림 3과 그림 4는 라우터에서 업로드/다운로드 트래픽에 대한 핸드오버 지연시간 측정 방법을 보여준다.

#### 3.1 업로드 트래픽

라우터에서 측정되는 업로드 트래픽을 이용하여 핸드오버 지연시간을 계산하기 위해서는 그림 3과 같이 홈 에이전트에서 대응 단말과 연결된 인터페이스에서 모니터링된 트래픽 정보를 이용한다. 핸드오버 지연시간의 계산을 위하여 지정한 이 모니터링 지점은 대응 단말에서 측정된 핸드오버 지연시간과 비교해서 오차가 크지 않기 때문이다. 홈 에이전트에서 측정된 핸드오버 지연시간 값( $t_h^u$ )은 이동하기 전의 마지막 패킷이 도착한 시간과 새로운 라우터로 이동한 후 도착한 패킷의 시간 차이로 계산한다. 그림 3에서 보듯이 업로드 트래픽을 이용하여 핸드오버 지연시간을 측정하게 되면 홈 에이전트에서 측정된 핸드오버 지연시간 값( $t_h^u$ )과 대응 단말에서 측정된 핸드오버 지연시간( $t_h^u$ )간의 차이가 크지 않다.

그림 3에서는 이동 단말이 홈 에이전트로부터 멀리 떨어진 라우터들 사이에서 핸드오버 지연시간의 측정 방법도 보여준다. 그림 3에서 제시된 핸드오버 지연시간 측정 방법에는 이동 단말이 이동 후 홈 에이전트와 송수신하는 BU/BA의 전송시간이 포함된다. 따라서 이동 단말이 홈 에이전트로부터 멀리 떨어진 라우터들 사이에서 핸드오버가 발생할 경우 가까이 있는 라우터들 사

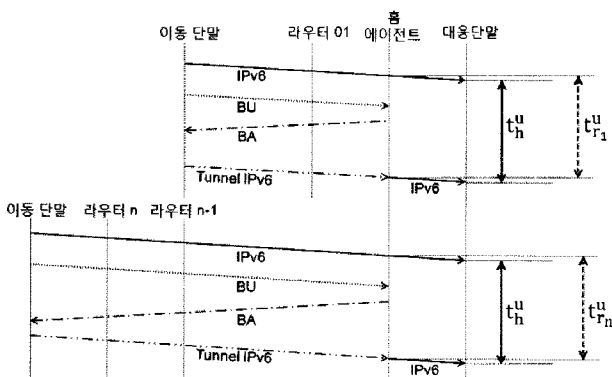


그림 3 라우터에서 업로드 트래픽에 대한 핸드오버 지연시간 측정 방법

이에서의 핸드오버 지연시간보다 증가하게 된다.

본 논문에서 제시된 핸드오버 지연시간 측정 방법은 이동 단말이 이동 후 홈 에이전트와 송수신하는 BU/BA의 전송시간이 포함된다. 따라서 이동 단말이 홈 에이전트로부터 멀리 떨어진 n-1번째 라우터에서 n번째 라우터로 이동할 경우 핸드오버 지연시간은 BU/BA의 전송시간이 반영되어 핸드오버 지연시간이 증가하게 된다. 하지만, 이동 단말에서도 핸드오버 지연시간( $t_h^d$ )은 홈 에이전트와 BU/BA를 주고 받는 시간이 포함되므로, 라우터에서 측정된 핸드오버 지연시간( $t_h^d$ )과 유사함을 그림 3을 통해 알 수 있다.

#### 3.2 다운로드 트래픽

다운로드 트래픽의 핸드오버 지연시간 측정을 위해서는 그림 3에서 제시된 업로드 트래픽에서의 핸드오버 지연시간 측정 방법과는 다르게 그림 4와 같은 방법을 이용하여야 한다. 왜냐하면, 단말이 이동했을 때 다운로드 트래픽을 모니터링하는 것만으로는 단말의 이동 이벤트의 모니터링이 어렵기 때문이다. 따라서, 다운로드 트래픽의 핸드오버 지연시간을 분석하기 위해서는 모바일 IPv6 망의 모든 액세스 라우터에서 모니터링한 결과를 동시에 이용하여 동일한 플로우를 찾아서 비교하여야 한다. 그림 4에서처럼 단말이 이동하기 전의 라우터와 이동한 후 연결된 라우터에서 모니터링한 결과를 동시에 이용하여 핸드오버 지연시간을 측정하게 된다. 다운로드 트래픽의 경우 이동 단말이 이동한 후 네트워크가 단절된 사실을 이동 단말이 BU를 홈 에이전트에게 전송할 때까지 알 수 없기 때문에 이 시간만큼 오차가 발생한다.

그림 4에서도 이동 단말이 홈 에이전트로부터 멀리 떨어진 라우터들 사이의 핸드오버에 대한 지연시간 측정 방법을 보여준다. 이동 단말이 n-1번째 라우터와 n번째 라우터에서 핸드오버를 수행할 때의 지연시간은 이동 단말과 홈 에이전트 사이에 송수신되는 BU/BA의

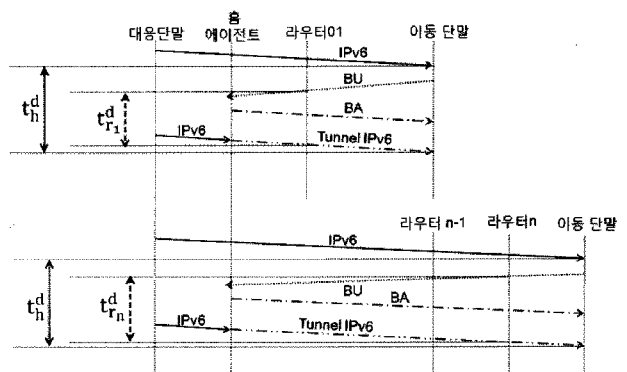


그림 4 라우터에서 다운로드 트래픽에 대한 핸드오버 지연시간 측정 방법

전송시간이 포함되고, 트래픽이 홈 에이전트를 반드시 경유하므로 트래픽이 홈 에이전트를 경유하여 전송되는 시간도 포함된다. 따라서 홈 에이전트에서 멀리 떨어진 라우터들 사이에서 이동 단말의 핸드오버 지연시간은 홈 에이전트와 가까이 있는 라우터들 사이에서의 핸드오버 지연시간 보다는 증가하게 된다.

### 5. 실험환경

본 논문에서 제시한 모바일 IPv6 망에서 플로우 기반 트래픽 모니터링 방법은 2개의 테스트베드에서 실험하였다. 카이스트 캠퍼스 전역에 설치된 모바일 IPv6 시범망과 충남대 데이터네트워크 연구실에 설치된 모바일 IPv6 테스트베드에서 실제 이동을 하여 분석한 결과를 제시한다.

#### 5.1 카이스트 모바일 IPv6 시범망

그림 5는 카이스트 캠퍼스 내 모바일 IPv6 시범망 구축 환경이다. 카이스트 내 시범망에는 총 9개의 서로 다른 서브넷을 사용하는 액세스 라우터와 이 라우터들을 연결하는 중간 계층의 라우터 3개로 구성되어 있다. 또한 이들 네트워크에서는 외부의 IPv6 망과 통신이 가능하도록 설정되어 있다. 본 논문에서는 이동 단말을 카이스트 캠퍼스 내부에 두고, 대응 단말을 외부 IPv6 망에 설치한 후 데이터 트래픽을 생성하여 이동하면서 실험하였다.

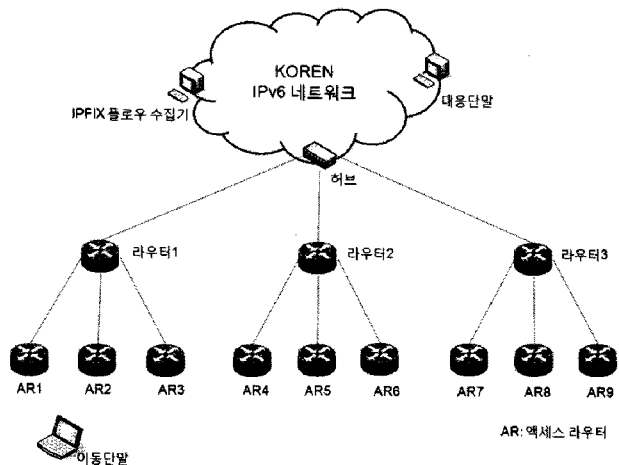


그림 5 카이스트 모바일 IPv6 시범망과 캠퍼스 지도

#### 5.2 충남대 모바일 IPv6 테스트베드

충남대 모바일 IPv6 망은 충남대 캠퍼스 전역에 설치된 것이 아니라 그림 6과 같이 데이터네트워크 연구실에 액세스 라우터 5대를 설치하여 구성하였다. 충남대에 설치된 모바일 IPv6 망은 데이터 네트워크 연구실에 설치된 Dual-stack 라우터에서 IPv4-in-IPv6 터널링을 통해 외부의 IPv6 망과 통신이 가능하도록 설정하였다.

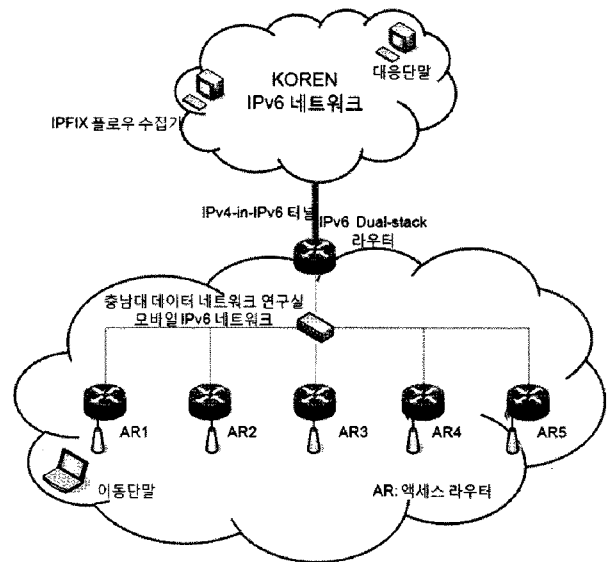


그림 6 충남대 모바일 IPv6 테스트베드

이들 또한 카이스트 모바일 IPv6 시범망과 같이 외부의 IPv6 망과 통신이 가능하도록 설정한다. 따라서, 이동 단말은 충남대, 대응 단말은 외부 IPv6 네트워크에 설치하여 데이터 트래픽을 송수신할 수 있도록 하였다.

#### 5.3 카이스트 모바일 IPv6 시범망에서의 이동경로

카이스트 시범망에서 모바일 IPv6 트래픽 모니터링을 수행하기 위해 그림 7의 경로로 단말을 휴대하여 도보로 이동하였다. 건물 사이의 구간 경로가 포함되어있기 때문에 카이스트의 이동 트래픽 모니터링 결과는 이동 단말이 건물과 건물 사이를 이동할 때 네트워크가 단절된 시간을 포함한다.

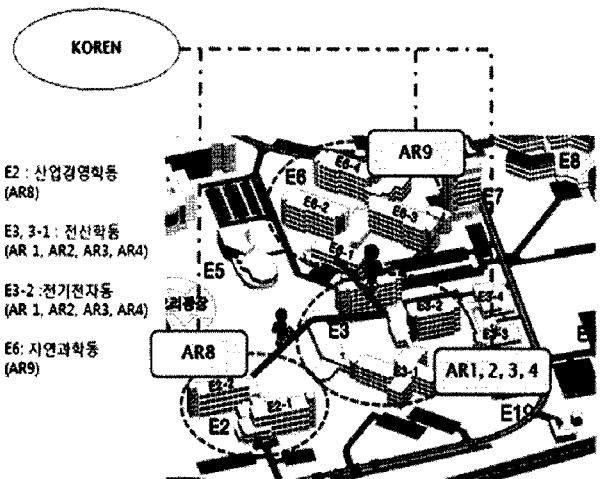
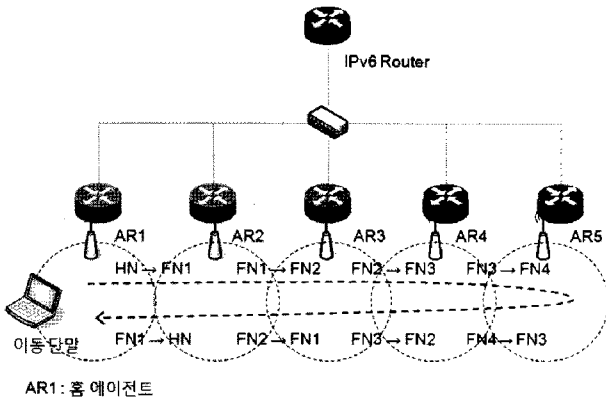


그림 7 카이스트내 이동 단말 이동 경로

#### 5.4 충남대 모바일 IPv6 테스트베드에서의 이동방법

그림 8에서는 충남대 모바일 IPv6 테스트베드에서 이동 단말이 이동한 경로를 보여준다. 충남대 테스트베드는 연구실 내부에 구축되어 단말을 도보와 같은 운송



AR1: 홈 에이전트  
그림 8 충남대 테스트베드에서 이동 단말의 이동 경로

수단을 이용하여 실험이 가능하지 않다. 따라서 충남대 모바일 IPv6 테스트베드에서 단말의 이동은 무선 랜카드의 essid 값을 변경하여 각 액세스 라우터로 이동시킨다.

### 6. 실험결과

#### 6.1 카이스트 모바일 IPv6 시범망에서 핸드오버 지연 시간 측정 결과

그림 9는 프로토콜별 핸드오버 지연시간을 측정한 결과이다. 이 그림에서는 제한한 방법의 정확성을 테스트하기 위하여 단말에서 측정한 핸드오버 지연시간과 비교한다. 그림 9에서 보면 핸드오버 지연시간이 10초 이상으로 크다는 것을 알 수 있다. 이는 이동 단말이 무선랜 신호의 단절없이 건물 내부의 액세스 포인트들간에 이동된 것이 아니라 건물과 건물 사이를 이동하면서 무선랜 신호가 단절되는 구간을 포함한 핸드오버가 발생되었기 때문이다.

액세스 라우터에서 업로드 트래픽에 대한 핸드오버 지연시간 측정은 그림 3에서 제시된 방법을 이용한다. 이 때 액세스 라우터는 이동 단말이 다른 서브 네트워크 영역으로 이동하면서 발생한 네트워크의 단절을 알

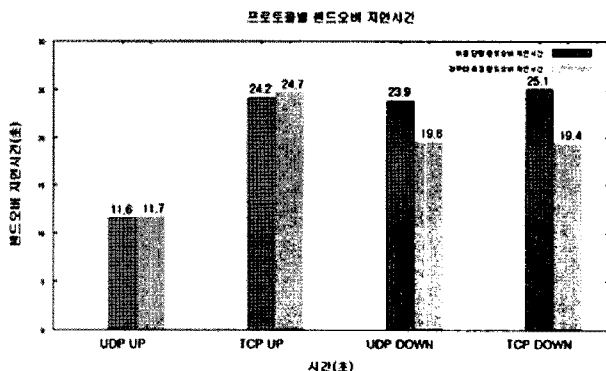
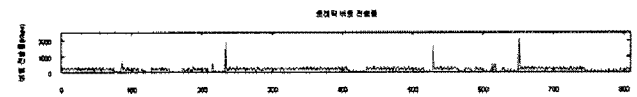
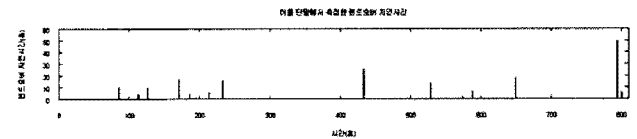


그림 9 카이스트 모바일 IPv6 망에서의 프로토콜별 핸드오버 지연시간 측정 결과

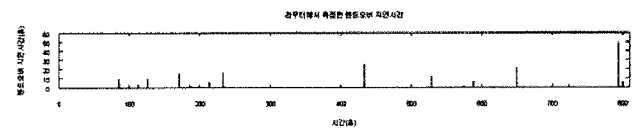
수 있기 때문에 라우터와 이동 단말에서 측정한 핸드오버 지연시간에 차이가 크지 않다. 반면 다운로드 트래픽에 대한 핸드오버 지연시간 측정은 업로드 트래픽에 적용된 방법과 달리 그림 4에서 제시된 방법을 사용한다. 이 때 액세스 라우터는 이동 단말이 다른 서브 네트워크로 이동한 것을 이동 단말이 홈 에이전트에게 BU를 전송하기 전까지 알 수 없다. 따라서 라우터에서 다운로드 트래픽에 대한 핸드오버 지연시간 측정은 이동 단말의 네트워크가 단절되고 홈 에이전트가 BU를 수신할 때까지의 시간만큼 오차가 발생하게 된다. 그림 9의 결과처럼 업로드와 다운로드 트래픽의 라우터와 단말에서 측정한 핸드오버 지연시간의 차이를 확인할 수 있다. 업로드 트래픽의 경우 0.1~0.5초로 오차가 발생하지만, 다운로드 트래픽의 경우 4.0~6.0초의 오차가 발생하여 업로드 트래픽보다 더 큰 차이를 보였다.



(a) 핸드오버에 따른 비트 전송률 변화



(b) 이동 단말에서 측정한 핸드오버 지연시간



(c) 라우터에서 측정한 핸드오버 지연시간

그림 10 카이스트 모바일 IPv6 망에서 핸드오버 지연시간 및 핸드오버에 따른 비트 전송률 변화

그림 10은 측정 시간 동안의 비트 전송률 변화와 핸드오버가 발생한 시점과 그 지연시간을 보여준다. 비트 전송률 변화 그래프에서 전송률이 저하되는 구간은 핸드오버 발생 시점과 그 지연시간과 비슷한 것을 알 수 있다. 단말의 핸드오버가 진행되는 동안 데이터 트래픽 전송이 단절되기 때문이다. 비트 전송률 측정 결과 중 일부 시간에 큰 값의 비트 전송률이 측정되었다. 이는 핸드오버가 발생하는 동안 데이터 트래픽이 버퍼에 쌓여 있다가 통신이 재개되면서 데이터 트래픽이 한꺼번에 전송되기 때문이다. 또한 그림 10의 핸드오버 지연시간 측정 결과를 통해 단말에서 측정하는 방법과 라우터에서 측정하는 방법에 차이가 크게 없음을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서 제시한 트래픽 모니터링 방법을 통해 모바일 IPv6 네트워크에서 효과적으로 모니터링이 가능하다는 것을 알 수 있다.

### 6.3 충남대 모바일 IPv6 테스트베드에서 핸드오버 지연시간 측정 결과

그림 11은 충남대 모바일 IPv6 테스트베드에서 트래픽 별로 핸드오버 지연시간을 측정한 결과이다. 이와 같은 결과는 이동 단말의 이동 구간이 무선랜의 음영지역이 없고 신호의 세기가 모두 큰 지역이기 때문이다. 그림 11의 결과에서 업로드 트래픽과 다운로드 트래픽일 때 핸드오버 지연시간 측정 결과가 측정 위치에 따라 상이함을 알 수 있다. 이는 업로드 트래픽의 경우 이동 단말이 이동했을 때 네트워크가 단절된 것을 액세스 라우터가 알 수 있지만, 다운로드 트래픽의 경우 홈 에이전트가 이동 단말로부터 이동 단말의 임시주소를 등록하기 위해 전송되는 BU를 수신하기 전까지 네트워크 단절 사실을 알 수 없기 때문이다. 따라서 다운로드 트래픽에 대하여 라우터에서 핸드오버 지연시간 측정 결과는 BU를 수신할 때까지의 시간이 제외되어 있다. 충남대 테스트베드에서 실험한 결과 업로드 트래픽의 핸드오버 지연시간의 차이는 0.05~0.41초, 다운로드 트래픽의 핸드오버 지연시간의 차이는 0.45~0.9초로 관찰되었다. 다운로드 트래픽의 핸드오버 지연시간 측정결과가 더 큰 오차를 보였다. 실험 결과에서 TCP 업로드일 때 UDP 업로드 일 때보다 핸드오버값이 약 0.5~1초 더 크게 측정되었다. UDP는 비연결형 전송 계층을 이용하지만, TCP의 경우 패킷 재전송 타이머와 이에 따른 지수함수적 재전송 과정이 포함되어 높게 측정되었다.

그림 12는 라우터와 이동 단말에서 측정한 핸드오버 발생 시점과 지연시간의 결과와 시간대별 비트 전송률의 변화 측정 결과를 보여준다. 충남대 테스트베드에서 측정한 핸드오버 지연시간이 작기 때문에 비트 전송률이 저하된 구간이 일부 시점에서만 보인다. 핸드오버 발생 시 비트 전송률이 저하된 시점이 라우터와 단말에서

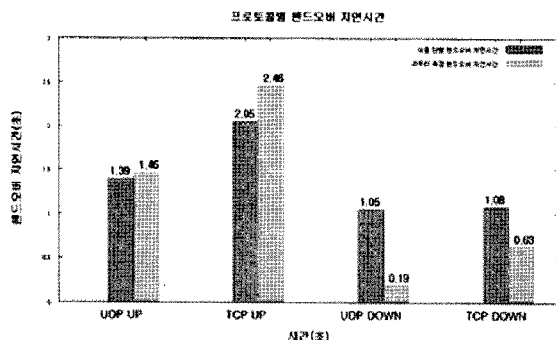
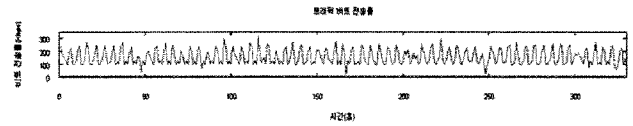
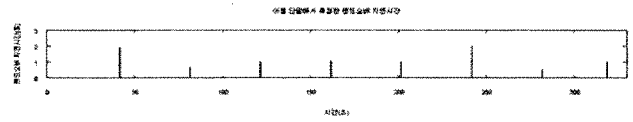


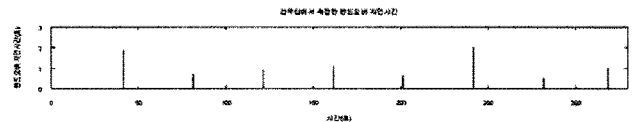
그림 11 충남대 모바일 IPv6 테스트베드에서 프로토콜 별 핸드오버 지연시간 측정 결과



(a) 핸드오버에 따른 비트 전송률 변화



(b) 이동 단말에서 측정한 핸드오버 지연시간



(c) 라우터에서 측정한 핸드오버 지연시간

그림 12 충남대 모바일 IPv6 테스트베드 환경에서 핸드오버 지연시간 및 핸드오버에 따른 비트 전송률의 변화

측정한 핸드오버 발생시점과 거의 일치한다. 또한 이동 단말에서 측정한 핸드오버 지연시간 결과와 라우터에서 측정한 핸드오버 지연시간을 통해 라우터에서 측정된 결과에 차이가 없음을 알 수 있다.

## 6. 결론 및 향후 과제

최근 인터넷 사용자들의 이동성 지원 요구가 늘어남에 따라 상용 이동성 지원 서비스가 부분적으로 제공되고 있다. 이들 서비스를 지원하기 위해서는 망 성능이나 품질의 모니터링 방법이 반드시 필요하다. 유선 네트워크에서의 트래픽 모니터링에 대한 연구는 많이 수행되었지만, 모바일 환경에서 트래픽 모니터링을 위한 연구는 거의 없다. 따라서 본 논문에서 이동성을 지원하는 모바일 IPv6 망에서 표준 플로우 기반 트래픽 모니터링 방법을 통하여 모바일 IPv6 망에서 사용되는 트래픽을 모니터링할 수 있는 방법을 제시하였다.

본 논문에서 제시한 방법은 표준 플로우 기반 트래픽 모니터링 방법인 IPFIX를 이용하여 모바일 IPv6 환경에서 단말이 아닌 액세스 라우터에서 트래픽을 측정하였다. 따라서 일반 유선 IPv6 망에서 발생하는 데이터 트래픽 외에 모바일 IPv6의 핸드오버 시그널링 트래픽에 대한 모니터링이 가능하였다. 또한 본 논문에서는 실제 무선 망 환경에서 핸드오버 지연시간 측정 결과를 제시하였다. 실험을 통하여 제시하는 라우터에서의 모바일 트래픽 측정 방법이 단말에서의 트래픽 측정결과와 유사한 정밀도를 보여주는 것을 확인하였다.

본 논문에서 제시한 핸드오버 지연시간 측정 방법은

대응 단말에 모바일 IPv6 기능이 탑재되지 않아 경로 최적화가 지원되지 않은 모바일 IPv6 망에서 고려된 방법이다. 따라서 이동 단말이 홈 네트워크에서 외부 네트워크로 이동하면, 모든 트래픽이 홈 에이전트를 경유하므로 홈 에이전트를 기준으로 하는 핸드오버 지연시간 측정방법의 제시가 가능하였다. 향후 대응 단말에 모바일 IPv6 기능이 탑재되어 이동 단말과 대응 단말 사이에 경로 최적화가 이용될 경우에도 본 논문에서 제시한 방법을 확장하면 쉽게 핸드오버를 모니터링 할 수 있다. 경로가 최적화된 환경에서의 핸드오버 지연시간은 이동 단말이 외부 네트워크로 이동하면 이동 단말과 대응 단말간에 트래픽이 홈 에이전트를 경유하지 않고 통신이 되기 때문에 다수의 인접 액세스 라우터에서 모니터링된 플로우 정보를 활용하면 쉽게 핸드오버를 측정할 수 있다.

본 논문에서는 가정한 표준 모바일 IPv6 프로토콜이 아닌 HMIPv6, FMIPv6, PMIPv6 등의 프로토콜에 대한 논의가 최근에 활발해지고 있으므로 이런 프로토콜을 위한 확장도 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," *IETF RFC 3775*, June 2005.
- [2] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management(HMIPv6)," *IETF RFC 4140*, August 2005.
- [3] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," *IETF RFC 4068*, July 2005.
- [4] K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, B. Patil, "Proxy Mobile IPv6," IETF Internet-Draft: <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-netlmm-proxymip6-18.txt>, May 2008.
- [5] M. Portoles-Comeras, M. Cardenete-Suriol, J. Mangues-Bafalluy, M. Requena-esteso, and L. Hersant, "Experimental assessment of VoIP quality in MIPv6 and SIP mobility scenarios," *IEEE ICC*, vol.5, pp.2048-2053, June 2006.
- [6] N. Nakajima, A. Dutta, S. Das, and H. Schuzrinne, "Handoff Delay Analysis and Measurement for SIP based mobility in IPv6," *IEEE ICC*, vol.2, pp.1085-1089, May, 2003.
- [7] P. Marques, H. Castro, and M. Ricardo, "Monitoring Emerging IPv6 Wireless Access Networks," *IEEE Wireless Communication Mag.*, vol.12, no.1, pp.47-53, February, 2005.
- [8] J. Quittek T. Zseby, B. Claise, and S. Zander, "Requirements for IP Flow Information Export (IPFIX)," *IETF RFC 3917*, October 2004.
- [9] F. Fatemipour, M. H. Yaghmaee, "Design and Implementation of a Monitoring System Based on IPFIX Protocol," *IEEE AICT*, pp.22-22, May 2007.
- [10] A. Kobayashi, Y. Hirokawa, H. Nishida, "IP Multicast Traffic Measurement Method with IPFIX/PSAMP," *IPOM, LNCS*, vol.5275, pp.78-90, 2008.
- [11] Arbor Peakflow and Netflow, Product overview, <http://www.arbornetworks.com/download/2006/>.
- [12] IBM Aurora, <http://www.zurich.ibm.com/aurora/>.
- [13] Y. Lee, S. Choi, and J. Lee, "Monitoring MIPv6 Traffic with IPFIX," *IEEE IPOM*, vol.4268, pp. 232-235, October 2006.
- [14] N. Choi, H. Son, Y. Lee, and Y. Choi. "Experiences with IPFIX-based Traffic Measurement for IPv6 Networks," *ACM SIGCOMM IPv6 Workshop*, August 2007.
- [15] H. Son, N. Choi, K. Kim, Y. Choi, Y. Lee, "Flow-based Traffic Monitoring in Mobile IPv6 Networks," KNOM Conference, April 2008.
- [16] VLC, <http://www.videolan.org/>.
- [17] D-ITG, <http://www.grid.unina.it/software/ITG/>.
- [18] iperf, <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>.
- [19] L. Deri, "nProbe: an Open Source NetFlow Probe for Gigabit Networks," TERENA Networking Conference, 2003.
- [20] libipfix, <http://ants.fokus.fraunhofer.de/libipfix/>.
- [21] MySQL, <http://www.mysql.com/>.



손 현 구

2007년 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공 학사. 2009년 충남대학교 컴퓨터공학과 석사. 2009년~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 인터넷 트래픽 측정, 이상 트래픽 탐지, IPv6 등

최 낙 중

정보과학회논문지 : 정보통신 제 36 권 제 4 호 참조

최 양 회

정보과학회논문지 : 정보통신 제 36 권 제 2 호 참조

이 영 석

정보과학회논문지 : 정보통신 제 36 권 제 5 호 참조