

IEEE 802.11네트워크에서 Proxy Mobile IPv6의 네트워크기반 이동성 감지 기법

김아람¹, 한연희², 최현영¹, 민성기¹, 유홍렬³

¹고려대학교 컴퓨터학과 고속통신 연구실

{cramade, neongas, sgmin}@hcl.korea.ac.kr

²한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부

yhhan@kut.ac.kr

³KT 신사업부문 인프라연구소 차세대무선개발담당

hryou@kt.co.kr

A Network-based Movement Detection Scheme for Proxy Mobile IPv6 over IEEE802.11 Networks

Aram Kim¹, Youn-Hee Han², Hyung-Young Choi¹, Sung-Gi Min¹, Heung-Ryeol You³

¹High-speed Communication Laboratory, School of Computer Science, Korea University

²School of Internet-Media, Korea University of Technology and Education

³KT New Business Group Infra Laboratory Next Generation Mobile Research Department

요약

Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6)는 Mobile Node (MN)가 스스로 이동성을 지원하지 않더라도 Mobile Access Gate가 MN대신 이동성을 처리하여 IPv6 이동성을 지원하는 기술이다. 좀 더 향상된 핸드오버 성능을 얻기 위해 Proxy Mobile IPv6에서도 버퍼링을 통한 패킷 손실을 줄이는 기법을 사용할 수 있다. 하지만, IEEE 802.11 네트워크에서는 Handover 발생 직전에 MN이 어떠한 통보도 AP로 하지 않기 때문에 Handover시에 패킷 손실을 줄이기 위한 패킷 버퍼링 방법을 사용하기가 어렵다. 본 논문에서 PMIPv6에서 MAG와 AP가 MN의 이동성을 감지하여 버퍼링을 시작하고 Handover가 발생하였을 경우에 대비해 버퍼링을 하는 Cross-layer 버퍼링 방법을 제안한다. 이를 통해 PMIPv6에서도 MN의 변경 없이 Handover시에 발생하는 패킷 손실을 최소화할 수 있다. 또한, 간단한 성능 비교를 통하여 제안 방법이 기존 PMIPv6보다 우수함을 알 수 있다.

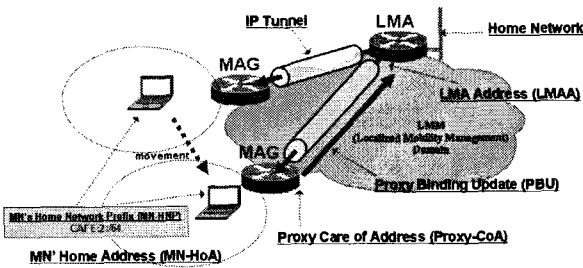
1. 서론

인터넷 사용자가 최근 급격히 늘어나면서 고정된 장소에서뿐만 아니라 이동을 하면서도 인터넷에 접속을 하고 싶은 요구가 생기며 인터넷 서비스의 이동성에 대한 관심이 증가하게 되었다. 인터넷에서는 호스트에게 망 식별자와 호스트 식별자로 구성되는 하나의 IP주소를 할당한다. 호스트는 할당 받은 IP주소를 이용하여 다른 호스트와 연결을 설정한다. 그렇기 때문에 호스트가 다른 호스트와 연결을 설정하여 유지하는 동안은 처음 연결을 설정할 때 사용했던 IP주소가 고정적으로 유지 되어야 한다. 만약 IP주소가 바뀌게 된다면 연결되어있던 연결은 해제되고 새로운 연결을 설정 하여야 한다. 고정된 장소에서 인터넷을 사용할 때에는 IP주소가 바뀌는 경우가 매우 드물지만 이동을 하면서 인터넷을 사용하면 호스트는 기존에 연결된 네트워크와 망 식별자가 다른 네트워크로 이동을 하는 경우가 발생할 수 있다. 망 식별자가 다른 네트워크에서 호스트는 새로운 IP를 할당 받게 되고 이로 인하여 새로운 연결을 설정해야 하기 때문에 서

비스의 단절이 일어나는 단점이 있다.

이 같은 단점을 해결하기 위해서 Internet Engineering Task Force (IETF)에서는 Home Agent (HA)와 Foreign Agent (FA)를 통해 Mobile Node (MN)의 이동성을 지원할 수 있는 Mobile IP (MIP) [1]와 IPv6에서의 MN의 이동성을 지원할 수 있는 Mobile IPv6 (MIPv6) [2]를 제시하였다. 하지만 MIP에서도 MN이 기존에 연결된 Access Router (AR)에서 접속이 끊겨 새로운 AR로 접속을 하고 HA에 Home-address (HoA)와 Care-of-address (CoA)를 등록하는 시간 동안 패킷 손실이 발생하는 문제점이 있다. IETF에서는 Handover 시 패킷손실을 해결하기 위해 하나의 FA 또는 여러 개의 FA에서 패킷 버퍼링을 하는 해결책을 제안하였다 [3].

패킷 버퍼링을 이용하여 Handover 패킷 손실을 줄일 수는 있지만 패킷 버퍼링을 하기 위해서는 MN이 스스로 Handover를 예상할 수 있어야 한다. 하지만 IEEE 802.11에서는 MN이 Handover 예측에 관련된 메시지를 네트워크 장비로 전송하는 기능이 현재 없기 때문에 버퍼링을 위하여 MN의 변경이 필요하게 된다. 하지만 이



[그림 1] PMIPv6의 시스템 구성도

는 MN의 IPv6 스택을 변경하지 않아야 하는 PMIPv6의 기본원칙에 어긋난다. 때문에 PMIPv6에서는 MN이 Handover를 예측할 수 있게 하는 메시지를 보내지 않아도 Mobile Access Gate (MAG)가 Handover를 감지할 수 있는 기법이 필요하다.

이 논문에서 우리는 IEEE 802.11 네트워크에서 네트워크 기반 이동성 감지를 할 수 있는 기법을 소개한다. 이를 통해서 PMIPv6에서 IEEE 802.11을 사용할 때 Handover가 발생하더라도 손실되는 패킷이 줄어드는 효과를 얻을 수 있다. 또한, 간단한 성능 비교를 통하여 제안 방법이 기존 PMIPv6보다 우수함을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 PMIPv6에 대한 개요와 Seamless Handover에 관한 기존 연구에 대해 알아본다. 3장에서는 제안된 기법에 대해서 설명한다. 4장에서는 제안된 기법과 기존 PMIPv6간의 성능 분석을 보여준다. 그리고 5장에서는 결론을 보여준다.

2. 관련연구

2.1 Proxy Mobile IPv6

MIPv6는 IPv6 [4]의 이동을 가능하게 하기 위해서 만들어졌다. MN에게 이동성을 제공하기 위해서는 MN의 HoA와 CoA를 MN과 HA간의 시그널링을 통해 바인딩할 수 있어야 한다. MN과 HA간의 시그널링을 하기 위해서는 MN의 IPv6 stack에 MIPv6 client 기능을 추가하여야 한다. 하지만 MIPv6 기능을 가지지 못하고 배포된 MN들을 고려하여, MIPv6 기능에 관계없이 IP Mobility를 제공해야 할 필요성이 있다.

네트워크에 위치하는 Proxy Mobility Agent를 활용하여 MIPv6 시그널링을 확장하고 HA를 재사용하여 IPv6 MN의 이동성을 지원할 수 있다. 이러한 방법으로 이동성을 지원하는 방법은 이동성 관리를 위한 시그널링 교환 작업에 MN이 참여하지 않도록 한다. 대신 네트워크에 위치하는 Proxy Mobility Agent가 MIPv6 시그널링을 수행하고 MN을 대신하여 이동성 관리를 한다. 이 방법은 기존의 MIPv6 시그널링과 HA기능을 그대로 이용하거나 확장하기 때문에 Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) [5]라고 부른다.

PMIPv6 프로토콜은 IPv6 기반의 네트워크에 접속되어 있으면서 MIPv6 기능이 없는 MN을 지원한다. MN은 임의의 상대 노드(Correspondent Node: CN)와 연결을

설정한 상태에서 네트워크 접속 지점을 변경하여도 CN과의 연결이 계속 유지될 수 있도록 하기 위한 방법을 정의한다. 이를 위하여 PMIPv6 프로토콜에서는 MN이 PMIPv6 도메인 안으로 들어가 접속 인증을 수행하는 경우, 네트워크는 MN이 항상 Home Network에 있는 것처럼 만들어 그 링크에서 Home Address를 얻을 수 있도록 해야 한다. 이를 위해서 MN에는 Home Network Prefix가 할당되고, 이 Home Network Prefix는 MN을 따라다닌다. MN의 입장에서는 PMIPv6 도메인이 마치 하나의 Home Link로 이루어져 있는 것으로 보인다.

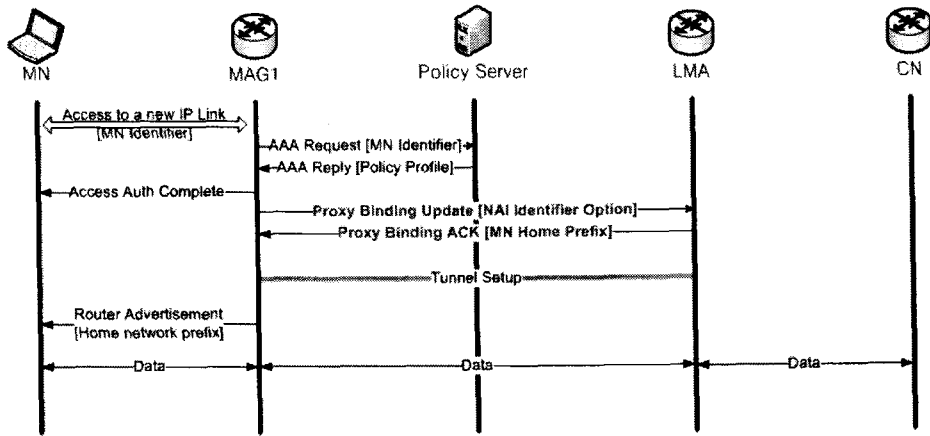
PMIPv6에서는 MIPv6 기능이 없는 MN이 이동성을 가질 수 있도록 Mobile Access Gateway (MAG)라는 MN을 대신하여 MIPv6 시그널링 메시지를 보낼 수 있는 특별한 요소를 추가하였다. PMIPv6는 또한 MN의 접속 상태를 관리하고 MN의 Home Network Prefix의 Topological Anchor Point 역할을 하는 Local Mobile Anchor (LMA)를 도입하였다. LMA는 MIPv6에 정의된 HA의 기능과 PMIPv6를 지원하기 위한 추가적인 기능을 가지고 있다. PMIPv6의 망 구조는 그림 1과 같다.

MAG는 접속 인증 과정 동안 MN으로부터 MN-Identifier를 받아 Policy Store에서 MN의 프로파일 일을 얻게 된다. MN의 프로파일에는 MN-ID, LMA Address, 허용된 주소 모드, 로밍 정책 등 네트워크 기반 이동성 서비스를 제공하기 위하여 필요한 파라미터들이 담겨 있다. MN의 프로파일을 통해 MAG는 자신의 링크에서 MN의 Home Network를 에뮬레이션 하기에 충분한 정보를 얻을 수 있다. MAG는 Policy Store에서 MN의 프로파일을 얻은 후, 만약 그 프로파일에 MN의 Home Network Prefix가 있다면 그 Home Network Prefix를 포함한 Router Advertisement (RA)메시지를 MN으로 전송한다. 접속한 링크로부터 RA메시지를 받은 MN은 접속된 링크에서 허용하는 방식으로 자신의 인터페이스에 IPv6 주소를 설정할 수 있다.

프로파일을 얻은 이후 MN의 현재 위치를 LMA에 갱신하기 위해 MAG가 Proxy Binding Update (PBU) 메시지를 LMA에 전송한다. PBU에는 MN의 NAI (Network Access Identifier) Option과 다른 필요한 Option들이 포함되어 있다. LMA가 PBU메시지를 받으면, LMA는 MN의 Home Network Prefix Option이 포함된 Proxy Binding Acknowledgement (PBA) 메시지를 MAG로 전송한다. 또한 LMA는 MAG와의 트래픽 교환을 위하여 Bi-directional 터널을 만들어 MN의 Home Network Prefix에 대한 경로를 설정한다. PMIPv6 프로토콜의 절차는 그림 2와 같다.

2.2 Seamless Handover

PMIPv6 프로토콜에서 MN이 하나의 망에서 다른 망으로 이동을 하게 될 때, MN이 새로운 망에서 네트워크에 접속을 하여 트래픽을 주고 받기 위해서는 (1) 새로운 망으로 이동했는지 감지하는데 걸리는 시간 (2) 새로운 망으로 접속하고 인증 받는 시간 (3) PBU통해 LMA에 MN의 새로운 위치를 등록하는 시간이 필요하며, 이러한 시간의 모두 합쳐서 핸드오버 지연 (Handover



[그림 2] PMIPv6의 각 노드간 메시지 교환 절차

latency)이라고 한다. 이 시간 동안 CN 또는 LMA로부터 전송되는 패킷은 MN이 이전에 접속해 있었던 MAG로 전송되며 이 시간 동안 이러한 패킷들은 모두 손실된다. MN이 새로운 망으로 이동하기 이전에 새로운 AR에 대한 정보와 New CoA (NCoA)의 Binding을 미리 수행한다면 그러한 패킷 손실 문제를 해결할 수 있다.

기존 호스트 기반 MIPv6를 기반으로 핸드오버 지원을 줄여 패킷 손실을 줄이려는 Fast Handovers for MIPv6 (FMIPv6) [6]가 제안 되었다. FMIPv6는 새로운 망으로 접속하는데 필요한 절차를 밀 수행하여 손실 패킷 양을 줄이는 방법이다. 하지만, FMIPv6에서도 MN이 현재 접속되어 있는 망에서 다른 망으로 접속하는 이동 감지 (Movement Detection) 동안에는 여전히 패킷 손실이 발생할 수 있다. 이러한 패킷 손실을 방지하여 Seamless한 데이터 전송을 할 수 있도록 이동 감지 기간 (Movement Detection Period)에 HA 또는 AR에서 CN으로 부터의 트래픽을 버퍼링 하여 MN이 새로운 망으로 등록된 뒤에 버퍼에 저장된 트래픽을 새로 등록된 AR로 재전송하는 기법들과 재전송으로 인한 TCP에서의 패킷 순서 뒤엉킴을 해결하기 위한 방법들이 소개 되었다 [7]-[9].

3. IEEE 802.11에서의 네트워크 기반 이동성 감지 방법 제안

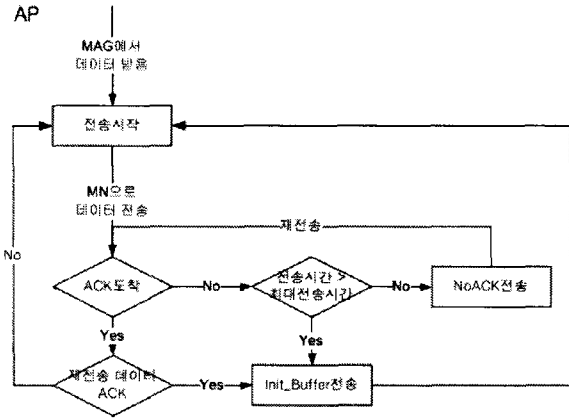
PMIPv6는 MN의 기능 추가 및 변경없이 MAG가 MN의 이동성에 대한 역할을 대신하여 이동 인터넷을 사용할 수 있게 하기 위해 제안되었다. IEEE 802.16 [10]에서는 MN이 Handover를 할 때 MO-HO-IND 메시지를 기존에 접속되어 있던 AR로 전송한다. 이를 통해 MAG는 Seamless한 Handover를 위해 버퍼링을 해야 할 정확한 시점을 알 수 있어 버퍼링을 통해 Handover동안 손실되는 패킷을 줄일 수 있다.

하지만 IEEE 802.11 [11]의 경우에는 MN이 MAG로 Handover 시점을 알려줄 수 있는 시그널링이 정의되어 있지 않아 버퍼링을 언제 시작해야 하는지 알 수가 없다. 그렇기 때문에 PMIPv6에서 IEEE 802.11을 사용할

경우 Seamless한 통신을 하기 위해서는 MAG에서 MN의 이동을 감지할 수 있는 방법이 필요하다. 이 논문에서 우리는 IEEE 802.11에서 네트워크에서 MN의 변경 없이 MN의 이동을 감지할 수 있는 방법을 제안한다. 문제 해결을 위한 시스템 모델 및 가정은 다음과 같다.

1. MN은 IPv6 스택만을 가지고 있으며 이동성 지원을 위한 어떠한 수정도 하지 않는다.
2. PMIPv6에서 AP는 MAG와 같은 박스에 있거나 분리되어 위치할 수 있다. 하지만 이 논문에서는 일반적인 상황을 위해 AP와 MAG가 따로 위치하는 것을 가정한다.
3. 본 논문에서는 패킷 손실 방지에 대하여 다운로드 트래픽만을 고려한다.
4. IEEE 802.11이 구현된 AP에서는 데이터를 전송하기 전에 Request To Send (RTS) 메시지를 보내며 RTS 내부에 Network Allocation Vector (NAV) 시간을 설정하여 MN으로부터 전송 성공에 따른 MAC 계층 ACK 메시지를 받는 시간까지 무선 구간을 예약 및 점유한다.

그림 3과 그림 4는 IEEE 802.11에서 PMIPv6의 네트워크 기반 이동성 감지를 하는 AP와 MAG서의 절차를 보여준다. 그림 3의 AP는 MAG에서 데이터를 받으면 MN으로 데이터를 전송하고 ACK가 도착하기를 기다린다. IEEE 802.11에서는 데이터를 전송하기 전에 RTS를 보냄으로써 데이터 전송 시간을 예약하고 ACK를 받을 것을 기대한다. AP가 MN으로부터 ACK를 받을 경우는 다른 동작을 실행하지 않고 정상적으로 다음 데이터를 전송한다. ACK가 도착하지 않는 경우는 AP는 이를 Link failure 또는 Handover에 의해 ACK가 오지 않은 것으로 판단하고 모두에 대한 대비를 한다. AP는 우선 IEEE 802.11에 정의된대로 Link failure에 대비하여 ACK를 받지 못한 데이터를 재전송을 하여 ACK를 다시 기다린다. 동시에 MAG에게 ACK가 도착하지 않았음을 NoACK 메시지를 통해 전달하여 Handover에 대비한다. NoACK 메시지를 받은 MAG는 해당 패킷에 대한 버퍼



[그림 3] AP에서의 동작 절차

링을 시작한다. 만약 AP가 재전송된 데이터에 대해 ACK를 받는다면 이전에 ACK를 받지 못한 상태가 Link failure로 인식하여 Init_Buffer 메시지를 MAG에게 보내 MAG의 버퍼를 초기화 하여 Handover에 대비하지 않는다. 여러 번의 재전송을 통해 최대 전송 시도 회수를 초과한 경우는 MN과의 접속이 끊겼다고 가정하고 Init_Buffer 메시지를 MAG에게 보내고 MN과의 연결을 종료한다.

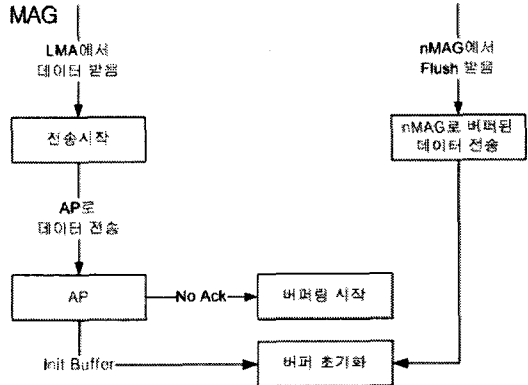
그림 4의 MAG는 LMA에서 데이터를 받으면 이를 AP로 전달한다. AP로부터 NoACK 메시지를 받게 되면 MAG는 버퍼링을 시작하여 MN의 Handover에 대비한다. AP로부터 Init_Buffer 메시지를 받게 되면 MAG는 버퍼를 초기화 하여 버퍼를 비운다. MN이 Handover하여 새로운 MAG (new MAC: nMAG)에 접속하였을 때 MAG는 nMAG로부터 [9]에 정의된 Flush 메시지와 유사한 메시지를 받고 버퍼에 저장된 데이터를 nMAG로 전송하고 버퍼를 비운다. 그림 5는 MN의 Handover가 발생하였을 경우 네트워크 기반 이동성 감지에 의해 발생하는 각 노드간 메시지 교환 절차를 보여준다.

이와 같은 방법을 통해 MAG는 MN이 Handover하였을 경우 MN이 MAG의 네트워크 범위에서 벗어나 nMAG로 접속할 때까지의 데이터를 버퍼에 저장하여 요청이 있을 때 이를 전송해 줄 수 있다. 또한 추가로 정의된 NoACK 메시지와 Init_Buffer 메시지는 유선상에서 AP와 MAG간에만 전달이 되기 때문에 무선자원의 낭비를 하지 않는 장점도 가지고 있다.

4. 제안기법의 비교평가

이 장에서 우리는 네트워크 기반 이동성 감지를 통해 Cross-layer 버퍼링을 이용할 때와 버퍼링을 이용하지 않았을 때의 Handover시 패킷 손실을 비교한다. 각 방법의 비교 분석을 간략화하기 위해 Packet의 Arrival rate, Packet의 Service rate를 각각 Poisson분포를 따르는 λ_p , μ_p 로 가정한다. 또한, 패킷 손실을 분석하기 위해 다음과 같은 시간 파라미터를 정의한다.

T_{first} : MN으로부터 MAC 계층 ACK를 받지 못하는



[그림 4] MAG에서의 동작 절차

패킷을 MAG로 전송한 시각

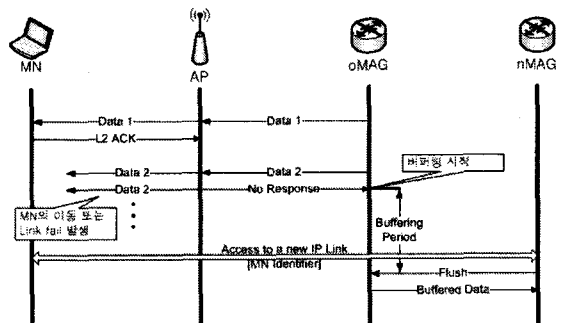
T_{buf-s} : MAG에서 버퍼링을 시작한 시각

T_{buf-e} : nMAG로부터 Flush 메시지를 받고 버퍼링을 끝내는 시각

T_{buf-s} , T_{buf-e} 를 얻기 위해 MN과 이전 MAG (Old MAG: oMAG)의 AP간의 링크 지연시간, MN과 nMAG의 AP간의 링크 지연시간, oMAG와 nMAG간의 링크지연시간, AP와 MAG간의 링크 지연시간, AP n번째 데이터 전송 뒤 ACK를 기다리는 시간, MN이 MAG에 등록하는데 걸리는 시간을 각각 t_o , t_n , t_f , t_a , t_w , t_{res} 로 정의한다.

MN의 Handover가 일어났을 때, MAG는 AP에서 NoACK 메시지를 받을 경우 버퍼링을 시작하여 nMAG로부터 Flush 메시지를 받을 때까지 임시 버퍼에 패킷을 저장할 것이다. 이 때 $T_{buf-s} = T_{first} + 2t_s + 2t_o + t_w$ 이고, T_{buf-e} 는 Handover가 발생하여 MN이 nMAG에 등록한 뒤 Flush 메시지를 보내 버퍼에 저장된 데이터를 요구하는 시간이며 $T_{buf-e} = T_{buf-s} + t_{reg} + t_f$ 이다. 이를 통해 우리는 실제로 버퍼링을 하는 시간 $t_{buf} = T_{buf-e} - T_{buf-s}$ 와 버퍼링을 통해서도 패킷 손실이 발생하는 $t_{ho} = T_{buf-s} - T_{first}$ 을 구할 수 있다.

MN이 Handover하여 nMAG로부터 Flush 메시지를 받



[그림 5] 제안하는 기법을 이용한 핸드오버 절차를 동안 버퍼에 저장될 패킷 개수 m 은 t_{buf} 동안 도착하

는 패킷의 개수와 같을 것이다. 그래서 버퍼에 저장된 패킷의 평균 개수는 다음과 같이 구할 수 있다.

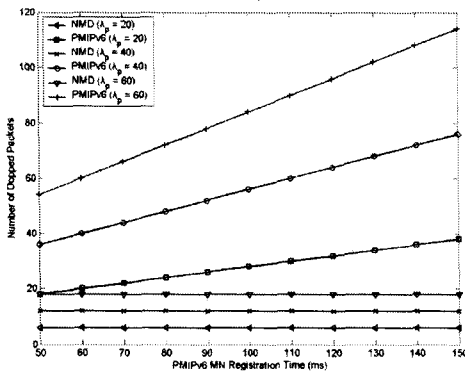
$$P_{Q_1} = \lambda_p t_{buf} \quad (1)$$

MN이 데이터를 받지 못하지만 버퍼링되지 않는 패킷의 평균 개수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{Q_2} = \lambda_p t_{ho} \quad (2)$$

위의 수식을 통해 Handover가 발생하였을 때 네트워크 기반 이동성 감지를 통해 버퍼링을 하였을 경우는 손실되는 패킷의 평균개수가 P_{Q_2} 이고 버퍼링을 사용하지 않았을 경우에 손실되는 패킷의 평균개수는 $P_{Q_1} + P_{Q_2}$ 임을 알 수 있다.

수학적 분석을 위해서 [9]의 시뮬레이션 파라미터를 참조 하였다. 수학적 분석을 위해 t_o , t_n 은 매우 가까운 위치에 있기 때문에 0에 가까운 값으로 가정한다. t_f 는 10ms, t_w 는 30ms로 가정 하였다. 우리는 앞에서 구할 수 식 (1)과 수식 (2)를 이용하여 네트워크 기반 이동성 감지 (NMD)와 PMIPv6의 Handover시 패킷 손실을 관찰할 것이다.



[그림 6] 제안하는 기법과 PMIPv6의 패킷 손실 비교

그림6은 Handover가 발생하였을 경우 MN이 새로운 MAG에 등록하는 시간에 따라서 제안된 기법과 PMIPv6와의 패킷 손실을 비교한 그림이다. 그림은 NMD방식은 MN등록 시간과는 상관없이 일정한 패킷 손실을 보이고, PMIPv6는 MN등록 시간이 길어지고 Arrival Rate이 커질수록 패킷 손실이 늘어남을 보여준다.

5. 결 론

기존에 MN이 네트워크를 이동할 때에 Handover로 인해서 발생하는 패킷 손실을 막기 위해 버퍼를 사용하는 방법들이 많이 제안되어 있다. 하지만 PMIPv6에서 IEEE 802.11을 사용할 때에는 MN이 언제 이동을 하는지 네트워크에서 감지하기가 어렵다.

이 논문에서는 PMIPv6에서 MN이 이동할 때에 MN을 수정하지 않고서도 네트워크에 의해서 이동성을 감지할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법을 사용하여 네트워크에서 쉽게 MN의 이동을 감지할 수 있게 되어 MN의

이동시에 패킷 손실을 줄일 수 있음을 확인하였다.

향후에 AP에서 ACK를 기다리는 시간 동안에 손실되는 패킷을 없앨 수 있는 방법에 대한 추가 연구를 할 것이다. 또한 네트워크 기반 이동성 감지방법에 대한 세밀한 수학적 모델링을 통해서 더욱 정확한 성능 분석을 수행할 것이다.

참고문헌

- [1] C. Perkins, "IP Mobility Support," RFC 2002, October 1996
- [2] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility support in IPv6," RFC 3775, June 2004
- [3] C.E. Perkins, "Mobile IP," International Journal of Communication Systems, pp.3-20, 1998
- [4] S. Deering, R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6," RFC 2460, December, 1998
- [5] S. Gundavelli, "Proxy Mobile IPv6," draft-ietf-netlmm-proxymip6-01.txt, June, 2007
- [6] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," RFC4068, July, 2005
- [7] Doo-Seop Eom et al, "Performance Improvement by Packet Buffering in Mobile IP Based Networks," IEICE TRANS COMMUN., vol. E83-B, no.11, pp.2501-2512, November, 2000
- [8] D. B. Johnson, "Route Optimization in Mobile IP," draft-ietf-mobileip-optim-07.txt, Nov, 1997
- [9] Dongwook Lee et al, "Performance Enhancement of Mobile IP by Reducing Out-of-Sequence Packets Using Priority Scheduling," IEICE TRANS. COMMUN., vol.E85-B, no.8, August, 2002
- [10] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, "IEEE Standard 802.16," IEEE, June, 2002
- [11] IEEE 802.11 Working Group, "IEEE Standard 802.11," IEEE, 1999