ISSN 1598-0170 (Print)
ISSN 2287-1136 (Online)
http://www.jksii.or.kr

IP기반의 차세대 모바일 네트워크에서 이동성관리 기법의 비용분석

Cost Analysis of Mobility Management Schemes for IP-based Next Generation Mobile Networks

김 경 태* 정 종 필**
Kyung-Tae Kim Jong-Pil Jeong

요 약

차세대 무선 네트워크(Next Generation Wireless Networks, NGWN)상에서의 무결점 전송 서비스는 이동단말(MN, Mobile Node)에게 광범위한 로밍을 효율적으로 제공하는 이동성관리가 매우 중요하게 되었다. MIPv6(Mobility IPv6)는 IETF(The Internet Engineering Task Force)에 의해 제안된 이동성관리 기법들 중 하나이고, IPv6기반에서 이동성관리 기법들은 다양한 형태로 발전되어왔다. 각각의 관리 기법들은 이동단말에서의 데이터 이동에 직접적인 관여를 하고 있다. 이 논문에서 두 가지의 이동성관리 평가기법에 대해 제안하고자 한다. 이동성관리를 위한 다양한 프로토콜에서 네트워크상의 핸드오버나 패킷의 전송절차를 수행할 때, 데이터의 전송절차에 대하여 분석하며 또 시그널링의 비용을 계산할 때 처리하는 노드들과 그 노드간의 파라미터들을 이용하여 가장 효율적인 방법으로 분석모델링을 제안한다. 이동성 프로토콜의 시그널링 비용과 그 비용을 구성하는 각각의 파라미터들을 수치적 결과를 통해서 각각의 프로토콜들의 비용을 비교분석한다. 즉, 각각의 이동성관리 기법에 적용하여 시그널링 비용과 패킷전송 비용의 합을 비교한다. 이동성 관리의 다양한 기법들 중 가장 최근에 제안되어지고 있는 네트워크 기반의 이동성 프로토콜이 전체적인 비용측면에서 더 우수한 결과를 보여준다.

ABSTRACT

Cost-effective mobility management for the roaming mobile users is very important in the seamless services on next-generation wireless network (NGWN). MIPv6 (Mobile IPv6) is one of the mobility management schemes proposed by the IETF (The Internet Engineering Task Force) and various IPv6-based mobility management schemes have been developed. They are directly involved with data transfer from MN (Mobile Node). In this paper, two kinds of schemes in analyzing of mobility management schemes are proposed. The signaling transfer and packet delivery procedures for each mobility management schemes are analyzed, respectively. The signaling cost for mobility management schemes are calculated, and the cost of each protocol are analyzed numerically. In other word, applying the sum of signaling cost and packet delivery cost to each mobility management scheme, their costs are analyzed. Finally, our performance evaluation results that the network-based mobility management scheme shows better performance in terms of overall cost.

☞ keyword : PIMPv6, F-PMIPv6, MIPv6, Mobility Management(이동성 관리), 시그널링, 바인딩업데이트, 이동성프로토콜

1. 서 론

차세대 무선 네트워크(Next Generation Wireless Networks, NGWN)와 4G, 그리고 LTE(Long Term Evolution) 서비스 등 현재의 무선 접속 기술과 서비스들은 이전의 기술들에 비하여 매우 성능이 우수하며, 무결점 서비스를 지향하고 있다. 상기의 서비스들은 보다 많은 수의 MN(Mobile Node)의 접근을 허용해야 하며, 서로 통신하고 데이터를 전송해야 한다. 이러한 통신 네트워크의 일련의 작업들은 보다 많은 양질의 무결점 서비스를 제공하는 것이 네트워크의 성능 및 효율의 우수성을 나타내는 척도가 되고 있다. 그런 이유로 다양한 이동성관리 기법들이 등장하였으며, 현재에 이르러 NGWN와 4G, LTE 등에서 매우 중요하게 다루고 있는 주요 논제이다. 이는 지속적이면서 품질이 좋은 모바일 네트워크 서비스를 제공하는 것에 매우 깊은 연관을 가지고 있다. IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 이동성관리 기법의 중요 프로토콜로

* 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신대학원 컴퓨터공학과
kokets@naver.com
** 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 (공학박사)
jpjeong@skku.edu (교신저자)
[2011/12/27 투고 - 2012/01/03 심사(2012./03/07 2차) - 2012./04/24 심사완료]

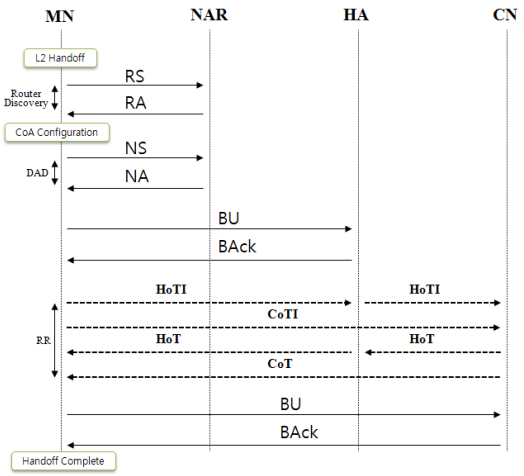
http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2012.13.3.1

MIPv6 [1]를 제안했으나, MIPv6는 시그널링을 전송하는데 있어서 사용자들에게 불편을 가져다 줄 수 있는 몇 가지의 약점을 가지고 있다. MIPv6에서 시그널링을 전송하는데 있어서 HA(Home Agent)와 CN(Correspondent Node) 그리고 MN간에 거리가 멀 경우에는 매우 비싼 비용을 들여서 BU(Binding Update)를 수행해야 한다는 것이다. 그와 같은 상황의 보완 기능을 가진 몇 가지 프로토콜이 다음과 같이 이미 제안되었다. FMIPv6(Fast Handover for MIPv6) [2], HMIPv6(Hierarchical MIPv6) [3] 그리고 이 두 가지 기능을 상호 보완한 F-HMIPv6(Fast Handover for Hierarchical MIPv6) [4]이다. 그리고 최근에는 네트워크 기반의 프로토콜인 PMIPv6(Proxy MIPv6) [5]와 F-PMIPv6 (Fast Handover for Proxy MIPv6) [6] 등이 그것이다. 이동성관리 기법의 품질은 여러 차례에 걸쳐서 다양한 기법들로 평가되었었다.

이 논문에서는 그 평가 방법에 있어서 좀 더 명확하고 신뢰성 있게 평가하고 검증할 수 있는 분석기법을 제안하고자 한다. 시그널링 비용과 패킷 전송 비용 등 이들의 합을 총 비용으로 간주하여 각 비용들을 산정하며, 시그널링 비용에서 동일 네트워크상에서의 바인딩 업데이트와 이웃하는 다른 네트워크로의 핸드오버 비용 등을 상세하게 분석하는 기법을 제안한다. 패킷전송비용에 있어서 빠른 핸드오버시의 포워딩하는 패킷의 전송비용과 전송되지 못하고 버려지는 패킷 손실 비용, 그리고 각 프로세싱하는 노드들의 비용까지도 산정하는 기법을 제시한다. 이러한 분석방법들을 제시하여 IPv6에 기반을 둔 이동성관리 기법들 중에서 어느 프로토콜이 가장 효율성을 가지는지 분석한다.

MIPv6의 비효율적인 구조로부터 개선된 프로토콜들은 다양하고 또 그 성능이 조금씩 보완되었다. 계층적 구조의 경우에는 각 MN에 의해 BU를 수행하는 불편함을 확실히 감소시켜주는 것을 알 수 있으며, 빠른 핸드오버의 구조의 경우 미리 예측하여 그 비용을 줄이는데 효율을 나타내었다. 이러한 체계적이고 분석적인 기법을 통해 이동성관리 기법의 평가에 확실한 도움이 된다는 것을 비용측면에서 접근하여 보다 명확히 알 수 있다. 뿐만 아니라 네트워크의 기반을 둔 PMIPv6와 F-PMIPv6등의 비용을 기존의 방법과 절차에 적용시켜, 현재에 이르러 네트워크 기반으로 이동성관리 기법이 제안되고 있는지 판단할 수 있는 분석적인 모델을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IP기반 이동성 프로토콜들의 구조와 시그널링 및 바인딩 절차에 대해 알아본다. 3장에서는 2장에서 언급된 각 프로토콜의 분석 모델링을 제안한다. 4장에서는 제안된 모델링을 평가 및 비용분석을 수행한다. 5장에서는 결론을 기술한다.



(그림 1) MIPv6 작동절차

2. 관련연구

이동성관리 기법들 중에는 BU의 경우에 과대한 비용을 지출해야 하는 것도 있으며 일부는 패킷 전송비용이 많이 발생하는 것들도 있다. 특별히 MIPv6 구조에서는 RR(Return Routability) [1] 절차가 반드시 필요하므로 이에 대한 비용도 발생하게 된다.

2.1 MIPv6 개요

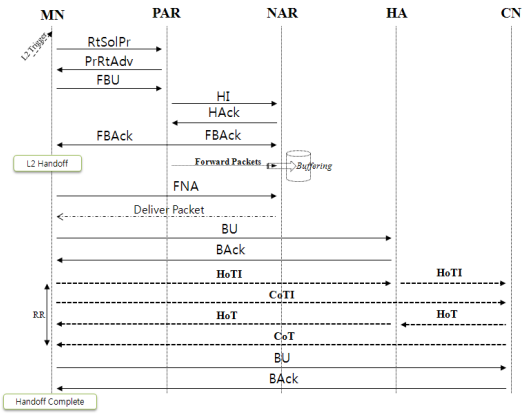
MIPv6(Mobile IPv6)[1,7,8]는 IPv6 인터넷에서 MN가 자신의 홈 링크를 벗어나 새로운 링크로 움직여도 다른 노드들과 논리적 연결의 단절 없이 계속하여 통신할 수 있게 하는 프로토콜이다. 이동성을 지원한다는 것은 네트워크 계층의 상위 계층에서 MN의 이동전과 이동 후에 변화가 없다는 것을 의미한다. 거시적인 이동성을 지원하는 MIPv6 프로토콜의 동작은 (그림 1)에서 알 수 있다. MIPv6 동작은 MN이 홈 링크를 벗어나 다른 외부 링크에서 유효한 CoA(Care of Address)를 할당 받으면서 시작된다. CoA는 MN의 위치에 관한 정보를 가지고 있다. NAR(New Address Router)를 찾기 위해 RS(Router Solicitation)/RA(Router Advertisement)를 수행하며, MN은 자신의 HoA (Home of Address)와 외부링크에서 할당받은 CoA를 바인딩

시키기 위하여 BU를 보내고 BAck(Binding Acknowledgement)를 받는다. HA는 등록된 HoA와 CoA의 바인딩 정보를 바탕으로 그 데이터를 MN에게 전달한다. MN은 HA를 경유하지 않고 대응노드와 직접 통신하기 위해서 RR라는 시그널링 메시지들을 주고받는다. RR은 HoTI(Home Test Init)와 HoT(Home of Test) 간의 메시지 교환, CoTI (Care of Test Init)와 CoT(Care of Test) 간의 메시지 교환, 그리고 BU와 BAck로 구성된다. RR은 세션의 하이재킹(Hijacking)을 피하기 위해 구현되었지만, 지연비용이 늘어나게 되는 것이다. MIPv6의 분석에서 보면 이미 잘 알려진 대로 높은 패킷 전송 비용과 지연비용 등인 발생한다. 아울러 실시간 전송에도 취약하다. 게다가 2개의 MN의 접근일 경우에는 처리가 불가한 상태를 야기한다. 이러한 약점들을 보완하는 방법들을 다음에서 볼 수 있다.

2.2 FMIPv6 개요

MIPv6는 일반적이고 거시적인 이동성만 지원하기 때문에 이 프로토콜만으로는 실제 제한된 무선영역의 이동통신망에서 MN의 빈번한 이동과 실시간성 서비스 응용을 지원하기에는 역부족이다. 그런 이유로 핸드오버 지연 및 패킷 손실을 줄일 수 있는 FMIPv6(Fast Handover for MIPv6) [2,7,8]의 프로토콜이 제안되었다. FMIPv6는 MIPv6가 속하는 핸드오버 진행시의 방해되는 요소를 최소화 하고 핸드오버 지연시간을 감소시키는 것에 효율적인 방안을 제시한다. FMIPv6에는 MN이 L2 핸드오버 이전에 L3 핸드오버를 수행하기 위한 Predictive 모드와 Reactive 모드가 있다. 빠른 핸드오버 동작은 단말이 이동해야 할 시점을 트리거(Trigger)하면서 시작된다. MN은 자신이 이동 가능한 AP(Access Point)를 관장하는 NAR에 관한 정보를 얻기 위하여 PAR(Previous Address Router)에 RtSolPr(Router Solicitation for Proxy) 메시지를 보내고 그 응답으로 NAR로부터 PrRtAdv (Proxy Router Advertisement) 메시지를 받는다. 자신이 사용할 NCoA(New CoA)를 생성하고 그 유효성을 검증하기위해 FBU(Fast Binding Update) 메시지에 NCoA를 담아서 PAR로 보낸다. PAR은 MN을 대신하여 NCoA의 유효성 확인 검사를 위해서 NAR로 HI(Handover Initiate) 메시지를 보내고, 그것에 대한 응답메시지인 HAck(Handover Acknowledgment)를 수신한다. 그리고 이 유효성 여부를 MN에게 알리기 위해서 FBAck(Fast Binding Acknowledgment) 메시지를 보낸다. MN이 계속 움직여 PAR 링크를 벗어나면, PAR은 MN에게 전달할 데이터를 NAR로 전달시킨다. MN가 FBAck를 수신하고 NAR 링크에 들어가게 되면 FNA(Fast Neighbor Advertisement)를 NAR에 전송하여 자신이 접속을 알리고 MN에게 배달된 패킷을 신속히 수신한다.

FMIPv6는 미리 예견하여 재 수행하는 방법이다. 이 기법은 MN이 이전링크의 다른 MN에게 FAck를 받는것이 아니다. 이것은 FBU를 보내고 링크에 남아있는 MN을 이전에 받은 FBAck를 보내는 것이다. 이에 따르면 MN은 NAR을 포함하고 FNA를 갖고 있고 FBU를 향하는 성공적인 FBU의 처리를 알아낼 수 있다. 만약에 NAR이 NCoA에서 FNA가 언제 사용되었는지 알 수 있다면 내부의 FBU는 버려야 하며 MN이 사용하는 IP 주소의 교환을 포함한 NAR의 NAAck(Neighbor Advertisement Acknowledgement)와 함께 RA는 보내져야한다. NAR은 FBAck의 응답으로 PAR에 FBU를 보내고 동시에 PAR은 NCoA를 향하여 PCoA(Previous CoA)의 패킷주소를 보내는 작업을 시작한다. 그러면 NAR은 MN에 이 패킷들을 보낸다.



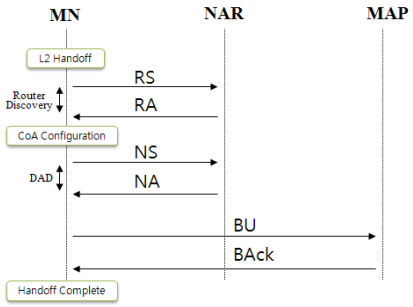
(그림 2) FMIPv6 작동절차

2.3 HMIPv6 개요

HMIPv6(Hierarchical MIPv6) [3,7,8]은 MIP에서 MN의 네트워크 핸드오버 지연)을 줄이기 위한 방법으로 제안된 프로토콜이다. MIPv6에서 MN은 다른 서브넷의 이동으로 간주되는 HA/CN의 BU를 수행한다. 이것은 신호의 오버헤드와 지연을 불필요하게 증가시킨다. 이 문제를 위해 HMIPv6는 MAP(Mobility Anchor Point)라는 특별한 노드를 이용해 해결하는 것으로 제안되었다. 방문된 네트워크 안에서 로컬 HA의 움직임으로 정해지는 MAP는

업데이트 지연시간을 감소하고 속한 네트워크의 도메인 주변에 MIPv6의 많은 수의 신호를 제한한다. MAP의 도메인 안에 있는 MN은 두 개의 일시적인 IP로 구성되어진다. 이는 RCoA(Regional CoA)와 LCoA(On-Link CoA)이다. MN이 MAP상의 도메인이나 AN(Access Network)에 있는 동안에는 MN/CN 사이의 메시지를 교환하는 BU는 필요 없고 단지 LCoA의 변환되는 것만을 수행한다. MAP상에서 MN의 이동은 HA/CN들에게 숨겨져 있는 것이다. MAP 도메인간 로밍에서 MIPv6는 HMIPv6보다 유용하다. 새로운 도메인에서 MN이 서로 교환할 때 BU는 HA/CN사이에서 필요치 않다.

HMIPv6에서 MN이 새로운 MAP 도메인으로 진입하였을 때, MN은 새로운 엑세스 라우터로부터 RA 메시지를 수신한다. MN은 엑세스 라우터의 네트워크 프리픽스를 기반으로 LCoA를 생성하고, MN이 스스로 LCoA에 대한 DAD(Duplicate Address Detection)를 수행한다. LCoA는 MN가 액세스 라우터를 이동할 때마다 새로 생성된다.

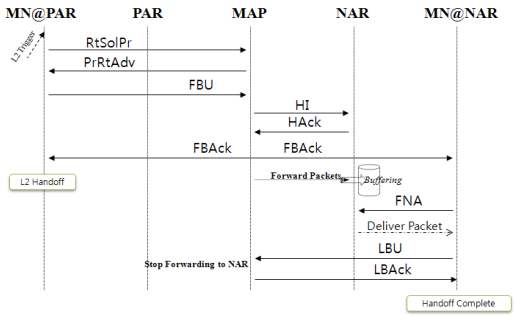


(그림 3) HMIPv6 작동절차

(그림 3)에서 보면 HMIPv6에서의 메시지 이동흐름은 MN의 새로운 도메인에 접근할 때를 보여준다. 그리고 MIPv6에서는 이미 등록절차가 완료된 것을 알 수 있다.

2.4 F-HMIPv6 개요

HMIPv6와 FMIPv6의 조합은 HMIPv6의 프로토콜을 유사하게 사용하면서 보다 효율적인 네트워크의 구성을 갖기 위해서 제안되었다. 아울러 FMIPv6처럼 낮은 패킷 손실과, 핸드오버 지연 비용을 감소할 수 있도록 제안된 것이다. F-HMIPv6(Fast Handover for Hierarchical MIPv6) [4,7,8]에서 보면 FMIPv6에서 처럼 PAR과 NAR 보다 MAP와 NAR의 구성이 더 효율적인 것을 알 수 있다. FMIPv6에 근거하여 MN과 MAP사이에서 신호 메시지를 교환 후, MN은 MAP에 로컬 BU를 전달하는 과정을 HMIPv6처럼 수행한다. MAP는 MN으로부터 새로운 LCoA의 메시지와 함께 LBU(Local BU)를 받을 때 NAR에게로의 포워딩을 멈춘다. LBU의 응답에서 MAP는 LBAck(Local BAck)을 MN에 보내고 HMIPv6의 절차를 거친다. F-HMIPv6는 (그림 4)처럼 동작함을 알 수 있다. MAP의 도메인 사이에서 PAR과 NAR로부터 MN은 이동하며 이미 각각의 AR에게서 L2의 주소를 알고 있다.

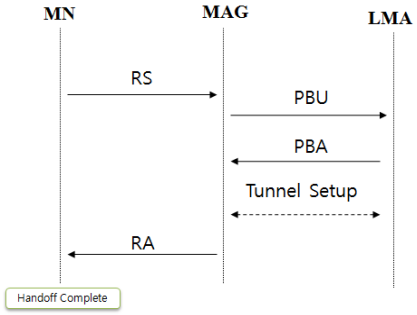


(그림 4) F-HMIPv6 작동절차

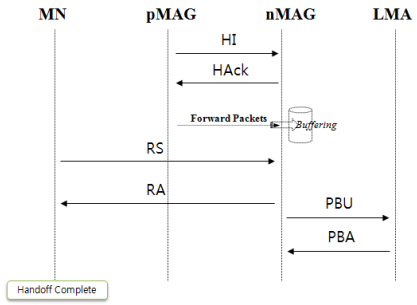
2.5 PMIPv6 개요

상기의 내용에서처럼 단말이 이동하는 경우에 연결을 계속해서 유지할 수 있도록 하는 기술이 이동성 관리기법이며, MIPv6의 여러 프로토콜도 이를 위한 MN의 이동성을 규약하는 것이다. 그러나 MIPv6는 이동 단말과 엑세스 라우터 사이의 시그널링으로 인한 무선구간에서의 자원사용량의 증가, 성능 및 자원이 한정되어 있는 등 이동성 지원에 제약이 많다. 이런 문제점이 대두되어 네트워크 기반으로서 PMIPv6(Proxy MIPv6) [5,12]가 정의되었다. (그림 5)는 PMIPv6의 작동절차에 대해서 설명하고 있는 그림이다. PMIPv6는 LMA(Local Mobility Anchor)와 MAG(Mobile Access Gateway), 그리고 AAA(Authentication, Authorization and Accounting) 서버의 새로운 구성요소로 이루어져있다.

LMA는 도메인에서 모바일노드에 대한 일종의 HA역할을 한다. MAG는 주로 AR에 그 기능이 위치한다. 그러므로 MAG은 모바일 노드가 직접적으로 접속하는 첫 번째 홉이 되며, 모바일 노드를 대신해서 시그널링을 수행한다. 모바일 노드가 L2 접속인증을 수행하게 되며, 이 과정에서 MN을 MAG에게 알리게 된다. MAG은 AAA와의 인증 과정을 수행한다. MAG은 모바일 노드를 담당해



(그림 5) PMIPv6 작동절차

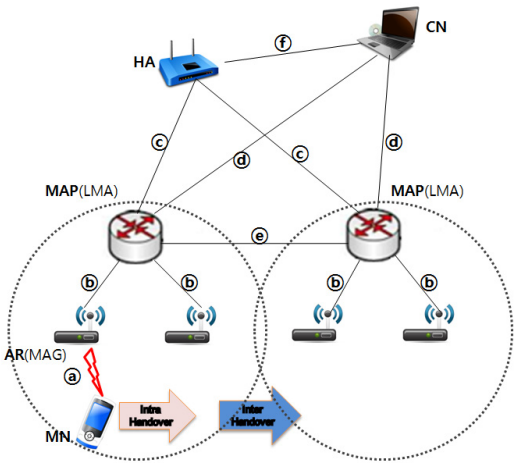


(그림 6) F-PMIPv6 작동절차

야하는 LMA에게 PBU 메시지를 보내어 단말의 현재 위치를 갱신한다. 해당 PBU를 수신한 LMA는 단말의 서비스를 위해서 MAG에 PBA 메시지를 보내게 된다. 그리고 LMA는 MAG의 주소를 이용하여 LMA와 MAG간의 양방향 터널을 만들고 서비스를 준비하게 된다. MAG는 자신에게 접속된 MN에게 LMA가 할당해준 HNP(Home Network Prefix)와 IP 주소를 할당하는 메시지를 RA로 보낸다. 연결설정이 완료되면, MAG는 해당 모바일 노드에서 오는 모든 트래픽을 LMA와 연결된 터널을 이용하여 LMA에게 전송하게 되며, LMA는 외부에서 오는 모든 트래픽을 해당 MN을 관리하는 MAG에게 전송하게 된다.

2.6 F-PMIPv6 개요

PMIPv6는 MIPv6에 비교하여 핸드오버 지연 시간이 많이 감소했다. 그러나 핸드오버 하는 동안 패킷 손실 및 비효율적인 인증 절차 문제를 겪고 있다. PMIPv6는 핸드오버가 진행하는 동안 버퍼 메커니즘을 사용하지 않기 때문에 핸드오버 절차와 별도로 인증 및 등록 단계를 수행해야만 했다. F-PMIPv6(Fast Handover for Proxy MIPv6)



(그림 7) 이동성 프로토콜의 핸드오버 분석을 위한 네트워크 토폴로지

[6,13]는 적은 핸드오버 지연시간을 제공하기 위해, 패킷 손실 문제를 해결하고, 시그널링 비용을 절감할 수 있는 핸드오버 구조로 제안한다. (그림 6)에서 MN은 pMAG의 전송범위 밖에 이동하는 경우, 패킷 손실을 방지하기 위해 패킷 버퍼를 nMAG로 보내기 위해 MN의 패킷을 전송한다. pMAG는 nMAG로 HI를 보내고 그 결과로 HAck를 받는다. nMAG는 LMA로 PBU를 보내고 PBA를 받는다.

3. IP기반 이동성 프로토콜의 분석모델링

3.1 네트워크 모델링

핸드오버 구조의 평가를 위해 (그림 7)에서 볼 수 있는 네트워크 토폴로지를 사용한다. IP기반의 네트워크 토폴로지와 네트워크 기반의 토폴로지를 같이 표현하고 있다. 이것은 네트워크의 접근들을 가정하며 IEEE 802.11b에 근거한다. 전송 네트워크는 이더넷에 기인한다. 각각의 네트워크의 상수값은 (표 1)에 명시되어 있다. 각각의 상수값은 프로토콜에서 계산식을 위한 각각의 헤더 및 네트워크 변수들의 메시지 길이이다. (그림 7)에 의하면 접근 라우터들은 서로 다른 두 개의 MAP 도메인과 두 개의 MAP 상에서 운행되고 있다. 토폴로지는 Intra-MAP과 Inter-MAP 핸드오버 사이에서 MN의 수행을 간단한 모델로 설명하고 있다. 네트워크 노드간에 연결은 특별한 라우터들 사이에서 이동간의 숫자를 보여주는 (표 2)

(표 1) 전송 네트워크 상수값[8]

Message	Size(Bytes)	Meaning
BU	90	Binding Update MN->HA
	26	Binding Update MN->CN
BAck	82	Binding Acknowledgement HA->MN
	26	Binding Acknowledgement CN->MN
HoTI	82	Home Test Init MN->HA
	10	Home Test Init HA->CN
CoTI	10	Care-of Test Init
HoT	18	Home Test CN->HA
	90	Home Test HA->MN
CoT	18	Care-of Test
RtSolPr	24	Router Solicitation for Proxy Advertisement
PrRtAdv	104	Proxy Router Advertisement
FBU	72	Fast Binding Update
HI	72	Handover Initiate
HAck	32	Handover Ack.
FBAck	32	Fast Binding Ack.
FNA	24	Fast Neighbor Advertisement
RS	16	Router Solicitation
RA	64	Router Advertisement
NS	28	Neighbor Solicitation
NA	32	Neighbor Advertisement
LBU	90	Local Binding Update
LBAck	82	Local Binding Ack
PBU	90	Proxy Binding Update
PBA	82	Proxy Binding Ack

에 정의되어 있다.

핸드오버의 총 신호비용은 시그널링 비용과 패킷 전송 비용의 합이다. 각 비용들은 네트워크 노드간의 파라미터 값과 각각의 네트워크 변수들의 적용된 값으로 구성된다. 이 구성에 추가하여 각 노드들의 프로세싱 비용의 합을 포함한다. 총 비용은 아래와 같다.[7,8]

$$C_{Total} = C_{Signal} + C_{Packet} \quad (1)$$

3.2 시그널링 비용

시그널링 비용은 크게 두 가지의 비용으로 나누어 계산한다.

Intra-MAP에서의 시그널링 비용 및 바인딩업데이트 비용과 Inter-Map에서의 핸드오버 시그널링 비용으로 구성된다. 핸드오버를 위한 MIPv6와 FMIPv6 그리고 Inter-MAP 핸드오버를 위한 HMIPv6와 F-HMIPv6가 BU 절차로 수행된다. 위에서 언급한 사실에 근간하여 분석적 방법의 제안이 필요하다. 그 절차와 비용의 분석적 방법은 다음의 시그널링 비용과 같다.

$$C_{Signal} = E(N_{Intra}) \times C_{Intra} + E(N_{Inter}) \times C_{Inter} \quad (2)$$

$E(N_{Intra})$는 싱글MAP의 적용범위에 머무르는 CN들과 함께 데이터 세션에 진입하는 동안 통과한 MN서브네트워크의 수의 평균이다. 유사하게, $E(N_{Inter})$는 MN의 다른 MAP 도메인안의 서브네트워크들 사이의 로밍을 말한다.

C_{Intra}와 C_{Inter}는 각각 Intra-MAP 과 Inter-MAP 핸드오버 바인딩 업데이트 신호 비용이다. 일반적으로, $E(N_{Inter})$는 μ/λ_S로 나타내며, μ는 모바일노드들의 위치 변화 주기를 나타내는 모바일 노드의 이동 비율이다. λ_S는 CN으로부터의 초당 접속 요청수를 나타내는 세션 도착 비율이다. 싱글 MAP 도메인의 범위에서 MN의 이동비율로 $E(N_{Intra})$와, MAP 도메인의 범위에서 교차되는 모바일 노드의 비율인 $E(N_{Inter})$, 아래와 같은 식이다.

$$C_{Signal} = 1/\lambda_S(\mu_{Intra} \times C_{Intra} + \mu_{Inter} \times C_{Inter}) \quad (3)$$

신호비용 분석은 성능분석을 위한 셀룰러 네트워크에서 사용되는 CMR과 유사하게 SMR(Session Mobility Ratio)이 있다. SMR은 $\mu = 1/T_{SUB}$로 정의된 노드 이동성과 데이터 세션 λ_S에 도착하는 비율에 의해 정의된다. T_{SUB}는 이전에 다른 서브네트워크에서 로밍된 서브네트워크에 남겨진 MN의 평균 시간이다. $E(N_{Inter}) = 1/SMR$ 이다.

MAP 도메인내 핸드오버에서 $\mu_{Intra} = \mu\left(\sqrt{M}-1\right)/\sqrt{M}$ (4)

MAP 도메인간 핸드오버에서 $\mu_{Inter} = \mu/\sqrt{M}$ (5)

$$C_{Signal} = 1/SMR \times \sqrt{M}\left[(\sqrt{M}-1) \times C_{Intra} + C_{Inter}\right] \quad (6)$$

(표 2) 성능 분석모델링에 사용된 매개변수 값[7,8]

Parameter	Value	Description
a	1	Number of hops between MN and ARx(MAGx) (d MN .AR(MAG))
b	2	Number of hops between ARx(MAGx) and MAPx(LMAx) (d AR .MAP(LMA))
c	6	Number of hops between HA and MAPx(LMAx) (dHA.MAP(LMA))
d	4	Number of hops between CN and MAPx(LMAx) (dCN,MAP(LMA))
e	6	Number of hops between MAP1(LMA) and MAP2(LMA) (dMAP1(LMA),MAP2(LMA))
f	6	Number of hops between HA and CN (dHA.CN)
M	2	Number of subnetworks (ARs) in a MAP domain
τ	1	Packet delivery cost on a wired link
κ	10	Packet delivery cost on a wireless link
$PC_{AR}(PC_{MAG})$	8	Pakcet/message processing cost in ARx(MAGx)
PC_{HA}	24	Pakcet/message processing cost in HA
PC_{CN}	4	Pakcet/message processing cost in CN
$PC_{MAP}(PC_{LMA})$	12	Pakcet/message processing cost in MAPx(LMAx)
P_S	0.9	Correct L3 handover prediction probability
δ	0.2	Parameter describing and emphasizing the effect of redirecting packets to MN
ϵ	0.8	Parameter describing and emphasizing the effect of discarding packets
ω	0.8	Parameter describing and emphasizing the effect of redirecting packets between MN and CN
λ_p	10 paket/s	Packet arrival rate for MN
λ_s	0.01	Session arrival rate for MN
T_{SUB}	10-250 s	A time interval for a MN to stay in a subnetwork
t_{L2}	100 ms	L2 handover latency
t_{RD}	120 ms	Router discovery interval
t_{DAD}	120 ms	Duplicate address detection (DAD) time interval

M은 MAP 도메인 안에서의 서브네트워크 수이다. IP에 근거한 네트워크 신호비용은 네트워크를 통한 신호 메시지의 실제 전송에 의해 결정된다. 성능 분석모델링에 사용된 매개변수 값은 (표 2)에 정의되어 있다. 표에 인용된 값들은 각각의 프로토콜에서 노드간에 사용되는 홉수를 보여준다[1-3]. 비용은 소스와 목적 노드사이의 홉의 수로 비례한다. MN과 그것의 접근 라우터 사이에 무선링크의 패킷전송비용은 $C_{MN,AR}=\kappa$ 로 주어진다. 유선 연결부분에 의한 X,Y의 두 종단 노드 사이에 전송비용은 $C_{X,Y}=\tau\times d_{X,Y}$ 로 계산된다. 여기서 κ,τ는 무선구간 또는 유선구간 사이의 전송비용이며, $d_{X,Y}$ 는 각각 X,Y노드 사이의 수신 횟수이다. 최종적 바인딩 업데이트 시그널링 비용은(C_{Signal})핸드오버 수행도중에 신호 메시지의 변화되는 핸드오버 구조와 신호 메시지의 크기에 의해서 매우 의존적이다. 이 최종적인 비용에 추가적으로 각각의 노드의 처리비용까지 합한다. MIPv6와 HMIPv6의 수식

은 다음과 같다.

3.2.1 MIPv6[7,8]

$$C_{MIPv6}^{Inter} = C_{MIPv6}^{Intra} = 2(RS + RA + NS + NA) \times C_{MN,AR} + 2PC_{AR} + C_{hc} \quad (7)$$

$$C_{HC} = 2(C_{MN,HA} + N_{CN} \times C_{MN,CN}) + PC_{HA} + N_{CN} \times PC_{CN} + C_{RR} \quad (8)$$

$$C_{RR} = (HoTI_{MN,HA} + HoT_{HA,MN}) \times (C_{MN,AR} + C_{AR,HA}) + (HoTI_{HA,CN} + HoT_{CN,HA}) \times C_{HA,CN} + (CoTI + CoT) \times (C_{MN,AR} + C_{AR,CN}) + 2(PC_{HA} + PC_{CN}) \quad (9)$$

MIPv6에서는 MAP도메인내 핸드오버와 MAP도메인간 핸드오버 비용이 동일하다.

AR노드에서 RS와 RA 그리고 NS와 NA를 서로 송수신하게 되며, 이들 간의 처리비용은 PC_{AR}에서 하게 된다. C_{HC}는 HA와 CN 사이에서의 바인딩 업데이트 비용을 나타낸다. CN의 수 만큼 진행되어지는 것이며, RR의 절차인 바인딩 업데이트의 처리비용을 포함한다. PC_X는 각 프로세스 단계에서의 노드의 처리비용이다. C_{RR}은 수식(9)처럼 RR 절차비용이며, HoTI, HoT, CoTI와 CoT가 MN과 AR 그리고 HA, CN 사이에서 전송되는 비용이다.

3.2.2 FMIPv6[8,14,15]

L2 Trigger(Link Layer Information)는 FMIPv6 핸드오버의 빠른 응답과 예측을 가능하게 한다. MN 이 PAR로부터 FBAck 메시지를 받는다면, 우리는 NAR로 L3 핸드오버가 시작된 것을 미리 알 수 있다. 만약 L2 Trigger 이후에 핸드오버가 실제 없다면, 모든 메시지는 RtSolPr에서 FBU사이의 메시지 교환이 필요없다. 아래와 같이 표현된다.

$$C_{FMIPv6}^{Intra} = P_s \times H_s^{FMIPv6} + (1 - P_s) \times H_f^{FMIPv6} + C_{HC} \quad (10)$$

P_S는 핸드오버의 예측할수 있는 비율(예견율)을 나타내며, 빠른 핸드오버 기법에 적용된다. P_S는 수식(10)에서처럼 성공적인 핸드오버와의 곱과 실패하는 핸드오버와의 역비율의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$H_s^{FMIPv6} = (RtSolPr + PrRtAdv + FBU + FBAck) \times C_{MN,PAR} + (HI + HAck + FBAck) \times C_{PAR,NAR} + FNA \times C_{MN,NAR} + (BU + BAck) \times (C_{MN,PAR} + C_{PAR,NAR} + C_{NAR,HA}) + 4PC_{AR} + PC_{HA} \quad (11)$$

$$H_f^{FMIPv6} = (RtSolPr + PrRtAdv + FBU) \times (C_{MN,PAR} + C_{PAR,NAR}) + (HI + HAck) \times C_{PAR,NAR} + 3PC_{AR} \quad (12)$$

$$C_{FMIPv6}^{Inter} = C_{FMIPv6}^{Intra} \quad (13)$$

빠른 핸드오버의 경우 성공적으로 수행되는 경우에 비용은 수식(11)과 같다. RtSolPr과 PrPtAdv, FBU와 FBAck의 합으로 구성되는 파라미터가 MN과 AR의 사이에서 송수신되는 것, 그리고 AR사이에서는 HI와 HAck으로 데이터의 송수신이 이루어지므로 비용은 그것들의 곱이 된다. 실패의 경우에는 FBAck의 응답을 받을 수 없으며, 그 의미는 핸드오버의 실패라는 것이다. 각각의 프로세스의 처리비용을 추가로 합하여 그 비용을 산정한다. MIPv6처럼 핸드오버되지 않는 모든 패킷은 버려지게 되며, 수식(13)처럼 Intra-MAP의 비용와 Inter-MAP의 비용은 같다.

3.2.3 HMIPv6[14-16]

$$C_{HMIPv6}^{Inter} = C_{HMIPv6}^{Intra} + C_{BU} \quad (14)$$

$$C_{HMIPv6}^{Intra} = 2(RS + RA + NS + NA) \times C_{MN,AR} + 2PC_{AR} + PC_{MAP} \quad (15)$$

$$C_{BU} = (BU_{MN,HA} + BAck_{HA,MN}) \times (C_{MN,AR} + C_{AR,HA}) + PC_{HA} + N_{CN} \times [(BU_{MN,CN} + BAck_{CN,MN}) \times (C_{MN,AR} + C_{AR,MN}) + PC_{CN}] \quad (16)$$

계층적 구조기법에서 Inter-MAP의 비용은 Intra-MAP의 비용에 바인딩업데이트 비용을 추가하면 되는 값이다. MIPv6에서 처럼 RS, RA, NA, NA의 값들은 MN과 AR 사이에서 서로 교환되는 파라미터 값의 곱이며, C_{BU}는 Inter-MAP에서의 바인딩 업데이트 비용을 나타낸다. 계층적 구조에서는 RR단계가 없으므로 C_{RR}은 필요치 않다. C_{BU}는 BU값과 BAck의 값이 MN과 AR 그리고 HA사이에서 송수신되는 값으로 구성되어지며, CN의

수에 비례하여 계산된다. 수식(16)과 같다.

3.2.4 F-HMIPv6[14-16]

F-HMIPv6의 신호비용에 경우 Inter-MAP 핸드오버와 Intra-MAP 핸드오버가 서로 차이가 있으며 신호비용의 결과는 서로 같지 않다. Intra-MAP핸드오버를 위한 새로운 LCoA는 특별한 MAP과 함께 등록되었다. 새로운 LCoA를 제외하고, 또한 새로운 RCoA, HA와 함께 특별한 모든 CN들에 의해 등록이 필요하다. F-HMIPv6에서는 FMIPv6에서와 마찬가지로 빠른 핸드오버구조를 이용하는 것이다. 빠른 핸드오버는 예정된 예측 핸드오버에 기인한다. 신호비용의 모든 수는 예측된 핸드오버의 성공적 예견에 기인하며, 실제로 몇몇의 상황에서 예측되지 않은 핸드오버가 발생한다. 그러한 예로, 모든 신호 메시지는 사용되지 않게 남아서 잔류한다. 만약 L3 핸드오버가 MN이 FBAck 메시지로부터 성공적으로 종료된다고 가정하면 우리는 FBAck, RtSolPr, PrRtAdv, FBU, HI and Hack에서 우선되는 신호메시지가 사용되지 않은 메시지임을 알게 된다. 위에서 언급한 것으로 Intra-MAP신호비용은 다음과 같다.

$$C_{F-HMIPv6}^{Inter} = C_{F-HMIPv6}^{Intra} + C_{BU} \tag{17}$$

$$C_{F-HMIPv6}^{Intra} = P_s \times H_s^{F-HMPIIPv6}(1-P_s) \times H_f^{F-HMIPv6} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} H_s^{F-HMIPv6} = {} & (RtSolPr + PrRtAdv + FBU + FBAck) \times (C_{MN,PAR} + C_{PAR,MAP}) + \\ & (HI + HAck + FBAck) \times C_{MAP,NAR} + FNA \times C_{MN,NAR} + \\ & (LBU + LBAck) \times (C_{MN,PAR} + C_{NAR,MAP}) + 2PC_{AR} + 3PC_{MAP} \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned} H_f^{F-HMIPv6} = {} & (RtSolPr + PrRtAdv + FBU) \times (C_{MN,PAR} + C_{PAR,MAP}) + \\ & (HI + HAck) \times C_{MAP,NAR} + PC_{AR} + 2PC_{MAP} \end{aligned} \tag{20}$$

3.2.5 PMIPv6[17-19]

네트워크 기반의 이동성관리 기법들에 있어서, 시그널링 비용은 상기에 열거된 방법들과의 같은 맥락에서 적용하여 비교 분석한다. PMIPv6에서 Inter-MAP은 Intra-MAP에 바인딩업데이트 비용의 합으로 계산된다. 사실상 PMIPv6에서는 등록된 도메인의 절차가 매우 간편하고 그 비용도 저렴하다. 단순히 MN과 AR(MAG)사이에서 등록절차를 간단히 이루면 되며, PBU와 PBA를 송수신함으로써 그 절차가 마무리 되게 된다. PMIPv6에서 BU의 계산식은 수식(23)에서, CN의 수만큼 그 비율로 정해질 수 있으며, rPBU와 rPBA의 메시지의 교환으로 pPBU, pPBA의 메시지의 교환으로 바인딩업데이트를 수행하게 된다.

$$C_{PMIPv6}^{Inter} = C_{PMIPv6}^{Intra} + C_{BU}^{PMIPv6} \tag{21}$$

$$C_{PMIPv6}^{Intra} = (RS + RA) \times C_{MN,MAG} + (PBU + PBA) \times C_{MAG,LMA} + 2PC_{MAG} \tag{22}$$

$$\begin{aligned} C_{BU}^{PMIPv6} = {} & (RS + RA) \times C_{MN,MAG} + (rPBU + rPBA) \times C_{MAG,LMA} + \\ & 2PC_{MAG} + PC_{LMA} + N_{CN} \times [(pPBU + pPBA) \times C_{LMA,LMA} + 2PC_{LMA}) \end{aligned} \tag{23}$$

3.2.6 F-PMIPv6[18-20]

빠른 핸드오버의 PMIPv6에서는 FMIPv6와 F-HMIPv6처럼 계산한다. 빠른핸드오버의 예견율을 가지고 시그널링 비용을 계산하며, Inter-MAP의 시그널링 비용은 Intra-MAP의 시그널링 비용에 바인딩업데이트 비용을 합한 값이 된다. 수식(27)에서 $H_f^{F-PMIPv6}$ 의 경우 FBU를 송신하는데 FBA를 받지 못한다. 이것은 실패했다는 것으로 간주되며 마찬가지로 PBU를 송신한 다음 PBA를 받지 못하게 된다. PMIPv6와 마찬가지로 비용측면에서 매우 효율적이며, 아래와 같이 표현된다.

$$C_{F-PMIPv6}^{Inter} = C_{F-PMIPv6}^{Intra} + C_{BU}^{PMIPv6} \tag{24}$$

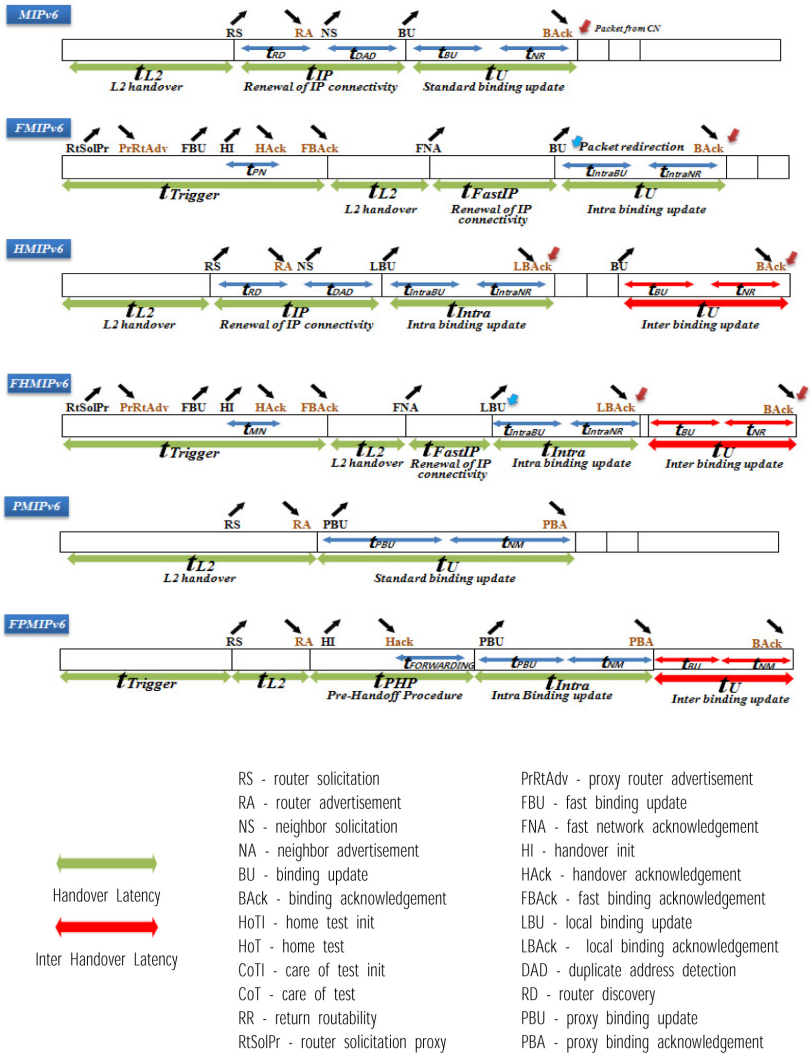
$$C_{F-PMIPv6}^{Intra} = P_s \times H_s^{F-PMIPv6} + (1-P_s) \times H_f^{F-PMIPv6} \tag{25}$$

$$\begin{aligned} H_s^{F-PMIPv6} = {} & (RS + RA) \times C_{MN,MAG} + (HI + HAck) \times C_{MAG,MAG} + \\ & (PBU + PBA) \times C_{MAG,LMA} + 3PC_{MAG} + PC_{LMA} \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned} H_f^{F-PMIPv6} = {} & (RS + RA) \times C_{MN,MAG} + (HI + HAck) \times C_{MAG,MAG} + \\ & FBU \times C_{MAG,MAG} + PBU \times C_{MAG,LMA} + 2PC_{MAG} + PC_{LMA} \end{aligned} \tag{27}$$

3.3 패킷 전송 비용

패킷 전송 비용은 L3핸드오버 수행하는 동안의 MN의



(그림 8) 이동성관리 기법들의 핸드오버 타임라인

데이터 트래픽과 직접 연결되는 비용에 의해 나타난다. 핸드오버 지연은 (그림 8)에 표현되어 있다. 핸드오버를 진행하는 MN의 시간을 시점으로 HA와 함께 BU의 수행이 끝나거나, 모든 CN이 입수한 데이터를 잃어버리거나 FMIPv6와 F-HMIPv6 프로토콜의 경우에 새로운 MN이 터널을 통과하는 시점과 가로채는 시점까지 CoA상의 어떤 데이터도 받을 수 없다. 그림에서 IP기반의 프로토콜의 경우에 크게 3가지의 요소로 구분 지을 수 있다. 첫째는 L2 핸드오버의 t_{L2}와 두 번째는 IP연결을 위한 t_{IP} 그리고 위치업데이트 지연을 위한 t_U이다. IP연결지연은 MN이 L2핸드오버 후에 위치업데이트 지연이 포워딩된 새로운 IP주소로 패킷을 얼마나 빨리 보내지는 것에 대한 것이다. 패킷 전달 비용은 패킷전송과 각 프로세싱의 비용으로 구성된다. 아래와 같다.

$$C_{PACKET} = \delta \times C_{FORWARDING} + \varepsilon \times C_{LOSS} \qquad (28)$$

여기에서 $C_{FORWARDING}$은 재전송이 요구된 패킷의 전송비용이며, δ는 재전송이 요구된 패킷의 비율값이다. C_{LOSS}는 최종적으로 버리게 되는 패킷의 전송비용이며, ϵ은 버

리는 패킷의 비율값이다. $\delta+\epsilon$ = 1이다. 두 가지 기본적인 핸드오버 구조에서 본 관점에서 패킷전송 비용은 MIPv6에서처럼 핸드오버 수행 도중에 버리는 패킷, FMIPv6에서처럼 새로운 지점까지의 재전송이 요구되는 패킷 두 가지로 요약된다.

3.3.1 MIPv6

λ_P는 각 시간당 패킷의 수로 정의되는 패킷 도착비율이다. $C_{FORWARDING}$ 과 C_{LOSS} 은 패킷 도착비율의 곱으로 계산한다. MIPv6에서 우리는 쉽게 $C_{MIPv6}^{FORWARDING}$ 비용을 0으로 세팅할 수 있다. 왜냐하면 모든 데이터는 버려지고 포워드되는 것은 없기 때문이다. 결과는 다음과 같다. [7,8]

$$C_{MIPv6}^{FORWARDING} = 0 \tag{29}$$

$$C_{MIPv6}^{LOSS} = \lambda_p \times (t_{L2} + t_{IP} + t_U) \times (C_{MIPv6}^{RO} + C_{MIPv6}^{nRO}) \tag{30}$$

$C_{MIPv6}^{RO}, C_{MIPv6}^{nRO}$ 는 HA와의 터널링과 RO(Route Optimization)에 사용된 데이터의 전송비용을 나타낸다. 아래와 같다.

$$C_{MIPv6}^{RO} = \omega \times (C_{CN,PAR} + C_{PAR,MN}) \tag{31}$$

$$C_{MIPv6}^{nRO} = (1-\omega) \times (C_{CN,HA} + C_{HA,PAR} + C_{PAR,MN} + PC_{HA}) \tag{32}$$

ω는 RO와 nRo사이의 비율이다.

$$C_{MIPv6}^{PACKET} = \delta \times 0 + \varepsilon \times \left\{ \begin{array}{l} \lambda_P \times (t_{L2} + t_{IP} + t_U) \times \\ \left[\omega \times (C_{MN,AR} + C_{AR,MN}) + (1-\omega) \times (C_{CN,HA} + C_{HA,PAR} + C_{PAR,MN} + PC_{HA}) \right] \end{array} \right\} \tag{33}$$

3.3.2 FMIPv6

MIPv6 핸드오버 구조에 견주어서 핸드오버 수행진행 동안에 높은 데이터 손실을 최소화 하도록 개발되어진 구조이다. FMIPv6의 경우 핸드오버 수행도중에 데이터는 기대되는 첨부위치에 새로운 MN에 관통되어지며, 새로운 서브네트워크에 곧 도착되고 버퍼되어진다. FMIPv6의 예견적인 모드를 가정하고 고려해보면 (그림 8)에 의해 얻을 수 있다.

$$C_{FMIPv6}^{FORWARDING} = \lambda_p (t_{L2} + t_{FASTIP} + t_U) \times (C_{FMIPv6}^{RO} + C_{FMIPv6}^{nRO}) \tag{34}$$

$$C_{FMIPv6}^{RO} = \omega \times (C_{CN,PAR} + C_{PAR,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{AR}) \tag{35}$$

$$C_{FMIPv6}^{nRO} = (1-\omega) \times (C_{CN,HA} + C_{HA,PAR} + C_{PAR,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{HA} + PC_{AR}) \tag{36}$$

그림에서 C_{LOSS} 는 0이 되는 것을 고려하지 않는다. 그러나 (그림 4)에서처럼 MN이 빨리 이동한다고 생각하면 $t_{PN} > t_{Trigger}$ 를 얻을 수 있다. 따라서 모든 시간 프레임 안에서 도착한 모든 패킷은 $t_{PN} - t_{Trigger}$ 로 잃게 된다.

성공적인 핸드오버를 위해서는 FMIPv6에서 $t_{PN} \le t_{Trigger}$ 이 반드시 필요하게 된다.

$$\begin{aligned} C_{FMIPv6}^{LOSS} &= \lambda_P \times max\left\{(t_{PN} - t_{trigger}), 0\right\} \times (C_{FMIPv6}^{RO} + C_{FMIPv6}^{nRO}) \\ &= 0 \end{aligned} \tag{37}$$

$$\begin{aligned} C_{FMIPv6}^{PACKET} &= \delta \times \\ &\left\{ \begin{array}{l} \lambda_P \times (t_{L2} + t_{FASTIP} + t_U) \times \\ \left[\begin{array}{l} \omega \times (C_{CN,PAR} + C_{PAR,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{AR}) + \\ (1-\omega) \times (C_{CN,HA} + C_{HA,PAR} + C_{PAR,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{HA} + PC_{AR}) \end{array} \right] \end{array} \right\} \cdot \\ &+ \varepsilon \times 0 \end{aligned} \tag{38}$$

3.3.3 HMIPv6

HMIPv6 구조에서는 MIPv6의 구조와 마찬가지로 포워딩 하는 패킷이 없고 모두 버리게 된다. 따라서 포워딩 비용은 0이 된다. MAP과 MAP사이에서의 핸드오버시에 발생되는 패킷 손실 비용은 발생하게 된다. 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$C_{HMIPv6}^{FORWARDING} = 0 \tag{39}$$

$$C_{HMIPv6}^{LOSS} = \lambda_p (t_{L2} + t_{IP} + t_U) \times (C_{HMIPv6}^{RO} + C_{HMIPv6}^{nRO}) \quad (40)$$

$$C_{HMIPv6}^{RO} = \omega \times (C_{CN,MAP} + C_{MAP,PAR} + C_{PAR,MN} + PC_{AR}) \quad (41)$$

$$C_{HMIPv6}^{nRO} = (1-\omega) \times (C_{CN,HA} + C_{HA,MAP} + C_{MAP,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{HA} + PC_{MAP} + PC_{AR}) \quad (42)$$

$$C_{HMIPv6}^{PACKET} = \delta \times 0 + \varepsilon \times \left\{ \begin{array}{l} \lambda_P \times (t_{L2} + t_{IP} + t_U) \times \\ \left[\begin{array}{l} \omega \times (C_{CN,MAP} + C_{MAP,PAR} + C_{PAR,MN} + PC_{AR}) + \\ (1-\omega) \times (C_{CN,HA} + C_{HA,MAP} + C_{MAP,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{HA} + PC_{MAP} + PC_{AR}) \end{array} \right] \end{array} \right\} \quad (43)$$

3.3.4 F-HMIPv6

F-HMIPv6 핸드오버 구조의 경우 FMIPv6와 포워딩 방식이 같다. 다만 각 타임라인의 구성이 조금 상이하다. 아래와 같이 표현된다.

$$C_{F-HMIPv6}^{FORWARDING} = \lambda_p \times (t_{L2} + t_{FASTIP} + t_U) \times (C_{F-HMIPv6}^{RO} + C_{F-HMIPv6}^{nRO}) \quad (44)$$

$$C_{F-HMIPv6}^{RO} = \omega \times (C_{CN,MAP} + C_{MAP,PAR} + C_{PAR,MN} + PC_{AR}) \quad (45)$$

$$C_{F-HMIPv6}^{nRO} = (1-\omega) \times (C_{CN,HA} + C_{HA,PAR} + C_{PAR,NAR} + \cdot C_{NAR,MN} + PC_{HA} + PC_{AR}) \quad (46)$$

$$C_{F-HMIPv6}^{LOSS} = \lambda_P \times max\{(t_{PN} - t_{trigger}), 0\} \times (C_{F-HMIPv6}^{RO} + C_{F-HMIPv6}^{nRO}) = 0 \quad (47)$$

$$C_{F-HMIPv6}^{PACKET} = \delta \times \left\{ \begin{array}{l} \lambda_P \times (t_{L2} + t_{FASTIP} + t_U) \times \\ \left[\begin{array}{l} \omega \times (C_{CN,PAR} + C_{PAR,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{AR}) + \\ (1-\omega) \times (C_{CN,HA} + C_{HA,MAP} + C_{MAP,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{HA} + PC_{MAP} + PC_{AR}) \end{array} \right] \end{array} \right\} + \varepsilon \times 0 \quad (48)$$

3.3.5 PMIPv6

LMA는 MAG에서 오는 모든 패킷에 대해서 체크를 할 것이다. 동일한 도메인 내에서 LMA는 바로 직접 CN에 연결되어 진다. PMIPv6에서 포워딩되는 패킷은 없으며, 모든 데이터는 잃어버리게 된다. 아래와 같이 표현된다.

$$C_{PMIPv6}^{FORWARDING} = 0 \quad (49)$$

$$C_{PMIPv6}^{PACKET} = \delta \times 0 + \varepsilon \times \left\{ \begin{array}{l} \lambda_P \times (t_{L2} + t_{IP} + t_U) \times [\omega \times (C_{CN,MAG} + C_{MAG,MN}) + \\ (1-\omega) \times (2C_{MAG,LMA} + C_{LMA,LMA} + 2PC_{MAG} + 2PC_{LMA})] \end{array} \right\} \quad (50)$$

3.3.6 F-PMIPv6

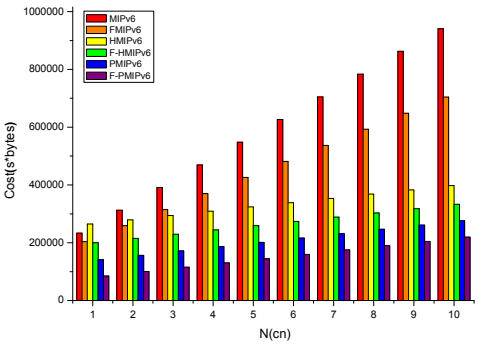
$$C_{F-PMIPv6}^{LOSS} = 0 \quad (51)$$

$$C_{F-PMIPv6}^{PACKET} = \delta \times \left\{ \begin{array}{l} \lambda_P \times (t_{L2} + t_{FASTIP} + t_U) \times \\ \left[\begin{array}{l} \omega \times (C_{CN,MAG} + C_{MAG,MN}) + \\ (1-\omega) \times (2C_{MAG,LMA} + C_{LMA,LMA} + 2PC_{MAG} + 2PC_{LMA} \end{array} \right] \end{array} \right\} + \varepsilon \times 0 \quad (52)$$

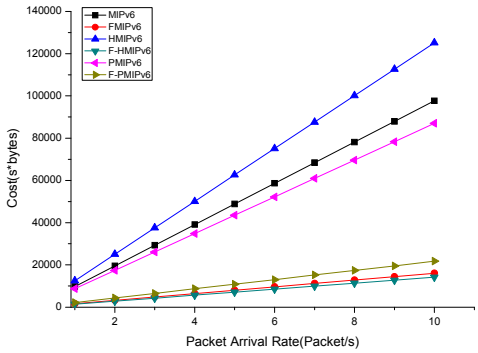
4. 성능 분석 결과

성능분석 결과에 있어서 각 프로토콜에 대한 핸드오버 구조의 비용 분석 평가 결과를 보여준다. 제안된 분석 기법을 그래프로 묘사하고, 분석된 핸드오버 구조의 성공적인 평가 결과를 제공한다. SMR 그리고 CN의 수 같은 다양한 변수들 위에 핸드오버 비용의 종속성을 보여주는 그래프를 표현한 것이다.

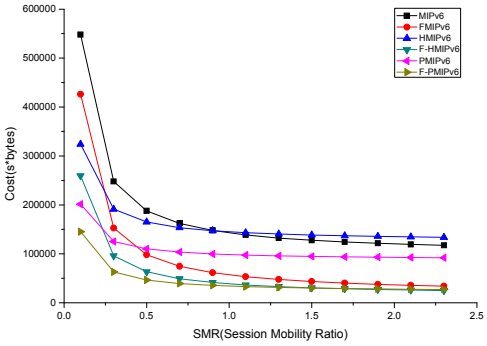
시그널링의 총 비용은 바인딩 업데이트 시그널링 비용에 기인한다. Intra-MAP 핸드오버의 경우에 계층적 핸드오버 구조로 취득한 핸드오버 기법들이 최상의 결과를 보여주는데 이 결과는 놀라운 것이 아니다, 왜냐하면 계층적 구조의 가장 주된 이유는 실행되는 MAP상에서 로컬 바인딩 업데이트의 수행노드가 가능한 Intra-MAP에서의 신호를 빠르게 감소하도록 개발되어졌기 때문이다. 또 다른 한편으로 Inter-MAP 핸드오버를 위해 계층적 구조는 각각 비계층적 구조에 비해 훨씬 나쁘게 수행되기 때문이다. 이러한 이유들로 바인딩 업데이트를 제외하고 HA에 보내지며 부합되는 노드들의 모바일 노드는 하나



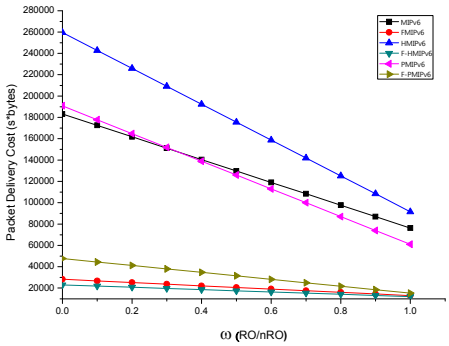
(그림 9) CN 수에 따른 시그널링 비용



(그림 11) 패킷도착율에 따른 패킷전송비용



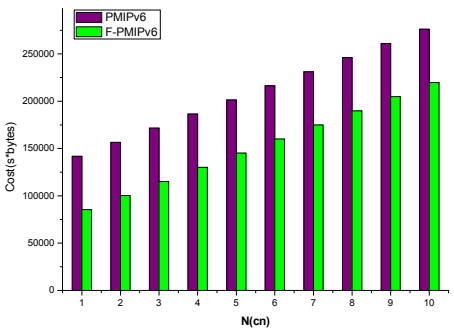
(그림 10) SMR 증가에 따른 시그널링 비용



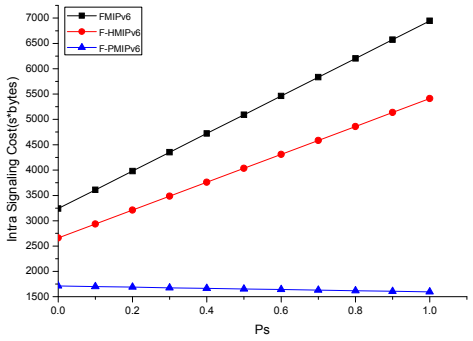
(그림 12) 라우트 최적화 비율값에 따른 패킷 전송 비용

이상의 바인딩 업데이트의 수행이 필요하다. (그림 9)는 각각의 이동성관리 기법들의 총 신호비용이 CN의 수에 따라서 변화하는 것을 그래프로 나타낸 것이다. MN 통신과 함께 CN수의 의존적인 것으로 나타난다. 분석된 6개 모두의 핸드오버 구조의 비용을 나타난 것을 살펴본 결과 (그림 9)에서도 볼 수 있듯이, Proxy MIPv6와 Fast Handover for proxy MIPv6의 두 이동성관리 기법들이 기존의 IP기반으로 하는 이동성관리 기법들보다 현저하게 좋은 수행능력을 갖고 있다고 할 수 있다. (그림 10)의 그래프에서 새로운 MAP에서의 신호비용은 한 개의 MAP 도메인 안의 핸드오버를 위한 이동비율(SMR)에 종속적임을 나타낸다. 실제로 모바일노드의 이동성은 신호비용에 종속적임을 볼 수 있다. 그래프로부터 Intra-MAP 핸드오버 비용이 SMR이 증가함에 따라 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. SMR비율이 작은 경우에 모바일노드의 이동비율은 수집된 데이터 세션의 양에 비해 상대적으로 더 높다. 이것은 모바일 노드가 위치 변경하는 것 그로인해 빈번한 핸드오버를 야기하며, 신호비용은 높아지게 된다. 그러나 SMR의 비율이 높아지면(핸드오버의 빈도가 감소되는 것) 신호비용은 급격히 감소되며 점진적으로 제로에 가깝게 된다. 이것은 모바일 노드가 어떤 핸드오버를 수행하지 않는다는 것을 의미한다.

SMR이 작은 경우에 계층적인 것과 비계층적인 구조 사이에 차이점이 꽤 중요하다는 것을 우리는 주지할 수 있다. 그러나 비율이 증가함으로써 핸드오버의 두 종류들 사이에 차이점은 감소된다. (그림 11)의 그래프는 패킷의 도착율에 따른 패킷 전달 비용을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프에서도 알 수 있듯이 HMIPv6는 매우 높은 패킷전송 비용을 발생한다. MAP은 매 싱글패킷을 처리할 때마다 필요하며, 이것은 엄청난 양의 전송비용을 야기한다. 패킷도착율에 따른 패킷지연비용은 빠른 핸드오버의 경우에 더 좋은 성능을 보여준다. 특별히 네트워크 기반에서의 패킷도착율에 따른 비용은 다른 두 개보다 더 많은 비용을 사용하는 것으로 보인다. ω는 RO와 nRO의 비율로 나타내어진다. (그림 12)에서 보듯이 라우트 최적화값의 비율은 RO/nRO로 표현할 수 있으며,



(그림 13) PMIPv6와 F-PMIPv6의 CN수에 따른 신호 비용



(그림 14) Fast 핸드오버 기법들의 예견률(Ps)에 따른 Intra 시그널링 비용

최대값은 1이며, 비율은 1로 향해 갈수록 최적화되는 것으로 판단된다. 라우트 최적화 비율값이 높을수록 각각의 성능은 좀 더 좋은 결과를 보여주고 있다. (그림 13)에서는 특별히 네트워크 기반의 이동성관리 기법들에 대해서 그래프로 나타낸 것이다. 네트워크 기반의 이동성관리 기법들은 일반적으로 그 총비용을 산정할 때 있어서 IP기반의 이동성관리 기법들보다 좀 더 저렴한 비용으로 수행되어진다는 것을 알 수 있다. PMIPv6 보다는 빠른 핸드오버 구조의 F-PMIPv6에서 더 좋은 성능을 보여준다. 빠른 핸드오버 기법들은 도착율에 대한 예견비율을 갖게 된다. 특별히 성공과 실패에 관한 포워딩 및 패킷에 대한 지연 등 그 예견에 따른 비용발생에 차이를 나타내게 된다. (그림 14)에서는 예견률 P_s에 종속적인 그래프를 보여준다. 빠른 핸드오버의 경우에 그래프에서처럼 표현되어 진다.

5. 결 론

모바일 네트워크상에서 이동성관리 기법들에 대한 여러 가지 방법들은 계속적으로 발전해왔다. 특별히 비용적으로 접근하는 여러 방법들 중에 현재 IP기반의 기법들과 네트워크 기반의 기법들 간에 비용차이가 발생하고 있다. 좀 더 낮은 방법으로의 발전은 그 비용이 저렴하고 무결점 서비스가 가능하다는 장점이 있다. IPv6 이동성 핸드오버 구조의 평가방법은 기존에 보편적인 방법들로 비교 분석해왔다. 기존의 분석 평가 방법에 있어서 대다수의 기법은 노드간의 홉수에 의한 시간적인 부분에 있어서의 비용분석임을 알 수 있었다. 본 논문에서는 기존의 비용분석 방법에서 추가적으로 각 프로세스의 처리 비용과 각 노드간의 홉수 외에 해당 메시지들이 갖고 있는 메시지의 길이에 대한 가중치를 부여하여 비교분석하였다. 아울러 최근에 네트워크 기반에서의 처리능력과 비용에 대한 효율성을 비교분석에 있어서 좀 더 확실한 방법을 제시하여 분석하는 방법을 보여준다. 여러 그래프에서 볼 수 있는 것처럼 기존의 MIPv6에 반하여 여러 형태로 발전되어온 다양한 기법들이 좀 더 적은 비용으로 메시지를 전송하는 것을 볼 수 있다. 이러한 기법들을 이용한 것들에 대해 네트워크 기반인 PMIPv6와 F-PMIPv6에서의 시그널링 비용과 패킷전송 비용 등 총 비용을 살펴 볼 수 있었다. 새로운 기법에 의한 평가결과에 있어서 전체적으로 빠른 핸드오버 구조의 이동성 관리 기법들이 좀 더 낮은 신호비용 결과를 볼 수 있었으며, 이는 네트워크 기반의 이동성관리 기법에서도 동일하게 적용된 것을 볼 수 있다. 특별히 PMIPv6와 F-PMIPv6가 시그널링 비용에서 가장 효율적인 구조라는 것을 알 수 있으며, 빠른 핸드오버 구조의 네트워크 기반의 이동성관리 기법이 최상의 결과를 나타내었다. 신호비용의 결과는 상기와 같은 결과를 보여주는 것이 당연하다 할 수 있다. 그 이유는 이것들의 구조가 신호 비용감소를 위해 개발되어졌기 때문이다. 비용견지에서 보면 계층적 구조에서의 약점은 패킷의 전송비용이 많다는 점이며, 빠른 핸드오버의 구조가 대체적으로 좋은 결과를 보여준다. 아울러 네트워크 기반의 구조에서 더욱 더 효율적인 것으로 나타났다. 논문은 기존의 서로 다른 프로토콜의 성능기법에 대해 다른 분석기법을 통해서 보여주며, 더욱 정확한 정보를 보여주기에 충분하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0024695).

참 고 문 헌

[1] Johnson, D. B. Perkins, C. E. and Arkko, J., "Mobility support in IPv6", IETF RFC 3775, June 2004.

[2] Koodli, G., "Fast handovers for mobile IPv6", IETF RFC 4068, July 2005.

[3] Soliman, H. Castelluccia, C. El-Malki, K. and Bellier, L., "Hierarchical mobile IPv6 mobility management", IETF RFC 4140, August 2005.

[4] Jung, H. Soliman, H. Koh, S. and Takamiya, N., "Fast handover for hierarchical MIPv6", Internet Draft, draft-jung-mipshopfhmipv6-00.txt, April 2006.

[5] Gundavelli, S. Leung, K. Devarapalli, V. Chowdhury, K. and Patil, B., "Proxy Mobile IPv6", IETF RFC 5213, August 2008.

[6] Chuang, M. C. and Lee, J. F., "FH-PMIPv6: A fast handoff scheme in Proxy Mobile IPv6 networks", Consumer Electronics, Communications and Networks, pp.1297-1300, May 2011.

[7] Makaya, Ch. and Pierre, S., "An analytical framework for performance evaluation of IPv6-based mobility management protocols", IEEE, Transactions on Wireless Communications, pp.972-983, March 2008.

[8] Skorepa, M. and Klugl, R., "Enhanced analytical method for IP mobility handover schemes cost evaluation", Telecommunication Systems, pp.1-10, June 2011.

[9] Koodli, R. and Perkins, C. E., "Fast handovers and context transfers in mobile networks", ACM Mobile Computing and Commun. Rev., vol. 31, October 2001.

[10] Castelluccia, C., "HMIPv6: a hierarchical mobile IPv6 proposal", ACM Mobile Computing and Commun. Rev., vol. 4, pp.48-59, January 2000.

[11] Jung, H. Y. Kim, E. A. Yi, J. W. and Lee, H. H., "A scheme for supporting fast handover in hierarchical mobile IPv6 networks", ETRI Journal, vol. 27, pp.798-801, December 2005.

[12] Guan, J. Zhou, H. Yan, Z. Qin, Y. and Zhang, H., "Implementation and analysis of proxy MIPv6", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 11, pp.477-490, April 2011.

[13] Xia, F. and Sarikaya, B., "Mobile Node Agnostic Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6", Draft-xia-netlmm-fmip-mnagno-02, IETF draft, November 2007.

[14] P´erez-Costa, X. Schmitz, R. Hartenstein, H. and Leibsch, M., "A MIPv6, FMIPv6 and HMIPv6 handover latency study: analytical approach", in Proc. IST Mobile and Wireless Commun. Summit, pp.100-105, June 2002.

[15] P´erez-Costa, X. Torrent-Moreno, M. and Hartenstein, H., "A performance comparison of mobile IPv6, hierarchical mobile IPv6, fast handovers for mobile IPv6 and their combination", ACM Mobile Computing and Commun. Rev., vol. 7, pp.5-19, October 2003.

[16] Pack, S. and Choi, Y., "A study on performance of hierarchical mobile IPv6 in IP-based cellular networks", IEICE Trans. Commun., vol. E87-B, pp.462-469, March 2004.

[17] Kong, K. S. Lee, W. J. Han, Y. H. Shin, M. K. and You, H. R., "Mobility Management for All-IP Mobile Networks: Mobile IPv6 vs. Proxy Mobile IPv6", IEEE Wireless Communications, Vol. 15, pp.36-45, April 2008.

[18] Kong, K. S. Lee, W. J. Han, Y. H. and Shin, M. K., "Handover Latency Analysis of a Network-Based Localized Mobility Management Protocol", IEEE International Conference on Communications, pp. 5838-5843, May 2008.

[19] Ryu, S. G. Kim, G. Y. Kim, B. G. and Mun, Y. S., "A Scheme to Reduce Packet Loss during PMIPv6 Handover Considering Authentication", IEEE International Conference on Computational Sciences and Its Applications, pp.47-51, July 2008.

[20] Lei, J. and Fu, X., "Evaluating the Benefits of Introducing PMIPv6 for Localized Mobility Management", IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, pp.74-80, August 2008.

◐ 저 자 소 개 ◑

김 경 태

2000년 시립인천대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
2012년 성균관대학교 정보통신대학원 컴퓨터공학과
관심분야 : 네트워크, 데이터베이스, IT융합, 인터랙션사이언스 등
E-mail : kokets@naver.com

정 종 필

2008년 성균관대학교 정보통신대학(공학박사)
2009년 성균관대학교 컨버전스연구소 연구교수
2010년~현재 성균관대학교 산학협력단 산학협력중점교수
관심분야 : 모바일컴퓨팅, 센서 이동성, 차량 모바일 네트워크, 스마트기기 보안, 네트워크 보안, IT융합, 인터랙션사이언스 등
E-mail : jpjeong@skku.edu