

MIH와 PFMIPv6 환경의 고속 수직핸드오버 방안의 성능 분석

정회원 최 고 야*, 민 상 원*^o, 종신회원 김 복 기**

Performance Analysis of a Fast Vertical Handover Scheme between MIH and PFMIPv6

Go-ya Choi*, Sang-won Min*^o *Regular Members*, Bok-ki Kim** *Lifelong Member*

요 약

PFMIPv6에서 사용자 선호도에 따라 여러 가지 무선 접속 기술을 사용하고자 하는 요구사항을 만족시키는 수직 핸드오버를 가능하게 하기 위해서는 무선 접속기술의 변형을 요구하는 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 cross-layer를 고려하여 무선 접속 기술에 상관없이 고속 수직 핸드오버를 가능하게 하는 PFMIPv6 기반의 MIH 수직 핸드오버에 대해 연구하였다. 또한 제안한 핸드오버 절차에 대해 핸드오버 지연시간에 대한 성능검증을 수행하여, 제안한 핸드오버 절차가 PMIPv6 기반의 핸드오버 절차에 비해 성능이 우수함을 입증하였다.

Key Words : PFMIPv6, MIH, Vertical Handover, Fast Handover, Cross-Layer

ABSTRACT

For vertical handover, the part for the homogeneous handover needs to be modified, which allows users to utilize the various wireless access schemes with a mobile terminal with PFMIPv6. In this paper, we considered a cross-layer design for fast vertical handover between MIH and PFMIPv6, where two MIH-layer messages are suggested to reduce handover latency and integrate between MIH and PFMIPv6 efficiently. The proposed scheme is evaluated with handover latency. The results show that the proposed handover procedure reduces handover latency compared with the existing one.

I. 서 론

최근 무선 단말기 사용이 확대되면서 단말기의 이동성이 매우 중요한 이슈가 되고 있으며 이를 지원하기 위해 다양한 기술이 등장하고 있다. IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 이동성 지원을 위한 다양한 기술을 연구하고 있으며, 오랜 시간에 걸쳐 MIPv6(Mobile IPv6)와 PMIPv6 (Proxy MIPv6)의 표준화를 완료하였다. 하지만 MIPv6의 단말 과부하

와 같은 문제점을 해결한 PMIPv6에도 핸드오버 지연 시간 및 패킷 손실과 같은 문제는 여전히 존재한다^[1].

이러한 문제해결을 위해 IETF에서는 이동 단말의 복잡성 및 핸드오버 지연시간 등의 문제를 보완하는 PFMIPv6(Proxy Fast Mobile IPv6)의 표준화를 진행하고 있다. PFMIPv6는 네트워크 기반 핸드오버 기술을 최적화 한 것으로, link-layer 정보를 활용하여 핸드오버 지연시간을 줄이고 버퍼를 통해 패킷 손실의 최소화를 목표로 한다^[2].

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0077424)

* 광운대학교 전자통신공학과 통신프로토콜공학연구실(9329359@naver.com, min@kw.ac.kr), (^o: 교신저자)

** 광운대학교 전자공학과 RF시스템응용연구실(bkkim@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-12-649, 접수일자 : 2010년 12월 31일, 최종논문접수일자 : 2011년 10월 16일

다양한 이동성 관리 기술 발전과 함께 다수의 무선 접속 기술들도 발전해왔다. 무선 접속 기술이 다양해지면서 사용자들은 개인의 선호도에 따라 여러 가지 무선접속 기술을 혼재되어 사용하고자한다. 이러한 요구사항을 충족시키기 위해서는 다중 무선 인터페이스를 가진 단말이 여러 액세스 포인트들 사이를 움직이면서 끊임없는 멀티미디어 서비스를 제공하여야한다. 이와 관련하여 IEEE 802.21 WG(Working Group)에서는 이기종 접속 망 사이의 핸드오버 성능을 향상시키기 위한 MIH(Media Independent Handover) 표준화를 완료하였다^{3,4)}.

MIH는 이동성 관리 프로토콜이 하부 물리 및 링크 계층과 밀접한 연계를 통하여 최적화된 응용서비스를 제공할 수 있도록 해준다. 또한 MIH 기술을 통한 핸드오버 시 이전 네트워크에서 제공받던 서비스를 최대한 만족시켜 사용자가 서비스의 품질 저하를 느끼지 못할 정도의 품질을 보장하는 것을 목표로 삼고 있다. 이를 위해 구조, 서비스 및 프로토콜 절차 등을 규정하고 있다.

사용자의 요구사항을 만족시키기 위한 고속 수직 핸드오버를 제공하기 위해서는 MIH와 PFMIIPv6의 효율적인 연동 방안에 대해 연구가 요구된다. PFMIIPv6는 새롭게 이동한 네트워크에 대한 정보를 핸드오버 이전 네트워크에게 link-layer 메시지를 통해 전송하는데, 이기종 망간 핸드오버에서는 핸드오버 전·후의 인터페이스가 다르기 때문에 표준의 변경을 요구한다. 또한, 다양한 무선 접속기술들이 발전됨에 따라 이동 단말에서 사용하게 될 접속기술이 고정적이지 않기 때문에 MIH의 적용이 요구된다.

PFMIIPv6 기반의 MIH 적용을 위해서는 각 계층 간의 유기적인 데이터 교환을 가능하게 하기 위한 link-layer 및 network-layer의 효율적인 연동방안이 고려되어야 한다. 이러한 cross-layer 설계 방법을 이용한 개발을 위해 본 논문에서는 일부 절차 및 메시지를 수정하여 다양한 인터페이스를 포함한 MN(Mobile Node)이 이기종 망에서 PFMIIPv6 기반의 MIH 수직 핸드오버를 수행하도록 하는 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 2장에 PFMIIPv6와 MIH기술에 대해 설명하고 PMIPv6 기반의 MIH 수직 핸드오버 절차에 대해 설명하였다. 3장에서 제안한 핸드오버 절차에 대해 기술하고 4장에서는 제안한 절차에 대한 성능 분석을 통해 우수성을 입증하였으며 최종적으로 5장에서 결론을 도출하였다.

II. 이동성 관리 기술 및 MIH

2.1 PFMIIPv6

PMIPv6에서는 MIPv6에서 문제점으로 제기되었던 무선링크자원 소모와 단말의 오버헤드를 감소시켰으며, DAD(Duplication Address Detection) 절차를 수행하지 않음으로써 핸드오버 지연시간에 대한 성능을 일부 개선시켰다. 그러나 핸드오버 지연시간이나 패킷 손실은 여전히 개선되어야 할 문제점이며, 이를 해결하기 위해서 PFMIIPv6에 관한 표준화가 진행 중에 있다⁵⁾.

PFMIIPv6에서는 PMIPv6에서 핸드오버 시 발생하는 MAG(Mobile Access Gateway)와 LMA (Local Mobility Anchor)간의 시그널링 절차로 인한 패킷 손실을 방지하기 위해서 핸드오버가 수행되기 전에 Previous MAG과 New MAG 간의 HI(Handover Initiate)와 HAck (Handover Acknowledge) 메시지를 미리 교환하여 양방향 터널을 설정하고 터널링된 패킷을 버퍼에 저장한다. New MAG이 HI/HAck 메시지를 통해 MN-ID(Identifier), LMAA(LMA Address)와 같은 정보를 미리 획득하여 MN의 접속을 감지하면 바로 PBU(Proxy Binding Update)/PBA(Proxy Binding Acknowledgement) 메시지를 전송함으로써 핸드오버 지연시간을 줄일 수 있으며 터널링을 통한 패킷의 손실을 줄일 수 있다^{6,7)}.

2.2 MIH

MIH는 이기종 망 사이의 핸드오버 성능을 향상시키기 위한 기술로써 미디어 전반에 관한 기본적인 표준 설계 및 상위 이동성관리 프로토콜을 위한 link-layer trigger, 미디어에 종속적이지 않은 정보, 정보 전송 방법 등에 대한 사항들을 제정 협의하고 있다. MIH 표준의 궁극적인 목표는 다양한 네트워크 사이에서 링크계층의 지능적 정보 등을 이동성 관리 프로토콜에게 제공하여 미디어에 종속적이지 않은 핸드오버 결정권을 제공하는 것이다. 이를 위해 MIH는 확립화된 정보 제공을 위한 MIHF(MIH Function)와 지역 내 이용 가능한 이웃 망 정보를 제공하는 IS(Information Server)를 정의하고 Event, Command, Information 서비스를 정의하였다.

그림 1은 PMIPv6 기반의 MIH 수직핸드오버 절차이다. 해당 절차는 이동 단말에 의해 핸드오버가 초기화 되는 것으로써 MN은 Previous MAG을 통해 통신을 하던 중 링크의 신호가 약해진 것을 감지하여 IS에게 주변 네트워크의 정보를 요청한다. 주변 네트워크

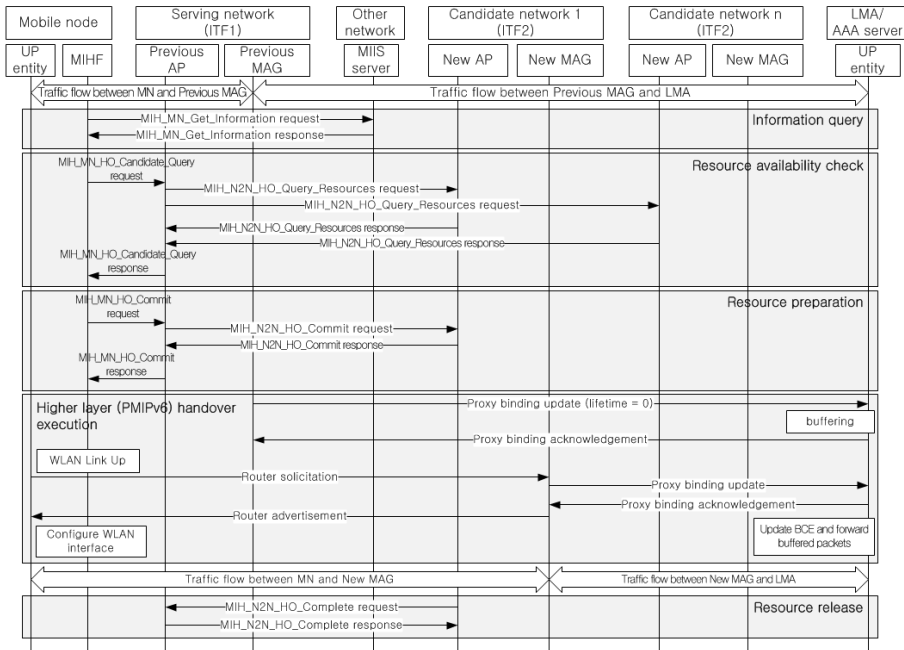


그림 1. 기존의 PMIPv6 기반의 MIH 프레임워크

에 대한 정보를 수신한 MN은 핸드오버 할 타겟 네트워크인 New MAG을 선택하고 이후 핸드오버를 수행한다.

MN의 MIHF는 Previous MAG을 통해 서비스를 제공받다가 단말이 이동하는 등의 이유로 인터페이스의 신호 세기가 약해지면 이 같은 정보를 포함하는 event 메시지를 링크 계층으로부터 받게 된다. 링크의 신호 세기가 약해지면서 곧 핸드오버가 발생하게 된다는 점을 파악한 단말내의 MIHF는 IS에게 MIH_Get_Information request 메시지를 전송함으로써 핸드오버 할 수 있는 주변 망에 대한 정보를 요청한다. 이후, IS는 핸드오버가 가능한 타겟 네트워크들의 정보를 포함한 MIH_Get_Information response 메시지를 전송한다. 이웃 망에 대한 정보를 얻은 MN은 MIH_MN_HO_Candidate_Query request 메시지를 통해 핸드오버가 triggering 되었음을 Previous MAG에게 알린다. 이 메시지를 받은 Previous MAG의 MIHF는 IS로부터 얻은 후보 네트워크에게 이용 가능한 자원을 요청하기 위해 MIH_N2N_HO_Query_Resource request/response를 주고받는다. 이후 요청에 대한 응답은 최종적으로 MIH_MN_HO_Candidate_Query response 메시지를 통해 MN에게 전송되며 이 정보를 토대로 MN은 target 네트워크를 선정한다. 최종적으로 MIH_MN_HO_Commit request 및

MIH_N2N_HO_Commit request 메시지를 통해 target 네트워크의 자원을 요청한다. 이로써 MN은 후보 네트워크로 핸드오버 할 준비를 마치게 된다. 이후 MN의 Previous MAG은 MIH user인 PMIPv6를 통해 lifetime이 0으로 설정된 PBU 메시지를 전송한다.

이 메시지를 받은 LMA는 BCE에서 해당 MN에 대한 항목을 삭제하고 버퍼링을 시작하며 PBA 메시지를 전송한다. 이후, 일반적인 PMIPv6 절차를 통해 핸드오버를 완료하고, 최종적으로 MIH_N2N_HO_Complete request 메시지를 Previous MAG에게 전달함으로써 핸드오버를 마치게 된다.

III. 핸드오버 절차 제안

본 논문에서는 기존 PMIPv6 기반의 MIH를 이용한 수직 핸드오버 지연시간을 감소시키기 위해 PFMPv6와의 MIH 연동방안에 대해 고려한다. 기존 MIH 표준에서 정의한 PMIPv6 핸드오버 절차와 동일한 조건으로 비교하기 위하여 두 조건 모두 이웃한 네트워크의 정보를 IS로부터 받아와 타겟 네트워크를 선택하는 경우를 고려하였다. 따라서 링크 계층의 핸드오버부터 수행하는 PFMPv6의 Reactive mode는 고려하지 않았다.

그림 2는 PFMPv6 기반의 MIH 수직핸드오버를

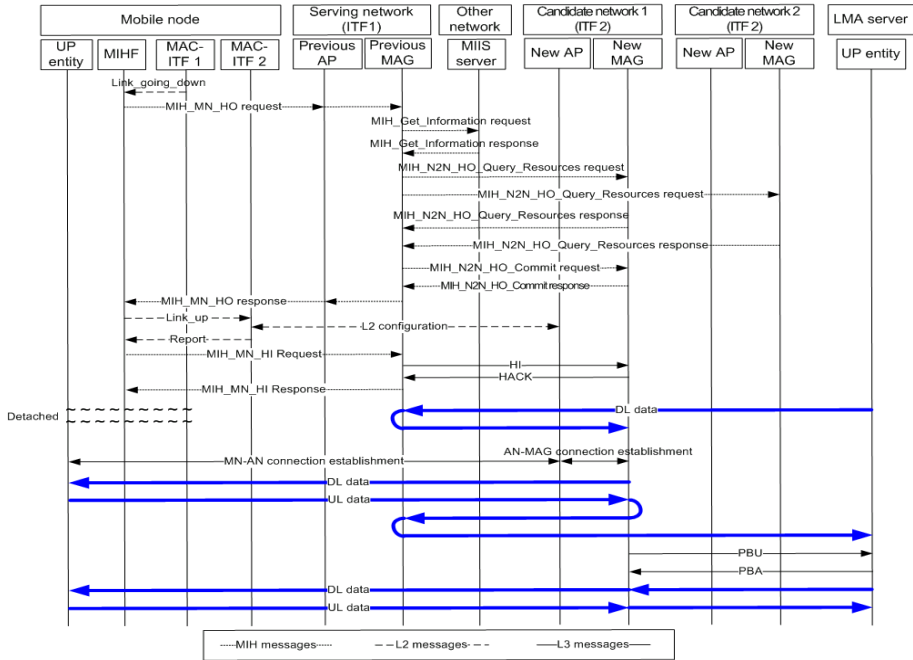


그림 2. 제안한 핸드 오버 절차

수행하는 절차이다. 제안한 절차에서는 MN의 신호가 약해지는 것을 MIHF가 감지하면 MIH_MN_Get Information request 메시지를 IS에게 보내는 대신 핸드오버가 초기화 요청되었음을 알리는 MIH_MN_HO request 메시지를 전송한다. 이때 MIH_MN_HO request 메시지는 새롭게 정의된 메시지로서 필드 값으로는 해당 메시지의 송/수신 entity의 MIHF ID값을 포함한다. 해당 메시지를 받은 Previous MAG은 IS에게 주변 네트워크의 정보를 요청하는 MIH_Get_Information request 메시지를 전송한다. 이후, IS는 MIH_Get_Information response 메시지를 Previous MAG으로 전송한다. 이때, MIH_Get_Information response 메시지는 MN까지 전송되지 않고 MIH_Get_Information request 메시지를 생성한 Previous MAG에게 전송된다. 따라서 제안된 절차에서 MIH_Get_Information request/response 메시지의 source identifier 필드는 MN의 MIHF ID가 아닌 Previous MAG의 MIHF ID가 된다.

이웃 망에 대한 정보를 얻은 Previous MAG은 후보 네트워크에게 이용 가능한 자원을 요청하는 MIH_N2N_HO_Query_Resource request 메시지를 전송한다. 기존의 절차에서는 MIH_MN_HO_Candidate request 메시지에 의해 MN의 핸드오버가 triggering 되었음을 알리는데 반해 제안한 절차에서는 핸드오버

초기에 전송되는 MIH_MN_HO request 메시지를 통해 핸드오버가 triggering 되었음을 알기에 본 절차에서 MIH_MN_HO_Candidate 메시지는 생략되었다.

이후, 각 후보 네트워크의 정보를 포함한 MIH_N2N_HO_Query_Resource response 메시지를 Previous MAG에게 전송한다. 기존 절차에서는 이 메시지가 MN에게 까지 전송되지만 제안한 절차에서는 무선구간의 오버헤드를 줄이기 위해 Previous MAG에게까지만 전송된다. 이 메시지를 받은 Previous MAG은 가장 적절한 타겟 네트워크를 선정하고 해당 네트워크와 MIH_N2N_HO_Commit request/response 메시지를 주고받음으로써 자원을 요청한다. 최종적으로 네트워크 쪽의 핸드오버를 위해 필요한 준비가 완료되었음을 알리는 MIH_MN_HO response 메시지를 MN에게 전송한다.

핸드오버 할 target 네트워크를 선택한 MN은 이용 가능한 인터페이스를 통해 link-layer 설정을 수행한다. 이후, 기존 PFMIPv6의 절차에서는 Report 메시지를 Previous AP(Access Point)으로 바로 전송하지만 수직 핸드오버에서 Report 메시지를 Previous AP으로 전송하기 위해서는 기존 기술에 대해 표준의 변형을 요구한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 링크 계층의 변형 없이 MIH 메시지를 통해 해당 기능을 수행하도록 한다. 즉, Report 메시지를

해당 단말의 MIHF로 전송하고, 이 메시지를 받은 MIHF는 핸드오버가 초기화되었음을 알리는 기존의 link-layer 메시지인 Handover initiation를 대신하여 핸드오버 초기화를 알리는 network-layer 메시지인 MIH_MN_HI request를 Previous MAG으로 전송한다.

이때 새롭게 정의된 PFMIPv6의 handover indication 메시지의 역할을 수행하는 MIH_MN_HI 메시지는 handover indication와 달리 링크 계층이 아닌 네트워크 계층을 통해 전송되며 MIHF 아이디를 통해 Source/Destination Identifier 및 Old/New Link Identifier, Old/New Access Router와 같은 정보들을 구분한다. 기존의 handover indication 메시지 및 handover command와 유사한 기능을 수행 하지만 메시지의 송-수신처가 메시지를 주고받는 entity들의 MIHF가 되므로 네트워크 계층의 메시지 전송을 가능하게 한다. 이로서 무선 접속 기술로 어떠한 정보들이 오더라도 MIHF가 이를 network-layer에게 획일화된 정보로 변환하여 전송하게 되므로 단말의 무선 접속 기술에 따른 시스템 설계에 영향을 미치지 않게 된다.

MIH_MN_HI request 메시지를 받은 Previous MAG은 New MAG에게 MN-ID, LMAA와 같은 정보를 미리 전송하여 핸드오버를 준비하고 버퍼링 하도록 한다. IP 주소 설정과 같은 절차가 끝난 후, New MAG은 전에 받은 메시지에 포함된 LMAA에게 PBU 메시지를 전송하고 이에 대한 응답으로 PBA를 받는다. Link-layer 설정에서 얻게 된 정보를 활용하게 되므로 보다 빠르게 핸드오버 수행을 완료할 수 있게 된다.

IV. 성능 분석

제안한 핸드오버 절차의 성능을 분석하기 위해 그림 3과 같은 토폴로지를 정의하였다. 그림의 시나리오는 MN이 Previous AP를 통해 서비스를 제공 받다가 이동을 함으로써 New AP를 통해 서비스를 제공받게 된 것이다. 그림에서 네트워크 구성 요소들 사이에 정의한 요소는 전송지연시간이며, 각 파라미터에 대한 수치 및 의미는 표 1과 같다⁷⁾. 그림 2와과 그림 3을 토대로 하여 PMIPv6 기반과 PFMIPv6 기반에서의 핸드오버 지연시간에 대해 (1), (2)와 같은 핸드오버 지연시간 수식을 도출하였다. HL_{PMIP} , HL_{PFMIP} 은 각각 기존 PMIPv6 기반의 수직핸드오버와 제안한 수직핸드오버 지연시간을 나타낸다.

제안한 핸드오버 절차의 경우, 타겟 네트워크 선정

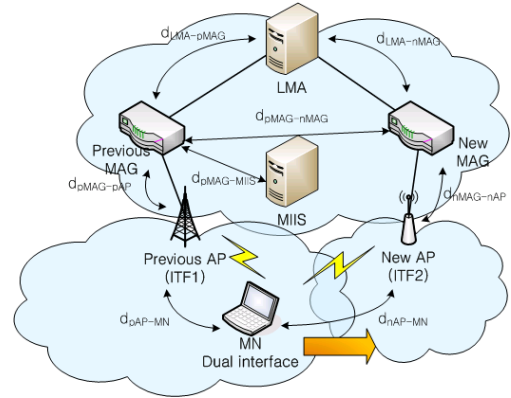


그림 3. 파라미터 정의

을 MN이 아닌 Previous MAG이 수행한다. 이는 IS로부터 받게 되는 정보를 MN에게 까지 전송할 필요가 없게 되므로 무선 구간에서의 시그널링 패킷이 감소하게 된다. 또한 링크 계층의 신호를 핸드오버에 활용하게 되므로 기존 PMIPv6보다 핸드오버 지연시간이 감소한다.

$$HL_{PMIP} = 6d_{pAP-MN} + 4d_{pMAG-pAP} + 4d_{LMA-pMAG} + 2d_{MAG-MIIS} + 6d_{pMAG-nMAG} + 2d_{nAP-MN} + 2d_{nMAG-nAP} + 2d_{LMA-nMAG} \quad (1)$$

$$HL_{PFMIP} = 4d_{pAP-MN} + 4d_{pMAG-pAP} + 2d_{LMA-pMAG} + 2d_{MAG-MIIS} + 6d_{pMAG-nMAG} + 2d_{nAP-MN} + 2d_{nMAG-nAP} + 2d_{LMA-nMAG} \quad (2)$$

표 1. 전송 지연 파라미터

Element	Description	Value
d_{pAP-MN}	The handover delay between the previous AP and the MN	10ms
$d_{pMAG-pAP}$	The handover delay between the previous MAG and the previous AP	2ms
$d_{LMA-pMAG}$	The handover delay between the LMA and the previous MAG	10ms
$d_{LMA-nMAG}$	The handover delay between the LMA and the new MAG	10ms
$d_{nMAG-nAP}$	The handover delay between the new MAG and the new AP	2ms
d_{nAP-MN}	The handover delay between the new AP and the MN	10ms
$d_{pMAG-nMAG}$	The handover delay between the previous MAG and the new MAG	10ms
$d_{MAG-MIIS}$	The handover delay between the MAG and the MIIS	3 ms

그림 4와 5는 PMIPv6 기반의 수직핸드오버와 제한한 핸드오버의 핸드오버 지연시간을 비교한 그래프이다. 표 1을 토대로 무선구간과 LMA-MAG 사이의 전송지연 시간을 10ms 기준으로 하였을 때, 기존 핸드오버와 제한한 핸드오버는 각각 218ms, 178ms이다. 결과적으로 40ms 정도 감소하는 것을 확인할 수 있다. 무선구간의 전송 지연시간이나 LMA-MAG 사이에 차이는 존재하지만 전송 지연시간이 증가할수록 기존 핸드오버와 제한한 핸드오버 사이의 간격이 넓어지는 것을 확인할 수 있는데, 이를 통해 전과 간섭이나 트래픽량 등과 같은 이유로 전송 지연시간이 증가하는 경우 제한한 핸드오버 절차가 더 효과적이라는 것을 알 수 있다.

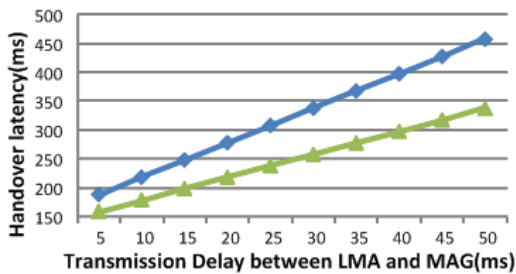


그림 4. LMA와 MAG 사이의 전송 지연시간에 따른 핸드오버 지연시간

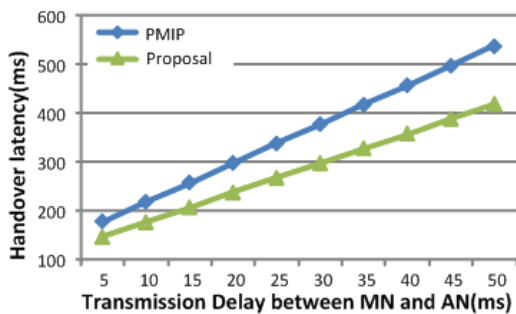


그림 5. MN과 AN 사이의 전송 지연시간에 따른 핸드오버 지연시간

V. 결 론

최근 IP 기반의 이동성을 활용한 서비스에 대한 요구사항이 증가되어왔다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위해 MIPv6, PMIPv6와 같은 이동성 관리 기술들에 대한 표준들도 함께 완료되어왔다. 이동성 관리 기술의 발전과 더불어 다양한 인터페이스 간 수직핸드

오버를 가능하게 하는 MIH에 대한 표준도 기존의 이동성 관리 기술들과 연계되어 함께 진행되었다. 이와 관련하여 MIH 표준에서는 PMIPv6 기반의 수직 핸드오버 절차에 대하여 제안하였다. 하지만 핸드오버 지연시간에 대한 문제는 여전히 존재하였다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 PFMIPv6 기반의 효율적인 MIH 수직 핸드오버 절차를 제안하였다. 이를 위해 기존의 Handover initiation 메시지의 역할을 수행하는 MIH_MN_HI request/response 메시지를 새롭게 정의하였고, IS를 통해 타겟 네트워크에 대한 정보를 얻어 오는 절차를 간소화 하였다. 또한, Link-layer 핸드오버 정보를 바탕으로 핸드오버를 수행하고 MIH 메시지를 최적화함으로써 PMIPv6 기반의 MIH 수직 핸드오버에 비해 $2d_{PAN-MN} + 2d_{LMA-MAG}$ 만큼의 핸드오버 지연시간을 간소화 할 수 있었다. 이러한 성능 개선 효과는 성능 분석을 통하여 제시되었으며, 성능 분석 결과에 의해 제안한 방안이 기존의 핸드오버 방안에 비해 핸드오버 지연시간 측면에서 성능 개선 효과를 지녔음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 박종원, 민상원, 김복기, "ITS 사업자의 Proxy MIPv6 서비스 제공 방안 연구," 한국 ITS 학회 추계학술대회, 2007년. 11월.
- [2] H. Yokota, K. Chowdhury, R. Koodli, B. Patil, and F. Xia, "Fast Handover for Proxy Mobile IPv6," IETF draft-ietf-mipshop-pfmipv6-14.txt, May 2010.
- [3] 김원태, 강은현, 박용진, "MIH 기반의 효율적인 모바일 멀티캐스트 핸드오버기법," 전자공학회 논문지 제46권 제6호, 2009년. 6월.
- [4] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, B. Patil, "Proxy Mobile IPv6," IETF RFC 5213, August 2008.
- [5] V. Gupta, M. Williams, A. Chan, X. Liu, and D. Cypher, "IEEE 802.21 Media Independent Handover Services," IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 21, January 2009.
- [6] G. Y. Choi, B. K. Kim, and S. W. Min, "A Novel MIH Handover Procedure for Efficient PMIPv6 Network," International Conference on ICT Convergence 2010, November 2010.

[7] K. S. Kong, W. J. Lee, Y. H. Han, M. K. Shing, and H. R. You, "Mobility Management for All-IP Mobile Networks: Mobile IPv6 vs. Proxy Mobile IPv6", IEEE wireless communications, Vol.15, No.2, pp.36-45, April 2008.

김복기 (Bok-ki Kim)

종신회원



1988년 2월 광운대학교 전자공학과 학사
1991년 5월 Univ of Texas at Austin 전자공학과 석사
1997년 12월 Univ of Texas at Austin 전자공학과 박사
1998년~현재 광운대학교 전자공학과 교수

<관심분야> RF시스템, RFIC, 공학교육

최고야 (Go-ya Choi)

정회원



2009년 2월 광운대학교 전자통신공학과 학사
2011년 2월 광운대학교 전자통신공학과 석사
2011년~현재 LG전자 MC사업부 근무
<관심분야> IMS, VoIP, MIH

민상원 (Sang-won Min)

정회원



1988년 2월 광운대학교 전자통신공학과 학사
1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1996년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1990년~1999년 LG 정보통신선임연구원

1999년~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수

<관심분야> 유무선통신망, IMS, 미래인터넷기술, 차세대통신망, 공학교육