JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 19, No. 1 : 97~105 Jan. 2015

PMIPv6기반의 분산 이동성 관리 방식의 성능 평가에 관한 연구

위성홍[1] · 장재신[2*]

A Study for Performance Evaluation of Distributed Mobility Management based on Proxy Mobile IPv6

Sunghong Wie[1] · Jaeshin Jang[2*]

[1]Dept. of Electricity and Electronic Engineering, The Cyber University of Korea, Seoul 110-800, Korea
[2*]Dept. of Information and Communications Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

요 약

최근에 인터넷 트래픽이 급증하면서, 이동성 관리에 대한 프레임웍의 제약사항이 부각되고 있다. 현재의 중앙집중형 이동성 관리 방식은 최적화되지 않은 경로, 낮은 확장성, 시그널링 오버헤드, 그리고 SOF발생 가능성 등의 문제점과 제약사항에 취약하다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 IETF는 분산 이동성 관리 방식을 연구하고 있으며, 이 방식은 중앙에 집중된 이동성 기능을 액세스 라우터같은 네트워크 경계쪽으로 분산시키고 있다. 이동성 기능을 분산시킴으로서 중앙집중형 이동성 관리 기법의 제약사항을 극복하기도 하고, 더욱 간단한 네트워크와 같은 flat network 경향과도 어울린다. 본 논문에서는 Proxy Mobile IPv6 기반에서 분산 이동성 관리 방식의 성능을 분석하고 성능상의 우월성을 보여준다.

ABSTRACT

Recently, due to an explosive growth of the internet traffic, the limitations of a current framework for a mobility management have been focused. The current centralized mobility management is prone to several problems and limitations: suboptimal routing, low scalability, signaling overhead, and a single point of failure. To overcome these problems and limitations, IETF is working about the distributed mobility management scheme that the centralized mobility functions of HA(Home Agents) are distributed to networks edges such as access routers. These distributions of mobility functions overcome the limitations of the centralized mobility managements and go with the trend of flat networks e.g. more simple network architecture. This paper analyzes the distributed mobility management based on Proxy Mobile IPv6 and demonstrates the performance superiority.

키워드 : 분산 이동성 관리, 성능 분석, 성능 평가

Key word : DMM, Distributed Mobility Management, Performance Analysis, Performance Evaluation

접수일자 : 2014. 10. 01 심사완료일자 : 2014. 10. 24 게재확정일자 : 2014. 11. 07

* **Corresponding Author** Jaeshin Jang(E-mail:icjoseph@inje.ac.kr, Tel:+82-55-320-3520)
Department of Information and Communications Engineering, Inje University, 197 Inje-ro, Gimhae 621-749, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.1.97 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 인터넷 트래픽은 엄청난 증가세를 보이고 있는데, 특히 스마트폰의 등장이후 모바일 트래픽의 증가량은 인터넷 서비스 사업자들에게 많은 고민거리를 안겨주고 있다. CISCO에서 발표한 자료[1]에 의하면 모바일 트래픽 양이 급격하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 2013년 말에는 전 세계의 모바일 인터넷 트래픽은 월 1.5 exabytes를 넘고 있으며 이것은 전체 데이터 트래픽의 81%를 차지하고 있다. 그리고 전 세계 휴대폰의 27%에 불과한 스마트폰이 전 세계 모바일 인터넷 트래픽의 95%를 차지하고 있으며 이 중에서 모바일 비디오 트래픽이 50%를 넘어서고 있다. 스마트폰을 통한 모바일 트래픽의 증가와 비디오트래픽의 강세는 시간이 갈수록 강해질 것이라고 예측된다. 이러한 모바일 인터넷 트래픽의 급증 문제를 해결하기 위해서 기술적으로 더 많은 데이터 트래픽을 처리하기 위한 방안을 논의하기도 하지만 모바일 인터넷 트래픽을 유선 네트워크로 유입시키기 위한 여러 가지 오프로딩 기법을 연구하고 있으며, 2013년에는 전체 모바일 인터넷 트래픽의 45%에 해당하는 트래픽이 WiFi나 Femtocell과 같은 다른 무선 네트워크로 오프로딩 되었다.

한편 IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 이동성 관리 기법에 대해서 많은 연구를 진행되고 있으며, 특히 DMM(Distributed Mobility Management) 워킹그룹에서는 기존의 이동성 관리 기법의 큰 변화를 유도하고 있다. 기존의 이동성 관리 기법에서는 HA(Home Agent)나 LMA(Local Mobility Anchor)와 같이 트래픽이 집중되는 장치가 정의되어 있어서 이것을 CMM (Centralized Mobility Management) 방식이라고 부르고 있다. 그런데, CMM기법은 계층적이면서 중앙 집중적인 구조로 인하여 확장성과 신뢰성에 문제가 발생할 수 있으며, 트래픽이 HA 또는 LMA로 집중되어 데이터 전달 경로가 비효율적이고 시스템 성능이 HA/LMA장치의 성능에 의존하는 문제점을 갖고 있다. 그러나 DMM 기법은 트래픽이 집중되어 있는 장치의 기능을 사용자와 가까이에 위치한 액세스 라우터로 이동시킴으로서 문제를 해결하고 있다. 또한 분산 구조에서는 확장성과 신뢰성 증가와 더불어 더 많은 데이터 트래픽을 처리할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 모바일 인터넷 트래픽이 폭증함에 따라서 local CDN(Content Delivery Network)을 도입하는 방안도 있지만 결국 CMM기법과 결합할 경우 비효율적인 방식이 될수 밖에 없다. 이런 경우에도 이동성 기능을 액세스 라우터로 옮겨놓은 DMM기법은 좋은 해결 방안이 될 수 있다.

본 논문에서는 PMIPv6를 지원하는 CMM방식과 DMM방식에 대해서 성능을 분석하고 평가한다. II장에서 현재까지의 관련 연구에 대해서 알아보고 III장에서 성능을 분석한다. IV장에서 CMM과 DMM에 대한 성능 평가를 수행하고 V장에서 결론을 기술한다.

Ⅱ. 관련 연구

MIPv6는 복잡한 메시지 교환 동작을 필요하기 때문에 제한된 하드웨어 자원으로 동작하는 이동 단말기에는 탑재되지 않고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 IETF에서는 단말기에 이동성 지원 기능을 탑재하지 않고, 오로지 네트워크 장비들을 이용해서 이동성을 지원하는 PMIPv6에 대한 표준화를 진행하였다[2]. PMIPv6에서는 기존의 HA(Home Agent)와 유사한 역할을 수행하는 LMA(Local Mobility Agent)와 단말기를 대신하여 이동성 지원 기능을 수행하는 MAG(Mobile Access Gateway)로 구성된다. 그림 1과 같이 MAG는 단말기의 이동을 감지하여 LMA로 바인딩 등록을 수행하고 LMA와 터널을 구성한다. 또한 LMA는 단말기가 이동할 때에 어느 MAG 영역으로 이동하였는지를 관리하고 이에 대한 정보를 바인딩 캐시로 관리하며 MAG와의 터널을 유지한다.

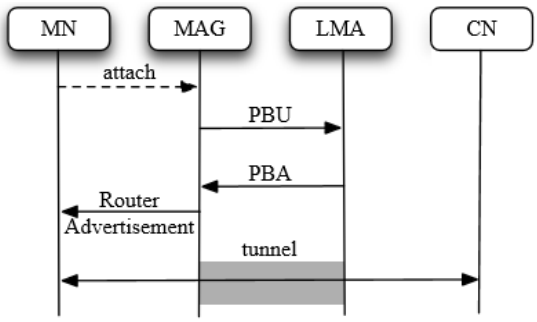

그림 1. PMIPv6 절차
Fig. 1 PMIPv6 procedure

[3]의 분석결과에 따르면 PMIPv6와 같은 네트워크 기반의 이동성 지원 프로토콜은 이동 단말기에 관련 프로토콜을 탑재할 필요가 없고, 무선구간에서 터널링을 사용하지 않기 때문에 무선자원의 낭비를 최소화할 수 있다. 그리고 핸드오버가 발생하는 경우에 시간이 다소 많이 걸리는 DAD(Duplicate Address Detection) 작업이 필요하지 않기 때문에 핸드오버 지연시간이 감소되는 장점을 보인다. 한편, IETF DMM 워킹그룹에서는 분산 이동성 관리(DMM, Distributed Mobility Management) 기법에 대한 권고안을 작성하고 있다. 기존의 Mobile IPv6(RFC6275, 5555), Proxy Mobile IPv6(RFC5213, 5844), NEMO(RFC3963)에 기반을 둔 여러 가지 솔루션이 논의되고 있다. 기존의 CMM이 갖고 있는 문제점들을 효과적으로 해결하기 위해서 앵커를 좀 더 사용자와 가까운 위치의 네트워크 장치로 이동시키는 "모바일 앵커의 분산"을 시도하고 있다. DMM기법은 HA나 LMA와 같은 중앙 집중 장치를 제거하고 AR(Access Router)이라는 액세스 라우터에 모든 이동성 기능을 추가한다. 이를 통하여 CMM기법의 계층적인 네트워크 구조에서 벗어나서 평평한 네트워크(Flat Network)구조로 전환할 수 있게 되며, 이것은 CDN서비스와 같이 특정 기능이 사용자와 위치적으로 가까워지는 경향에도 부합한다. 이러한 CMM(Centralized Mobility Management) 방식과 DMM(Distributed Mobility Management)방식의 특징과 장단점에 대해서는 [4, 5]에서 상세하게 기술하고 있다.

여러 가지 DMM방식들이 IETF 초안문서를 통해 제안되었다. DMM방식에 있어서도 기존의 CMIPv6기반의 방안을 제안하는 IETF 초안문서도 있고, 혹은 PMIPv6기반의 방안을 제안하는 초안문서도 있다. [6]은 PMIPv6를 기반으로 하며 트래픽 영역만 분산시키는 방안을 제안하였는데, MAAR(Mobility Anchor and Access Router)라는 액세스 라우터가 트래픽 영역의 기능 분산을 담당하여 사용자 트래픽을 처리하고, 핸드오버 발생 시 앵커기능을 수행하여 다른 MAAR로 터널링함으로써 트래픽을 전달하도록 하였다. 그 외에도 MAAR는 글로벌 프리픽스(global prefix)를 관리하여 단말기에게 주소 값을 할당할 수 있다. 시그널링 영역은 CMD(Central Mobility Database)라는 중앙 집중형 데이터베이스를 정의한다. CMD는 단말기에 할당한 HNP(Home Network Prefix)와 이동성 관련 정보를 저장한다. 따라서 단말기가 이동하면서 접속한 MAAR는 CMD에 접속하여 단말에 대한 정보와 앵커 정보를 획득하여 처리한다.

그림 2는 단말기가 이동시 수행하는 절차를 보여주고 있다. 단말기가 이미 pMAAR1과 pMAAR2에 접속하고 IP주소를 할당받아서 사용하는 있는 상태에서 새로운 지역으로 이동하여 nMAAR와 연결하는 상황이다. 단말기의 연결을 감지한 nMAAR는 CMD를 통하여 단말기에게 IP주소를 할당해준 앵커 MAAR에 대한 정보를 획득한다. 단말기의 상황에 따라서 앵커 MAAR는 여러 개일 수 있으며 그림 2에서는 pMAAR1과 pMAAR2가 모두 앵커 MAAR인 상황을 보여주고 있다. [6]은 CMD의 역할에 따라서 3가지 시나리오를 보여주고 있으나 본 논문에서는 CMD를 릴레이 노드(relay node)로 정의하여 CMD가 여러 개의 앵커 MAAR와의 메시지 교환을 책임진다. CMD는 앵커 MAAR에게 기존의 PBU(Proxy Binding Update)메시지 내용 외에 S-MAAR option (Serving MAAR option으로 S-MAAR의 주소 값을 포함)을 포함하여 PBU* 메시지를 전달한다. 한편, 앵커 MAAR들은 기존의 PBA (Proxy Binding Acknowledgement)메시지 형식 외에 P-MAAR option(Previous MAAR option으로 HNP와 P-MAAR의 주소 값을 포함)을 포함한 PBA*메시지를 CMD에게 전달한다. CMD는 여러 앵커 MAAR로부터 PBA*를 모두 수신한 이후에 필요한 내용이 모두 통합된 메시지의 형태로 변형된 PBA**메시지를 nMAAR에게 전달한다. 본 논문에서는 [6]에서 제안하는 방식을 사용하는 것으로 가정하고 시스템의 성능을 비교 분석한다.

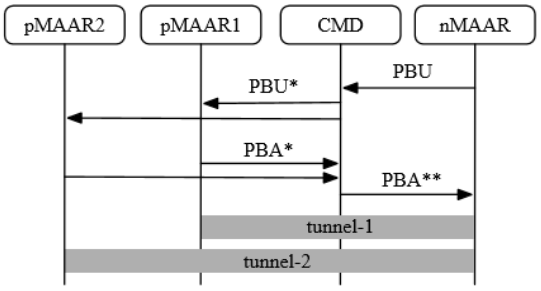

그림 2. DMM방식의 PMIPv6 절차
Fig. 2 PMIPv6 procedure for DMM

Ⅲ. 시스템 모델과 성능 분석

이번 장에서는 CMM방식과 DMM방식에서의 PMIPv6의 성능을 분석한다. 성능 분석을 위해서 [7]에서 사용한 프로토콜 비용을 도입한다. MIPv6 관련 프로토콜의 총 비용은 수식 (1)과 같이 시그널링 비용과 패킷 전송 비용의 합산으로 계산될 수 있다.

$$C_T = C_{BU} + C_{PD} \ . \tag{1}$$

시그널링 비용은 바인딩 업데이트를 수행하는 비용으로서 단말기가 이동하여 다른 MAG 혹은 다른 MAAR영역으로 이동하였을 때에 PBU/PBA 메시지를 교환하기 위한 신호 비용이다. 패킷 전달 비용은 CN에서 MN까지 패킷을 전달할 때에 필요한 트래픽 오버헤드 비용이다. 시그널링 비용과 패킷 전달 비용은 패킷의 길이와 경로 길이(hop distance)의 곱셈으로 얻어낼 수 있으며, 추가적으로 네트워크 장치(예를 들어서 MAG/MAAR, LMA/CMD, 라우터 등)에서의 패킷 처리 비용을 합산할 수 있다.

3.1. 시스템 모델

CMM방식과 DMM방식을 비교하기 위해서 MAG영역의 크기와 MAAR영역의 크기는 A로서 모두 동일한 면적을 갖고 있다고 가정한다. 또한 성능 분석을 위해서 그림 3과 같은 네트워크 토폴로지를 가정한다. 토폴로지에서 d_{X-Y}는 장치 X로부터 장치 Y까지의 홉수를 의미한다. 분석의 용이성을 위해서 d_{X-Y}와 d_{Y-X}는 동일하다고 가정한다.

또한, 단말기의 이동성을 반영하여 다음과 같은 이동성 모델과 트래픽 모델을 사용한다. 단말기(MN)에는 λ_s의 비율을 가진 포아송 분포로 세션이 생성되고, 하나의 영역에 머무는 시간은 평균 $1/\mu_s$인 지수 분포를 갖는다고 가정한다. 즉, 핸드오버가 발생하는 비율은 μ_s이다. 이때 μ_s의 값은 [8]에 의해서 단말기의 평균속도를 v라고 할 때에 다음과 같이 계산된다.

$$\mu_s = 2v / \sqrt{\pi \cdot A} \ . \tag{2}$$

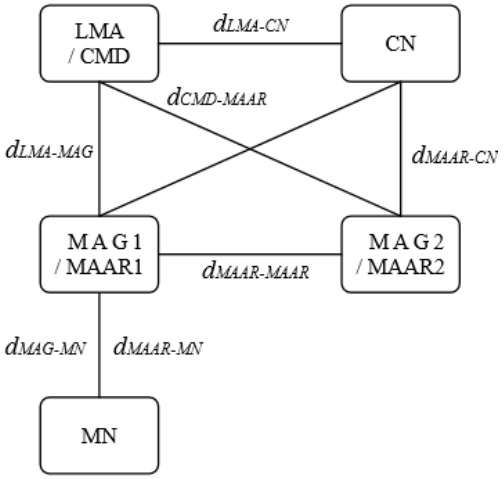

그림 3. 네트워크 토폴로지
Fig. 3 Network Topology

하나의 세션이 유지되는 동안에 핸드오버의 평균 발생 횟수 $E(N_s)$는 다음과 같이 쉽게 계산할 수 있다[9].

$$E(N_s) = \mu_s / \lambda_s . \tag{3}$$

3.2. CMM방식의 PMIPv6 성능 분석

CMM방식의 성능 분석을 위하여 표 1과 같은 기호와 적정 값을 정의한다.

표 1. CMM 성능분석을 위한 파라미터
Table. 1 Parameters for CMM performance analysis

기호	설명
τ	IPv6 터널링을 위한 헤더 크기, 40바이트
α	유선망에서의 패킷 전달 비용, 1
β	무선망에서의 패킷 전달 비용, 1.5
L_{PBU}	PBU메시지 크기, 76바이트
L_{PBA}	PBA메시지 크기, 76바이트
PC_R	라우터에서 패킷 프로세싱 비용, 8
PC_{MAG}	MAG에서 패킷 프로세싱 비용, 12
PC_{LMA}	LMA에서 패킷 프로세싱 비용, 24
d_{MAG-MN}	MAG와 MN간의 홉수, 1 hop
$d_{LMA-MAG}$	LMA와 MAG간의 홉수, 10 hops
d_{LMA-CN}	LMA와 CN간의 홉수, 10 hops

표 1에서 정의한 여러 가지 파라미터들 중에서 장치간의 홉수를 나타내는 3개의 파라미터(d_{MAG-MN}, $d_{LMA-MAG}$, d_{LMA-CN})는 통신 사업자가 관리하는 네트워크의 규모와 구성 형상에 따라서 실제 값이 달라진다. 본 논문에서는 CMM방식과 유사한 규모의 DMM방식을 비교하기 위해서 홉수와 관련된 파라미터 값을 선정하였으며 이를 위하여 DMM관련 파라미터 선정 시에 표 1의 CMM 파라미터와 유사하게 설정하였다.

먼저, 시그널링 비용을 고려해보면 PBU메시지 전달에 필요한 비용과 PBA메시지 전달에 필요한 비용으로 구분할 수 있다. [7]에서의 접근방법을 사용하여 PBU/PBA메시지에 대한 시그널링 비용 값을 계산해보면 다음의 식 (4)~(6)와 같다. MAG에서 LMA까지의 PBU메시지를 전달하고 이에 대한 응답으로 LMA에서 MAG까지 PBA메시지를 전달하는 비용이 고려되어 있다.

$$C_{PBU}^{CMM} = \alpha \cdot (d_{MAG-LMA} \cdot L_{PBU}) + (d_{MAG-LMA} - 1) \cdot PC_R + PC_{LMA}. \quad (4)$$

$$C_{PBA}^{CMM} = \alpha \cdot (d_{LMA-MAG} \cdot L_{PBA}) + (d_{LMA-MAG} - 1) \cdot PC_R + PC_{MAG}. \quad (5)$$

$$C_{BU}^{CMM} = E(N_s) \cdot (C_{PBU}^{CMM} + C_{PBA}^{CMM}). \quad (6)$$

한편, 패킷 전달 비용을 계산하기 위하여 단말에서 전송한 패킷이 MAG를 거쳐서 LMA에 도달하고 이후에 CN까지 전달되는 비용을 포함하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{PD}^{CMM} = [& \beta \cdot (E(S) \cdot L_p) d_{MN-MAG} + PC_{MAG} \\ & + \alpha \cdot (E(S) \cdot (\tau + L_p)) \cdot d_{MAG-LMA} \\ & + ((d_{MAG-LMA} - 1) \cdot PC_R) + PC_{LMA} \\ & + \alpha \cdot (E(S) \cdot L_p) \cdot d_{LMA-CN} \\ & + ((d_{LMA-CN} - 1) \cdot PC_R)] \times \lambda_s. \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)에서 정리한 시그널링 비용과 트래픽 비용을 합산한 총비용 값을 계산하면 다음과 같다.

$$C_T^{CMM} = C_{BU}^{CMM} + C_{PD}^{CMM}. \quad (8)$$

3.3. DMM방식의 PMIPv6 성능 분석

DMM방식에 대한 성능 분석을 수행하기 이전에 표 2와 같이 각종 파라미터에 대한 기호와 적정 값을 추가적으로 정의한다.

표 2. DMM 성능분석을 위한 추가 파라미터
Table. 2 Additional parameters for DMM performance analysis

기호	설명
K_s	앵커 MAAR의 개수, 3
L_{PBU^*}	PBU*메시지 크기, (76+20)바이트 [6]
L_{PBA^*}	PBA*메시지 크기, (76+36)바이트 [6]
$L_{PBA^{**}}$	PBA**메시지 크기, $(76+(36 \cdot K_s))$바이트 [6]
PC_{MAAR}	MAAR에서 패킷 프로세싱 비용, 12
PC_{CMD}	CMD에서 패킷 프로세싱 비용, 24
$d_{MAAR-MN}$	MAAR와 MN간의 홉수, 1 hop
$d_{CMD-MAAR}$	CMD와 MAAR간의 홉수, 10 hops
$d_{MAAR-CN}$	MAAR와 CN간의 홉수, 10 hops
$d_{MAAR-MAAR}$	MAAR와 MAAR간의 홉수, 3 hops

장치간의 거리는 CMM방식과 유사한 규모의 네트워크를 비교하기 위하여 $d_{CMD-MAAR}$값과 CMM방식의 $d_{LMA-MAG}$값을 동일하게 가정하였으며, $d_{MAAR-CN}$값과 d_{LMA-CN}값을 동일하게 가정하였다. 엑세스 라우터간의 거리를 나타내는 $d_{MAAR-MAAR}$은 CMM방식에서는 고려하지 않은 파라미터이지만 엑세스 라우터간의 홉수이기 때문에 $d_{MAAR-CN}$보다는 충분히 작은 값인 3hop으로 가정하였다. 그리고, CMM방식과 DMM방식의 성능을 비교할 때에 $d_{MAAR-MAAR}$값을 변화시키면서 CMM과 DMM간의 성능 차이가 어떠한 변화를 일으키는지를 비교하였다. 특히, 다음의 식과 같이 W_{sf}라는 네트워크 스케일 팩터를 정의하여 CMM과 DMM의 성능을 비교한다.

$$W_{sf} = d_{MAAR-MAAR} / d_{CMD-MAAR}. \quad (9)$$

일반적으로 $d_{CMD-MAAR}$값이 $d_{MAAR-MAAR}$보다 클 것이라고 예상 가능하므로 W_{sf}값은 1보다 작은 범위의 값을 보일 것이다. W_{sf} 값이 작을수록 MAAR간의 터널링 비용이 감소하여 DMM방식의 효과가 더욱 커질 것이라고 예상할 수 있다.

DMM방식에서는 여러 개의 MAAR가 앵커역할을 수행한다. 단말기는 앵커 MAAR의 개수인 K_s개의 IP 세션을 유지하고 있으며, 그 상태에서 다른 영역으로 이동하면서 서비스 받는 상황이라고 가정한다. 그리고 새로운 영역으로 이동한 경우 새로운 IP세션을 생성하지는 않는다고 가정한다. 그러면, 단말기가 이동하여 연결하는 1개의 nMAAR와 K_s개의 pMAAR간에 터널 연결이 필요하며 CMD를 경유하는 시그널링 비용은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{PBU}^{DMM} &= \alpha(d_{MAAR-CMD} \cdot L_{PBU}) \\ &+ (d_{MAAR-CMD}-1)PC_R + PC_{CMD} \\ &+ K_s \cdot C_{PBU^*} \\ C_{PBU^*} &= \alpha(d_{CMD-MAAR} \cdot L_{PBU^*}) \\ &+ (d_{CMD-MAAR}-1)PC_R + PC_{MAAR} \end{aligned} \tag{10}$$

PBA메시지 전달에 필요한 계산과정은 PBU메시지에 대한 계산과정과 유사하다. 다만, 메시지 전달 방향이 PBU와 차이가 있고, 전달하는 메시지의 종류가 다를 뿐이다.

$$\begin{aligned} C_{PBA}^{DMM} &= K_s \cdot C_{PBA^*} \\ &+ \alpha(d_{CMD-MAAR} \cdot L_{PBA^{**}}) \\ &+ (d_{CMD-MAAR}-1)PC_R + PC_{MAAR} \\ C_{PBA^*} &= \alpha(d_{MAAR-CMD} \cdot L_{PBA^*}) \\ &+ (d_{MAAR-CMD}-1)PC_R + PC_{CMD} \end{aligned} \tag{11}$$

$$C_{BU}^{DMM} = E(N_s) \cdot (C_{PBU}^{DMM} + C_{PBA}^{DMM}). \tag{12}$$

마찬가지로 DMM기반의 PMIPv6에서 패킷 전달 비용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{PD} = &[\beta(E(S) \cdot L_p)d_{MN-MAAR} + PC_{MAAR} \\ &+ \alpha(E(S) \cdot (\tau + L_p))d_{MAAR-MAAR} \\ &+ \alpha(E(S) \cdot L_p) \cdot d_{MAAR-CN} \\ &+ ((d_{MAAR-CN}-1) \cdot PC_R)] \times \lambda_s. \end{aligned} \tag{13}$$

식 (12)와 식 (13)을 합산하면 DMM방식의 총 비용을 얻을 수 있다.

$$C_T^{DMM} = C_{BU}^{DMM} + C_{PD}^{DMM} \tag{14}$$

Ⅳ. 성능 평가

이번 장에서는 단말기의 이동속도, 세션발생률, 앵커 MAAR개수, SMR(Session to Mobility Ratio) 등에 따라서 CMM기반의 PMIPv6와 DMM기반의 PMIPv6의 성능을 비교 평가한다. 성능 평가에 앞서서 [7]을 참고하여 다음과 같이 성능 평가에 대한 환경 파라미터를 가정한다.

- $A \approx 31415m^2$, 반지름 100m인 셀의 면적
- $E(S) = 45$, 세션당 패킷의 평균 개수
- $L_p = 100$, 패킷의 평균 바이트 길이
- $v = 10(m/s)$, 단말기의 이동속도
- $\lambda_s = 0.3$, 세션 발생률

그림 4는 단말기(MN, Mobile Node)가 이동속도에 따른 CMM방식과 DMM방식의 시그널링 비용을 보여주고 있다. DMM방식은 앵커 MAAR의 개수가 1, 2, 3인 경우에 대해서 구분하여 보여주고 있는데, 어떠한 경우에도 CMM방식보다 많은 시그널링 비용이 소요된다. 본 논문에서는 LMA/MAG간의 홉수와 CMD/MAAR간의 홉수를 동일하게 가정하고 분석하였기 때문에 여러 개의 MAAR와 메시지 교환이 필요한 DMM방식이 더 많은 시그널링 비용이 필요할 수밖에 없다. 그리고 DMM방식에서도 앵커 MAAR의 개수에 비례

해서 시그널링 비용이 증가함을 알 수 있다. 그림 5는 단말기의 이동속도를 10 (m/s)로 가정하고 앵커 MAAR의 개수에 따른 시그널링 비용의 변화를 보여준다. CMM은 앵커 MAAR개수와 무관하기 때문에 일정한 비용값을 보여주는 반면에 DMM은 앵커 MAAR개수의 변화에 따라서 시그널링 비용이 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

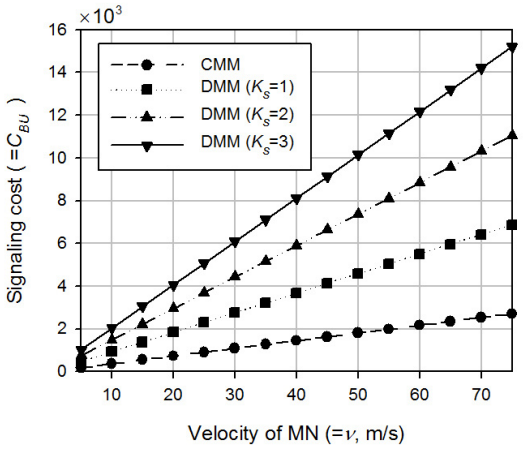

그림 4. 단말기 속도에 따른 시그널링 비용
Fig. 4 Signaling cost according to the velocity of MN

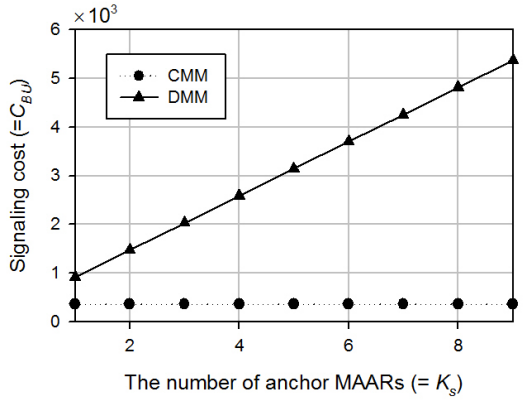

그림 5. MAAR개수에 따른 시그널링 비용
Fig. 5 Signaling cost according to the number of anchor MAARs

그림 6은 세션발생률의 변화에 따른 패킷 전달 비용의 차이를 보여주고 있다. DMM방식은 트래픽 전달 경로를 액세스 라우터인 MAAR에게 분산시켰기 때문에 CMM방식보다 경로 최적화가 수행된 상태이다. 즉, LMA/MAG간의 홉수보다 MAAR/MAAR간의 홉수가 작기 때문에 CMM방식에 비교해서 DMM방식의 패킷 전달 비용이 작게 평가된다.

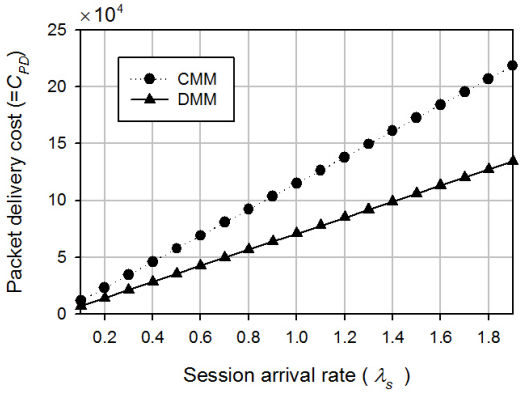

그림 6. 패킷발생율에 따른 패킷 전달 비용
Fig. 6 Packet delivery cost according to the session arrival rate

LMA/MAG간 홉수와 MAAR/MAAR간 홉수의 비율인 네트워크 스케일 팩터(W_{sf})에 따른 패킷 전달 비용이 그림 7에서 나타나 있다. 네트워크 스케일 펙터가 작을수록 MAAR간의 터널링 비용이 작아지기 때문에 전체적인 패킷 전달 비용이 감소하는 효과가 있으며, CMM방식에 비하여 우월한 성능을 보이게 되는 가장 큰 요소가 된다.

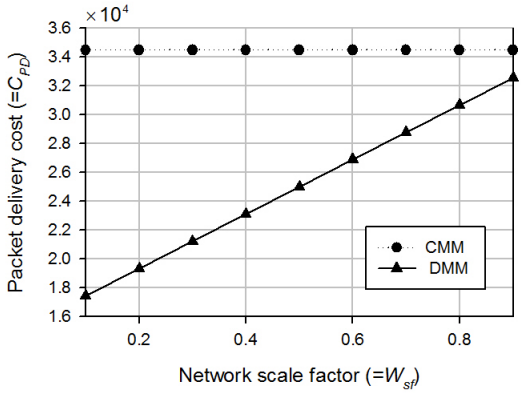

그림 7. 네트워크 스케일 펙터에 따른 패킷 전달 비용
Fig. 7 Packet delivery cost according to the network scale factor

트래픽 영역을 액세스 네트워크로 분산시킴으로서 위치적으로 멀리 떨어진 LMA와 터널링하지 않고 근처에 위치한 인근 MAAR와 터널링하게 되고, 이로서 패킷 전달 비용이 감소하는 것이다.

그림 8은 패킷의 평균 길이에 따른 패킷 전달 비용을 보여주고 있다. 패킷의 평균 길이가 증가함에 따라서 CMM방식과 DMM방식의 패킷 전달 비용은 모두 증가하는 것을 알 수 있다. 다만, DMM방식의 경우 패킷 전달 경로가 감소하였기 때문에 패킷 길이에 대해서 CMM방식보다 둔감하게 증가하는 것을 알 수 있다.

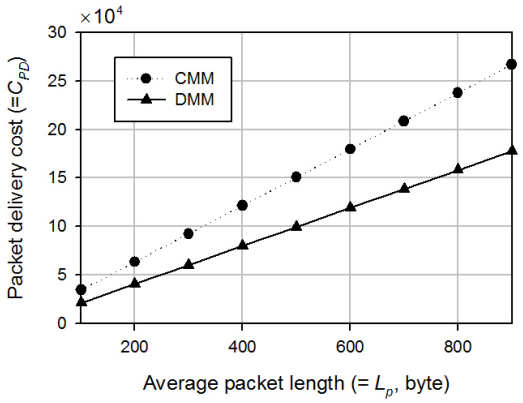

그림 8. 평균 패킷 길이에 따른 패킷 전달 비용
Fig. 8 Packet delivery cost according to the average packet length

그림 9에서는 SMR값에 따른 총 비용을 보여주고 있다. SMR(Session to Mobility Ratio = λ_s/μ_s)값은 세션 발생율을 0.3으로 고정한 상태에서 단말기의 이동속도를 5(m/s)에서 80(m/s)까지 변화시키면서 SMR과 총 비용간의 관계를 계산하였다. CMM방식과 DMM방식 모두 SMR값이 증가할수록 총비용이 감소하는 경향은 확인할 수 있으나 DMM방식의 성능이 CMM방식보다 월등히 좋다는 것도 알 수 있다. SMR값이 증가할수록 총비용에서 패킷 전달 비용 부분의 비율이 더 높아지기 때문에 CMM과 DMM간의 성능 차이는 더욱 커지게 된다.

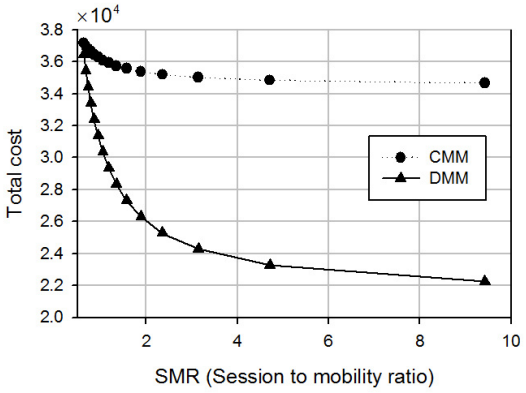

그림 9. SMR에 따른 총 비용
Fig. 9 Total cost according to SMR

V. 결 론

본 논문에서는 IETF에서 진행하고 있는 분산 이동성 제공 방안에 대해서 성능을 분석하고 평가하였다. 분석 결과에 의하면 분산 이동성 방식은 시그널링 비용이 다소 증가하는 단점이 있으며 앵커 MAAR의 개수가 증가할수록 비용 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 하지만, DMM방식을 적용하면 패킷 전달 비용을 대폭적으로 향상시키는 장점을 가지고 있으며, 전체 총비용 측면에서도 크게 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 특히, 엑세스 라우터인 MAAR간의 홉수가 작을수록 DMM의 성능이 극대화됨을 알 수 있었다. 따라서 DMM 방식을 적용하면 모바일 트래픽이 폭증하는 상황에서 충분히 좋은 성과를 거둘 수 있을 것으로 예상된다. 추후 연구 과제로는 기존의 MIPv6에서 진행되었던 플로우 이동성, 네트워크 이동성과 결합한 분산 이동성 방안을 연구하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 한국연구재단(과제번호: NRF-2012R1A1A2041831) 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

REFERENCES

[1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018, Feb. 2014. Available: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html.

[2] RFC5213, *Proxy Mobile IPv6,* Internet Engineering Task Force(IETF), Aug. 2008.

[3] K. S. Kong, W. J. Lee, Y. H. Han, M. K. Shin, 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.

[4] J. C. Zuniga, C. J. Bernardos, A. de la Oliva, T. Melia, R. Costa, and A. Reznik, "Distributed mobility management: A standards landscape," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 3, pp.80-87, March 2013.

[5] D. H. Shin, D. Moses, M. Venkatachalam, and S. Bagchi, "Distributed mobility management for efficient video delivery over all-IP mobile networks: Competing approaches," *IEEE Network*, vol. 27, no. 2, March/April 2013.

[6] draft-bernardos-dmm-pmip-03, *A PMIPv6-based solution for Distributed Mobility Management*, Internet Engineering Task Force(IETF), Jan. 2014.

[7] 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.

[8] F. V. Baumann and I. G. Niemegeers, "An evaluation of location management procedures," *in Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Universal Personal Communications*, San Diego: CA, pp. 359-364, 1994.

[9] C. Makaya and S. Pierre, "An analysis framework for performance evaluation of IPv6-based mobility management protocols," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 7, no. 3, pp. 972- 983, March 2008.

위성홍(Sunghong Wie)

KAIST 전기및전자공학과 공학박사
고려사이버대학교 전기전자공학과 교수
※관심분야 : mobility management, future internet, MAC

장재신(Jaeshin Jang)

KAIST 전기및전자공학과 공학박사
인제대학교 정보통신공학과 교수
※관심분야 : wireless QoS, MAC, routing, cooperative communication