

네트워크 이동성을 지원하는 하이브리드 분산 이동성 관리

위성홍*

NEMO-enabled Hybrid Distributed Mobility Management

Sunghong Wie*

Department of Electrical and Electronic Engineering, The Cyber University of Korea, Seoul, 03051, Korea

요 약

분산 이동성 관리 방식은 이동성 기능을 사용자와 가까이 위치된 네트워크 경계로 분산시킨다. 이에 따라서 트래픽 전달 비용을 낮추고 패킷 전달 경로를 최적화할 수 있으며 확장성이 높은 장점을 갖는다. 하지만, 시그널링 메시지를 교환하기 위한 모바일 앵커의 개수가 증가하여 시그널링 비용이 증가하는 문제점을 갖는다. 그래서 지속시간이 긴 세션에 대해서 높은 시그널링 비용을 감소시키는 하이브리드 분산 이동성 방식이 연구되었고 본 논문에서는 네트워크 이동성을 지원하는 환경으로 하이브리드 방식을 확장한다. 모바일 라우터는 차량에 장착되어 모바일 장치들과 함께 이동한다. 따라서 모바일 라우터에 대해서 고속 이동성 특성을 정의하여 이용하는 하이브리드 방식을 제안한다. 모바일 라우터의 이동성 특성에 따라서 모바일 앵커를 분산하여 할당하거나 혹은 특정한 모바일 앵커를 지정하여 할당한다. 본 논문은 네트워크 이동성을 지원하는 하이브리드 분산 이동성 관리 방식에 대해서 제안하고 성능을 수학적으로 분석하여 우수한 성능임을 보여준다.

ABSTRACT

In Distributed Mobility Management (DMM) protocol, the mobility functions are distributed to network edge closer to mobile users. DMM protocol has some advantages of low-cost traffic delivery, optimized routing path, high scalability. However, it needs many mobile anchors to exchange signaling messages and it results in a high signaling cost. Thus, previous works suggested the hybrid DMM protocol to reduce the high signaling cost for long-live sessions and this paper extends a hybrid scheme to the NEMO environment. The mobile routers are installed at vehicles and can move together with several mobile devices. So we can define the high-mobility property for mobile routers and suggest the hybrid scheme using this property. According to the high-mobility property of mobile routers, we can distribute the mobile anchors or allocate a centralized mobile anchor. In this paper, we mathematically analyze the performance of the proposed NEMO-enabled hybrid DMM protocol and show superior performance.

키워드 : 네트워크 이동성, 하이브리드 분산 이동성 관리, 프락시 모바일 아이피, 성능 분석

Keywords : Network Mobility, Hybrid Distributed Mobility Management, Proxy Mobile IP, Performance Analysis

Received 24 April 2018, Revised 26 April 2018, Accepted 13 May 2018

* Corresponding Author Sunghong Wie (E-mail:satwie@gmail.com, Tel:+82-2-6361-1928)

Department of Electrical and Electronic Engineering, The Cyber University of Korea, Seoul, 03051 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.7.1030>

pISSN:2234-4772

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/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

CISCO의 VNI 리포트[1]에 의하면 전 세계 모바일 트래픽은 2016년도 말에 한달 평균 7.2 exabytes에 이르며 과거 5년 동안 18배로 급증하고 있는 상황이다. 모바일 트래픽의 69%는 4G 이동통신 시스템에서 발생하고 있으며 스마트 디바이스의 트래픽 발생율이 그 외의 디바이스보다 13배 이상 높다. 2016년 모바일 트래픽 중에서 모바일 비디오 트래픽의 비율이 60%를 넘고 있으며 그 비율이 급격하게 상승하고 있다. 또한 VR (Virtual Reality)과 AR (Augmented Reality) 서비스의 등장으로 인하여 모바일 비디오 트래픽의 증가세가 더욱 커질 것으로 예상하며 이를 수용하기 위하여 5G이동통신의 도입이 요구되고 있다.

모바일 트래픽이 급증하는 상황을 수용하기 위해서 많은 기술 연구가 이루어지고 있으며 단말 이동성 분야에서는 분산 이동성 방식(DMM, Distributed Mobility Management)이 모바일 트래픽 증가에 대응하는 기술로 논의되고 있다[2-4]. 중앙 집중형 장치인 HA (Home Agent) 혹은 LMA (Local Mobility Anchor)를 사용하는 CMM (Centralized Mobility Management)방식에 비하여 DMM방식은 단말기가 접속한 액세스 라우터 (AR, Access Router)를 모바일 앵커로 사용하기 때문에 과도한 트래픽이 일부 중앙 집중형 장비에 몰리는 것을 방지할 수 있고, 중앙 집중형 장비의 장애 발생 시에 수많은 서비스가 단절되는 SOF (Single point of Failure)문제도 상당부분 해결할 수 있다. 또한 DMM방식에서는 트래픽 전달 경로를 최적화할 수 있어서 시스템 전체적인 부하를 감소시키는 효과도 기대할 수 있다. 또한 근래에 많이 사용하는 local CDN (Content Delivery Network) 과 연계 동작도 효과적이다.

DMM방식에 많은 제안들이 있으나 단말기에 이동성 기능을 구축하지 않아도 사용할 수 있는 PMIPv6기반의 DMM방식[5-6]이 제안되고 있다. DMM방식은 트래픽 전달에 있어서 큰 장점을 갖고 있음에도 불구하고 시그널링 처리 비용이 증가한다는 단점을 갖고 있다. 특히 세션의 지속시간이 길거나 혹은 단말기가 빠르게 이동하는 상황에서는 이러한 단점이 더욱 심각해진다. 비디오 트래픽처럼 세션 지속시간이 긴 트래픽의 비율이 높아지고 있고 자율주행 자동차로 인하여 단말기의 이동속도가 높아지고 있는 현실을 고려할 때에 DMM방식의

문제점은 더욱 두드러진다. DMM방식의 시그널링 처리 비용이 증가하는 문제를 해결하기 위해서 하이브리드 분산 이동성 방식 (hDMM, Hybrid DMM)이 제안되고 있다.[7-9] 본 논문에서는 hDMM방식을 NEMO (Network Mobility)환경에 적용하는 방법을 제안하고 세션 및 이동성에 대한 수학적 모델을 통하여 성능을 분석하고 성능 결과를 비교한다. II장에서는 관련 연구 내용을 살펴보고 III장에서는 제안 방식을 기술하며 IV장에서는 성능을 분석한 이후에 V장에서 성능 평가를 수행하고 VI장에서 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

하이브리드 분산 이동성 관리 (hDMM, Hybrid DMM)방식은 분산 이동성 관리 방식의 단점을 보완하기 위해서 부분적으로 중앙 집중형 이동성 관리 방식 (CMM)의 특징을 사용하는 방식이다. [7]은 AR이 앵커로 동작하는 DMM방식을 기본 동작으로 하지만 세션의 개수와 핸드오버 비율이 일정 수준 이상이 되면 단말기의 세션을 AR로부터 중앙 집중형 장치인 LMA로 옮긴다. 앵커의 위치를 변경하기 때문에 변경된 라우팅 정보가 네트워크에 전파되는 시간만큼 서비스가 중단되는 문제점을 갖고 있다. 그리고 세션의 개수만 고려하기 때문에 중요한 세션의 지속시간과 이동성은 포함되어 있지 않다. [8]에서도 하이브리드 이동성 관리 방식이 제안되고 있으나 모바일 앵커의 개수를 기준으로 현재의 AR을 앵커로 사용할지 혹은 LMA를 앵커로 사용할지를 판단하기 때문에 하이브리드 방식으로서의 효과를 얻기 어렵다. [9]는 세션의 지속시간 특성에 따라서 앵커를 다르게 지정한다. 지속시간이 짧은 세션들의 경우에는 현재 연결된 AR를 앵커로 사용한다. 하지만, 지속시간이 긴 세션의 경우에는 특별하게 지정된 하나의 AR-LL (AR for Long-Live session)를 앵커로 사용하여 중앙 집중형 장치인 것처럼 활용한다. 지속시간이 긴 세션들이 과도하게 많은 AR들을 앵커로 활용하는 문제를 해결하기 때문에 불필요하게 시그널링 처리 비용이 증가하는 것을 방지할 수 있음을 보여주었다. 하지만, 단말기의 이동속도가 빠른 경우에 대한 DMM방식의 문제점이 남아 있으며 네트워크 이동성을 고려하지 않고 있다. 한편, 모바일 라우터 (MR, Mobile Router)가 자신이

연결 서비스를 제공하는 여러 단말기들과 함께 이동하는 시나리오를 서비스하기 위해서는 네트워크 이동성을 고려해야 하며 IETF에서는 NEMO-BSP (Network Mobility Basic Support Protocol)[10]를 제안하였다. 하지만 NEMO-BSP는 단말기에 이동성 기능 프로토콜을 장착해야 하는 문제점이 있기 때문에 PMIPv6와 결합시킨 NPMIP (NEMO-enabled PMIP)방식[11]이 제안되었다. 하지만, [10-11]은 중앙 집중형 장치 기반의 CMM방식이기 때문에 기능을 분산시키는 DMM의 장점을 반영하기 위한 방식[12-14]이 제안되고 있다. NPMIP방식은 호환성이 좋지만 중복 터널로 인하여 패킷 전달 비용이 높은 단점이 있기에 DMM과 결합시킬 경우에도 중복 터널로 인한 문제점은 여전히 남아 있다. 이를 [12-14]에서는 MR의 기능을 수정하여 중복 터널 문제를 제거하고 무선 구간에서는 터널 오버헤드가 나타나지 않도록 하고 있다. [12]는 중복된 모바일 네트워크 (nested NEMO)를 고려하지 않은 문제점이 있고 [13-14]는 MR 내부의 고정된 단말을 위한 MNP (Mobile Network Prefix)를 사용하여 단말기가 MR에서 벗어나서 다른 네트워크로 이동하는 상황이 고려되지 않았다.

[15]는 NEMO방식을 지원하는 하이브리드 DMM방식을 제안하였다. 그런데, 세션의 지속시간과 이동속도의 특성을 이용하지 않고 단순하게 모바일 앵커의 개수를 기준으로 하여 앵커를 LMA 혹은 AR로 설정하고 있다. 따라서 세션의 지속시간이 길거나 단말기의 이동속도가 빠른 경우에 시그널링 처리 비용이 급증하며 단말기들이 하나의 LMA를 이용하고 있기 때문에 SOF문제점이 CMM방식과 동일하게 남아 있다.

[16]과 같이 사용자들의 이동성이나 트래픽 특성을 연구하여 이를 적절히 분류함으로써 본 논문과 같은 이동성 관리 방안이 향상될 수 있을 것으로 기대한다.

III. NEMO-enabled Hybrid DMM 기법

본 논문은 [9]의 하이브리드 분산 이동성 관리 방식을 기반으로 NEMO환경에 적용 가능한 NhDMM (NEMO-enabled Hybrid DMM)방식을 제안한다. 단말기는 이동성 기능을 탑재하지 않으며 AR들이 단말기 대신에 PMIPv6 프로토콜을 구동한다. 단말기에게 2개의 HNP (Home Network Prefix)를 전달하며, 세션의 지속시간

특성에 따라서 하나의 주소를 선택하여 사용한다. 지속시간이 짧은 세션의 경우에는 단말기가 현재 접속한 AR로부터 할당받은 HNP를 주소값으로 사용하지만, 지속시간이 긴 세션은 별도의 AR-LL로부터 할당받은 HNP-LL (HNP for Long-Live session)을 주소값으로 선택한다. 지속시간이 긴 세션들의 앵커를 AR-LL로 집중시킴으로써 모바일 앵커의 개수를 줄여서 시그널링 비용을 낮춘다. 또한 단말기별로 AR-LL을 다르게 설정함으로써 SOF문제점을 감소시킬 수 있다.

네트워크 이동성을 고려할 때에 가장 대표적인 상황은 이동하는 차량에 MR을 장착하고 차량 내부에 있는 단말기들이 MR을 경유하여 모바일 인터넷 서비스를 이용하는 상황이다. 차량이 이동하면서 MR을 포함한 차량 내의 모든 단말기들이 동시에 그룹 핸드오버를 수행한다. 본 논문에서는 이와 같이 MR별로 그룹의 이동성을 정의할 수 있다는 점을 이용한다. 즉, 차량에 장착된 MR은 CMD (Central Mobility Database) 데이터베이스에 이동성이 높은 것으로 저장하고, PAN (Personal Area Network)이나 BAN (Body Area Network)를 담당하는 MR은 이동속도가 높지 않다고 설정하여 관리한다. 이와 같이 CMD에는 단말기별 혹은 MR별로 고속 이동성 특성 정보를 정의하며 고속으로 이동하는 특성이 있는 경우에는 1, 그렇지 않은 경우에는 0으로 저장한다. 제안하는 NhDMM방식에서는 고속 이동성 특성 정보가 1로 설정된 MR에 대해서는 현재 접속된 AR로부터 HNP 주소값을 할당하지 않으며 별도로 지정된 AR-LL로부터 할당받은 HNP-LL만을 사용한다. 특히 세션의 지속시간 특성에 상관없이 모든 세션에 대해서 HNP-LL만을 사용한다. 순수한 DMM방식이 이동성이 높은 경우에 시그널링 처리 비용이 높아지는 이유는 너무 많은 AR와 터널을 설정하기 때문이다. 이를 해결하기 위해서 이동성이 높은 MR은 1개의 AR-LL과 터널을 설정하도록 하여 중앙 집중형 방식으로 동작하기 때문에 NhDMM방식은 시그널링 처리 비용을 낮출 수 있다. 이동성이 높지 않은 경우, 즉 고속 이동성 정보가 0으로 설정된 경우에는 [9]처럼 현재 AR로부터 할당받은 HNP와 AR-LL로부터 할당받은 HNP-LL을 모두 사용할 수 있으며 세션의 지속시간 특성에 따라서 선택하여 사용한다. 즉, 지속시간이 짧은 세션은 현재 AR로부터 할당받은 HNP를 사용하고, 지속시간이 긴 세션은 HNP-LL을 사용한다. MR 혹은 단말기별로 AR-LL을 선택하고

지정하는 방법은 [9]와 동일하며 다음과 같다.

- 장치가 처음으로 POWER ON된 이후에 처음으로 접속한 AR를 AR-LL로 지정한다.
- 현재 지정된 AR-LL이 할당된 HNP-LL 주소를 사용하는 세션이 전혀 없고 현재 AR와 AR-LL이 다르다면 현재의 AR를 AR-LL로 재지정하고 HNP-LL도 재지정한다.
- 현재의 AR-LL에 심각한 문제가 발생하여 더 이상 서비스를 할 수 없는 경우에는 현재의 AR를 AR-LL로 재지정한다.
- 운영자의 선택에 의하여 특정한 AR를 AR-LL로 강제 재지정할 수 있다.

그림 1은 MN1과 MN2를 포함하고 있는 MR이 AR-LL과 AR1을 이미 모바일 앵커로서 사용하고 있는 상황에서 새로운 AR0의 영역으로 이동하여 연결 설정하고 있는 MR의 핸드오버 상황이다. MR의 고속 이동성 특성은 0으로 설정되어 일반적인 핸드오버 발생 상황이다. MR은 자신이 관할하고 있는 네트워크에 포함된 모든 단말에 대한 정보를 이미 획득하여 알고 있는 상황이기 때문에 내부의 모든 단말기들에 대한 정보(MN ID list)를 포함하는 RS* 메시지를 새롭게 연결하려는 AR0에게 전달한다. AR0는 해당 정보를 단말기별로 Serving AR option[9]에 포함하여 CMD에게 단말기 핸드오버 등록을 요청한다. 이때에 CMD는 단말기별로 등록되어 있는 모바일 앵커 리스트에 포함된 AR들에게 단말기 정보와 함께 Serving AR option을 포함한 PBU* 메시지를 전달한다. 실제 동작상으로는 MR이나 그 네트워크에 포함된 단말기별로 모바일 앵커 리스트가 다를 수 있으나 어느 정도의 시간이 흘러서 안정적인 상태에서는 MR과 그 하위의 단말기들의 모바일 앵커 리스트가 일치할 것이다. 터널을 설정해야 하는 AR로부터 응답을 수신한 CMD는 해당 정보들을 모두 묶고, 신규 AR로부터의 신규 HNP 정보를 포함하여 AR0에게 PBA** 메시지로 응답한다. PBA** 메시지를 수신한 AR0과 모바일 앵커 역할을 수행하는 AR들과의 터널이 설정된다. 모바일 앵커가 할당한 주소로의 트래픽은 AR0과 연결된 터널을 통하여 AR0까지 전달되고 AR0에서는 터널을 벗겨내고 MR에게 직접 전달하며 MR내 부로의 전달은 내부 라우팅에 의해서 직접 전달한다.

AR0가 할당한 주소값으로의 패킷은 별도의 터널을 통과하지 않기 때문에 Simple IP에서의 패킷 전달 과정을 거쳐서 직접 단말기까지 전달한다. 그림 2는 동일한 상황이지만 MR의 고속 이동성 특성이 1로 설정되어서 현재 접속하는 AR0로부터 새로운 주소를 할당받지 않으며 기존의 AR-LL이 할당했던 HNP-LL만을 사용하는 상황이다. NhDMM방식에서 고속 이동성을 가진 MR에 대해서는 새로운 HNP주소값을 할당받지 않기 때문에 MR하위의 단말기들에게는 아무런 상황의 변화가 없으며 별도의 RA 메시지를 전달할 필요도 없다.

NEMO환경에서는 MR하위에 다른 MR이 연결되는 중첩 NEMO구조가 될 수 있다. 이때에는 AR에 직접 연결된 최상위 MR의 이동성에 따라서 하위의 MR이나 개인 단말기에 대한 처리도 동일하게 수행된다. 예를 들어서 최상위 MR의 이동성이 높아서 AR-LL과의 터널만 설정하면 하위의 MR과 단말기들도 모두 AR-LL과의 터널을 이용하는 중앙 집중형으로 동작한다.

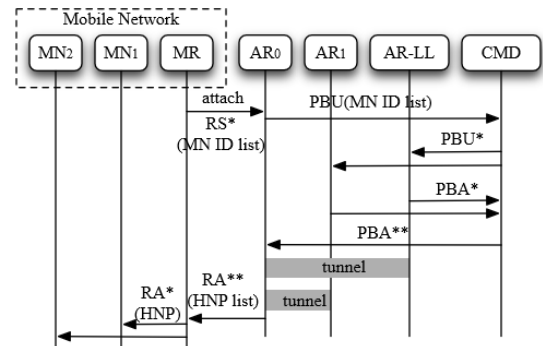


Fig. 1 Message flow of NhDMM scheme with non-high mobility

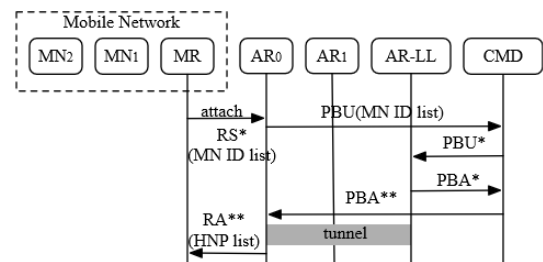


Fig. 2 Message flow of NhDMM scheme with high mobility

IV. 성능 분석

성능 분석을 위하여 [9]과 같은 프로토콜 비용 개념을 사용한다. 이동성 관리 방식의 프로토콜 비용은 시그널링 비용과 패킷 전달 비용으로 구분한다.

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

시그널링 비용은 핸드오버 발생 시에 PBU/PBA 메시지를 교환하는 비용이며 패킷 전달 비용은 사용자 데이터 패킷을 전달하기 위한 비용으로 패킷의 길이와 홉수 (hop distance)의 곱셈으로 계산한다. 또한 네트워크 장치(MAG, AR, LMA, CMD 등)에서의 패킷 처리 비용도 합산한다. 바인딩 리프레시 비용은 큰 비중을 차지하는 부분은 아니기 때문에 본 논문에서는 제외한다. 모바일 네트워크를 구성하는 MN과 MR의 이동에 따라서 다양한 핸드오버 상황이 발생 가능하다. 즉, 여러 개의 MN을 포함하는 MR이 다른 AR영역으로 이동하는 상황, MN이 단독으로 이동하는 상황, MN이 특정 MR내부로 이동하는 상황, MN이 MR외부로 나와서 AR 영역으로 이동하는 상황, MN이 특정 MR에서 다른 MR영역으로 이동하는 상황, MR이 다른 MR의 하위영역으로 이동하는 상황 등이 있을 수 있다. 다양하고 복잡한 상황들이 발생할 수 있으나 본 논문에서는 여러 개의 MN을 포함하는 MR이 이동하여 그룹 핸드오버하는 상황으로 한정하여 성능을 분석한다.

4.1. 시스템 모델

모바일 라우터(MR)의 이동속도 특성에 따라서 2개 그룹으로 구분한다. 이동속도가 빠른 MR그룹과 이동속도가 느린 MR그룹으로 구분하며 각각의 이동속도는 v_h 와 v_l 로 정의한다. 핸드오버 발생을 μ_s 값은 AR영역의 크기 A 와 MR의 이동속도 v 의 관계식으로 다음과 같이 계산할 수 있으며 v 값을 v_h 혹은 v_l 로 정의함에 따라서 각각의 μ_{sh} 와 μ_{sl} 값을 얻을 수 있다.

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

$$\mu_{sh} = \mu_s |_{v=v_h}, \quad \mu_{sl} = \mu_s |_{v=v_l}$$

네트워크 토폴로지는 그림 3과 같이 가정하고 성능

분석을 위하여 표 1과 같은 기호와 기본 값을 정의한다.

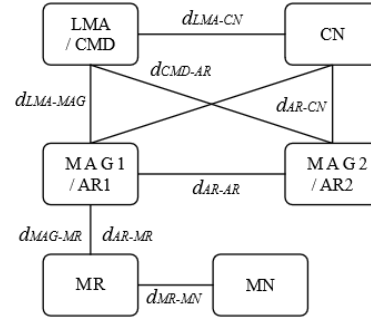


Fig. 3 Network topology

Table. 1 Parameters for performance analysis

Parameter	Description
τ	header size of IPv6 tunnel, 40bytes
w_1, w_2	packet delivery cost in wire-line and wireless, 1 and 1.5
M	number of mobile devices connected with mobile router, 5
β	portion of mobile router with high mobility, 0.2
K_s	number of mobile anchor
L_{RS^*}	size of RS message, (48 + 12M) bytes
$L_{RA^*}, L_{RA^{**}}$	size of RA* and RA** message, 76 bytes and (76 + 20M) bytes
L_{PBU}, L_{PBA}	size of PBU and PBA message, (76 + 12M) bytes and 76 bytes
L_{PBU^*}	size of PBU* message, (76 + 20 + 12M) bytes
L_{PBA^*}	size of PBA* message, (76+36) bytes
$L_{PBA^{**}}$	size of PBA** message, (76 + (36 · K _s) + 20M) bytes
PC_R, PC_{MR}	packet processing cost in router and mobile router, 8 and 12
PC_{MAG}, PC_{AR}	packet processing cost in MAG/AR, 12
PC_{LMA}, PC_{CMD}	packet processing cost in LMA/CMD, 24
d_{MAG-MR} d_{AR-MR} d_{MR-MN}	hop distance of MAG-MR, AR-MR or MR-MN, 1 hop
$d_{LMA-MAG}$ d_{CMD-AR}	hop distance of LMA-MAG or CMD-AR, 10 hops
d_{LMA-CN} d_{AR-CN}	hop distance of LMA-CN or AR-CN, 10 hops
d_{AR-AR}	hop distance of AR-AR, 3 hops

네트워크 구조에 따라서 d_{AR-AR} 값은 상당히 변동될 수 있는 값이기에 여기에서는 $\sqrt{d_{CMD-AR}}$ 정도의 값으로 정의하였다. AR-LL과의 흡수값도 일반 AR와의 흡수로 동일하게 취급하여 d_{AR-AR} 값을 동일하게 사용한다. 일반적으로 네트워크 구성을 계층적인 구조로 구성하기 때문에 오래 전에 접속했었던 AR-LL이라고 하여도 거리가 크게 차이가 발생하지 않는다.

기존의 논문들에서는 분석의 편리성을 위하여 아주 간략한 세션 모델을 사용하고 있었다. 세션 도착 과정을 포아송 프로세스로 정의하고 세션 지속시간 특성은 세션과 그 다음 세션간의 시간 간격으로 모델링하고 있다. 이러한 세션 모델은 성능 분석을 쉽게 할 수 있다는 장점이 있으나 서로 다른 특성을 갖는 세션들이 독립적으로 유지되는 상황을 분석할 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 [9]에서는 세션의 도착 프로세스와 세션 지속시간 분포를 분리하였다. 세션의 도착 프로세스는 포아송 프로세스로 가정하고 세션의 지속시간 분포는 지수분포를 가정하며 서로 독립적이라고 가정한다. 세션의 특성에 따라서 도착율과 평균 지속시간, 패킷 생성율, 패킷길이 등을 다르게 정의함으로써 다양한 특성의 세션을 모델링 할 수 있다. 본 논문에서도 [9]의 세션 모델을 사용하며 G개의 세션 그룹을 정의하는데 세션 그룹이란 동일한 특성을 갖는 세션들의 집합을 지칭하는 것으로 i세션 그룹의 평균 도착율은 λ_i , 평균 지속시간은 $(1/\mu_i)$ 라고 정의한다. 하나의 MR마다 M개의 단말기가 포함되어 있는 구조로 가정하여 MR별로 i세션 그룹의 평균 도착율을 $(M \cdot \lambda_i)$ 으로 정의한다.

4.2. 성능 분석

MAG와 LMA를 사용하는 PMIPv6기반의 CMM방식에서 MR이 핸드오버할 때에 MAG가 MR을 대신하여 LMA와 메시지를 교환하므로 이에 대한 시그널링 비용은 다음과 같다.

$$C_{PBU}^{CMM} = \omega_1(d_{MAG-LMA} \cdot L_{PBU}) + (d_{MAG-LMA} - 1) \cdot PC_R + PC_{LMA} \quad (3)$$

$$C_{PBA}^{CMM} = \omega_1(d_{LMA-MAG} \cdot L_{PBA}) + (d_{LMA-MAG} - 1) \cdot PC_R + PC_{MAG}$$

$$C_{BU}^{CMM} = [\beta\mu_{sh} + (1-\beta)\mu_{sl}] \cdot [C_{PBU}^{CMM} + C_{PBA}^{CMM}] \quad (4)$$

일반적으로 NEMO를 지원하는 CMM방식은 2개의 중복 터널을 사용하여 오버헤드가 크다. 하지만 본 논문에서는 NhDMM방식과의 비교분석을 위하여 라우팅 최적화를 도입한 CMM방식이라고 가정하여 LMA와 MAG사이에서 1개의 터널만을 사용하고 무선 구간에서는 터널없이 라우팅되는 시스템을 분석한다.

$$C_{PD}^{CMM} = \sum_{i=1}^G [\omega_2 S_i L_i (d_{MN-MR} + d_{MR-MAG}) + PC_{MR} + PC_{MAG} + \omega_1 \cdot (S_i \cdot (\tau + L_i)) \cdot d_{MAG-LMA} + ((d_{MAG-LMA} - 1) \cdot PC_R) + PC_{LMA} + \omega_1 \cdot (S_i \cdot L_i) \cdot d_{LMA-CN} + ((d_{LMA-CN} - 1) \cdot PC_R)] \times M\lambda_i \quad (5)$$

수식 (4)와 (5)에서의 시그널링 비용과 패킷 전달 비용을 합산하여 CMM방식의 총비용을 얻을 수 있다.

$$C_T^{CMM} = C_{BU}^{CMM} + C_{PD}^{CMM} \quad (6)$$

DMM방식에서 핸드오버 발생을 μ_s 을 가정하면 평균적인 모바일 앵커 개수는 다음과 같이 얻어진다[9].

$$E(I_j) = \sum_{n_1=0}^{\infty} \dots \sum_{n_G=0}^{\infty} \left[1 - \prod_{i=1}^G \left\{ 1 - \left(\frac{\mu_s}{\mu_i + \mu_s} \right)^j \right\}^{n_i} \right] \cdot \prod_{i=1}^G \left[\left(\frac{M\lambda_i}{M\lambda_i + \mu_s} \right)^{n_i} \left(\frac{\mu_s}{M\lambda_i + \mu_s} \right) \right] \quad (7)$$

$$E[K_s] = \sum_{j=1}^{\infty} E(I_j) \quad (8)$$

이동속도가 빠른 MR의 핸드오버 발생율과 그렇지 않은 MR의 핸드오버 발생율을 $\mu_{s,h}$ 과 $\mu_{s,l}$ 로 정의하면 각각의 평균 모바일 앵커 개수는 다음과 같이 구분한다.

$$E[K_{s,h}] = E[K_s] \Big|_{\mu_s = \mu_{sh}} = \sum_{j=1}^{\infty} E(I_j) \Big|_{\mu_s = \mu_{sh}} \quad (9)$$

$$E[K_{s,l}] = E[K_s] \Big|_{\mu_s = \mu_{sl}} = \sum_{j=1}^{\infty} E(I_j) \Big|_{\mu_s = \mu_{sl}}$$

DMM방식에서 NEMO방식을 적용하는 방식에 따라서 사용하는 터널의 개수와 범위에서 차이가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 라우팅 최적화가 적용되어 무선구간에는 터널없이 MR의 라우팅만으로 전달한다고 가정하면, 그림 1과 같은 메시지 교환이 이루어지며 핸드오버 발생을 μ_s 에 대해서 다음과 같이 시그널링 비용을 계산할 수 있다.

$$C_{PBU}^{DMM} = \omega_2 d_{MR-AR} L_{RS^*} + PC_{MR} + \omega_1 (d_{AR-CMD} \cdot L_{PBU}) + (d_{AR-CMD} - 1) PC_R + PC_{CMD} + E(K_s) \cdot C_{PBU^*} \quad (10)$$

$$C_{PBU^*} = \omega_1 (d_{CMD-AR} \cdot L_{PBU^*}) + (d_{CMD-AR} - 1) PC_R + PC_{AR} \quad (11)$$

$$C_{PBA}^{DMM} = E(K_s) \cdot C_{PBA^*} + \omega_1 (d_{CMD-AR} \cdot L_{PBA^{**}}) + (d_{CMD-AR} - 1) PC_R + PC_{AR} + PC_{MR} + \omega_2 (d_{AR-MR} L_{RA^{**}} + M \cdot d_{MR-MN} L_{RA^*}) \quad (12)$$

$$C_{PBA^*} = \omega_1 (d_{AR-CMD} \cdot L_{PBA^*}) + (d_{AR-CMD} - 1) PC_R + PC_{CMD} \quad (13)$$

고속 이동성 특성에 따른 핸드오버 발생을 구분하여 시그널링 비용을 정리하고 이를 패킷 전달 비용과 합산하여 총비용을 얻을 수 있다.

$$C_{BU}^{DMM} = \beta \mu_{sh} \left[C_{PBU}^{DMM} \Big|_{\mu_s = \mu_{sh}} + C_{PBA}^{DMM} \Big|_{\mu_s = \mu_{sh}} \right] + (1 - \beta) \mu_{sl} \left[C_{PBU}^{DMM} \Big|_{\mu_s = \mu_{sl}} + C_{PBA}^{DMM} \Big|_{\mu_s = \mu_{sl}} \right] \quad (14)$$

$$C_{PD}^{DMM} = \sum_{i=1}^G [\omega_2 S_i L_i (d_{MN-MR} + d_{MR-AR}) + PC_{MR} + PC_{AR} + \omega_1 (S_i \cdot (\tau + L_i)) d_{AR-AR} + \omega_1 (S_i \cdot L_i) \cdot d_{AR-CN} + ((d_{AR-CN} - 1) \cdot PC_R)] \times M \lambda_i \quad (15)$$

$$C_T^{DMM} = C_{BU}^{DMM} + C_{PD}^{DMM} \quad (16)$$

제안하는 NhDMM방식에서 고속 이동성 특성을 갖는 MR에 대해서는 모바일 앵커가 AR-LL로서 고정되어 있기 때문에 모바일 앵커의 개수는 1로 고정된다.

$$E[K_{s,h}^N] = E[K_s^N] \Big|_{\mu_s = \mu_{sh}} = 1. \quad (17)$$

고속 이동성 특성이 없는 MR에 대해서는 기존의 hDMM방식[9]과 동일하게 동작하기 때문에 세션의 지속시간 특성에 따라서 사용하는 모바일 앵커가 구분된다. 그룹1부터 그룹g ($1 \leq g < G$)의 세션을 숏-리브 세션(short-live session)이라고 하고 그 외의 나머지 세션들을 롱-리브 세션(long-live session)이라고 정의한다. 숏-리브 세션은 지속시간이 짧은 세션을 모델링하는 것이고 롱-리브 세션은 지속시간이 긴 세션을 의미한다. 롱-리브 세션들은 오직 1개의 HNP-LL만을 사용하며, 나머지 숏-리브 세션은 세션 모델을 이용하므로 평균 모바일 앵커 개수를 다음과 같이 계산할 수 있다[9].

$$E(I_j^{sl}) = \sum_{n_1=0}^{\infty} \cdots \sum_{n_g=0}^{\infty} \left[1 - \prod_{i=1}^g \left\{ 1 - \left(\frac{\mu_s}{\mu_i + \mu_s} \right)^j \right\}^{n_i} \right] \cdot \prod_{i=1}^g \left[\left(\frac{M \lambda_i}{M \lambda_i + \mu_s} \right)^{n_i} \left(\frac{\mu_s}{M \lambda_i + \mu_s} \right) \right] \quad (18)$$

$$E(K_{s,l}^N) = E[K_s^N] \Big|_{\mu_s = \mu_{sl}} = 1 + \sum_{j=1}^{\infty} E(I_j^{sl}) \Big|_{\mu_s = \mu_{sl}} \quad (19)$$

NhDMM방식은 고속 이동성 특성을 갖는 MR에 대해서 모바일 앵커를 특정 AR-LL로 지정하기 때문에 시그널링 성능분석 시에 평균 모바일 앵커의 개수에서만 차이가 발생한다.

$$C_{PBU}^{NhDMM} = \omega_2 d_{MR-AR} L_{RS^*} + PC_{MR} + \omega_1 (d_{AR-CMD} \cdot L_{PBU}) + (d_{AR-CMD} - 1) PC_R + PC_{CMD} + E(K_s^N) \cdot C_{PBU^*} \quad (20)$$

$$C_{PBA}^{NhDMM} = E(K_s^N) \cdot C_{PBA^*} + \omega_1 (d_{CMD-AR} \cdot L_{PBA^{**}}) + (d_{CMD-AR} - 1) PC_R + PC_{AR} + \omega_2 (d_{AR-MR} L_{RA^{**}} + M \cdot d_{MR-MN} L_{RA^*}) \quad (21)$$

$$C_{BU}^{NhDMM} = \beta \mu_{sh} \left[C_{PBU}^{NhDMM} \Big|_{\mu_s = \mu_{sh}} + C_{PBA}^{NhDMM} \Big|_{\mu_s = \mu_{sh}} \right] + (1 - \beta) \mu_{sl} \left[C_{PBU}^{NhDMM} \Big|_{\mu_s = \mu_{sl}} + C_{PBA}^{NhDMM} \Big|_{\mu_s = \mu_{sl}} \right] \quad (22)$$

NhDMM방식은 사용자 트래픽 전달에 있어서 DMM방식과 동일하여 총비용은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$C_{PD}^{NhDMM} = C_{PD}^{DMM} \quad (23)$$

$$C_T^{NhDMM} = C_{BU}^{NhDMM} + C_{PD}^{NhDMM} \quad (24)$$

V. 성능 평가

IV장에서 수식으로 분석한 CMM, DMM, NhDMM 방식의 시그널링 비용, 패킷 전달 비용 그리고 총비용에 대해서 상황별로 비교 평가한다. 세션은 2개 그룹으로 단순화하여 그룹 1은 숏-리브 세션이고, 그룹 2는 롱-리브 세션을 나타낸다. 그리고 별다른 언급이 없다면 다음의 파라미터 값을 가정하여 사용한다.

- $A = \pi(100)^2 \approx 31415$, 반지름 100m인 셀의 면적
- $v_h = 5, v_l = 1$, MR의 이동속도 (m/s)
- $S_1 = 20, S_2 = 50$, 세션당 패킷의 평균 개수
- $L_1 = 100, L_2 = 500$, 패킷의 평균 길이 (bytes)
- $\lambda_s = 0.02$, 단말기별 총 세션 발생율
- $\lambda_2/\lambda_s = 0.1$, 롱-리브 세션 발생 비율
- $1/\mu_1 = 100, 1/\mu_2 = 1000$, 세션당 지속시간 (초)

그림 4는 세션 도착율에 따른 시그널링 비용의 변화를 보여준다. 이 그림은 이중축 그래프로서 좌측 y축은 시그널링 비용을 나타내며 우측 y축은 평균 모바일 앵커의 개수를 보여준다. 이 결과를 보면 기존의 CMM방식이 가장 좋은 시그널링 성능을 보임을 알 수 있다. 이는 중앙 집중형 장치인 LMA와의 시그널링 메시지를 교환하는 것으로 핸드오버 절차가 완료되기 때문이다. DMM방식은 많은 모바일 앵커들과 메시지를 교환하기 때문에 시그널링 비용이 급증하는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 NhDMM방식은 고속 이동성을 갖는 MR에 대해서 시그널링 비용을 감소시키는 방향으로 동작하여 CMM방식보다는 높은 비용이 필요하지만 DMM방식보다는 많은 시그널링 비용을 절약할 수 있음을 알 수 있다. 평균 모바일 앵커 개수를 보면 NhDMM방식이 앵커의 개수를 상당히 줄였으며 이로 인하여 시그널링 비용이 감소할 수 있었다. 그림 5는 그림 4와 동일한 상황에서 총비용을 비교한 성능 결과이다. DMM방식의 시그널링 비용이 CMM보다 크지만 패킷 전달 비용을 상당부분 감소시키기 때문에 총비용 측면에서 비교하면 CMM방식보다 월등히 뛰어난 방식이다. 본 논문에서 제안한 하이브리드 방식인 NhDMM방식은 패킷 전달 비용 측면에서는 DMM방식과 동일하면서 시그널링 비용은 감소시키기 때문에 기존의 CMM방식과 DMM방

식보다 좋은 성능을 보여준다. 이후의 성능 비교는 시그널링 비용 측면에 집중하여 성능을 비교한다.

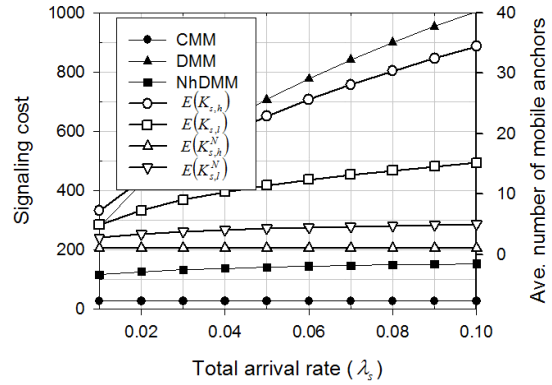


Fig. 4 Signaling cost according to total arrival rate

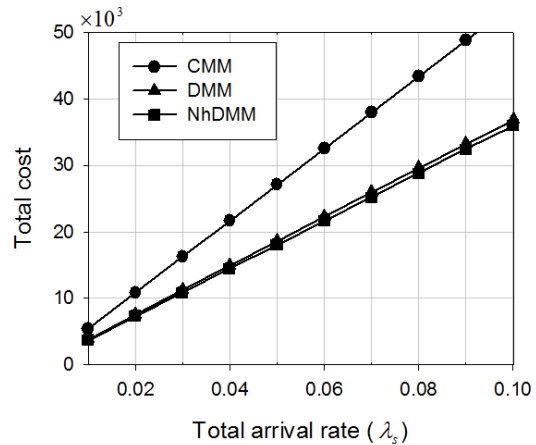


Fig. 5 Total cost according to total arrival rate

그림 6은 롱-리브 세션의 비율을 조정할 때의 시그널링 비용을 비교한 것이다. 총 세션 발생율은 고정하였기 때문에 CMM방식의 비용을 변화하지 않는다. 하지만 DMM방식은 롱-리브 세션이 증가함에 따라서 평균 모바일 앵커의 개수가 증가하여 시그널링 비용이 급증함을 확인할 수 있다. 제안하는 NhDMM방식에서는 롱-리브 세션에 대한 앵커를 1개로 고정하였기에 시그널링 비용이 CMM방식보다 약간 증가한 정도로서 DMM방식보다는 뛰어난 성능을 보여준다.

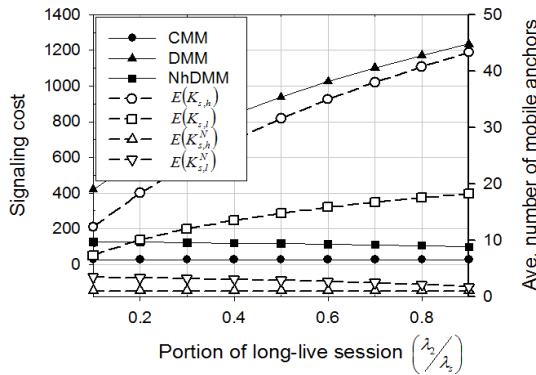


Fig. 6 Signaling cost according to the portion of long-live sessions

그림 7은 고속으로 이동하는 MR의 이동속도를 변경하였을 때에 시그널링 비용이 증가함을 보여준다. DMM방식은 모바일 앵커의 개수가 급증하여 시그널링 비용도 급증함을 알 수 있다. 1개의 LMA와 연결하는 CMM방식과 하이브리드 방식으로 동작하는 NhDMM 방식에서는 모바일 앵커의 개수가 고정되기 때문에 MR의 이동속도가 증가하더라도 시그널링 비용이 크게 변화하지 않는 경향을 확인할 수 있으며 NhDMM방식이 CMM방식과 유사한 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 8은 롱-리브 세션의 세션 종료율을 변화시킬 때의 시그널링 비용을 보여준다. 세션 종료율이 작을수록 세션의 평균 지속시간이 증가하여 평균 모바일 앵커의 개수가 증가하고 시그널링 비용도 증가한다. NhDMM 방식은 [9]와 같이 지속시간이 긴 세션에 대해서는 중앙 집중형으로 동작하기 때문에 CMM방식과 거의 유사한 시그널링 성능을 보여준다.

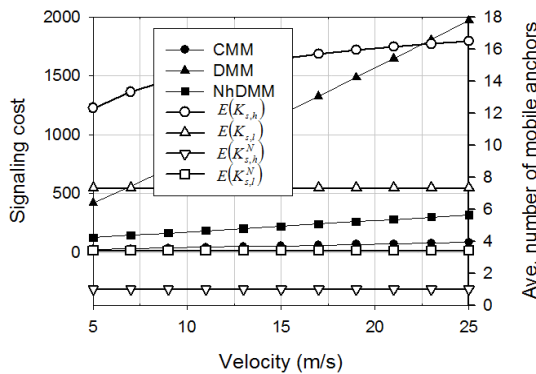


Fig. 7 Signaling cost according to the velocity of high mobility MR

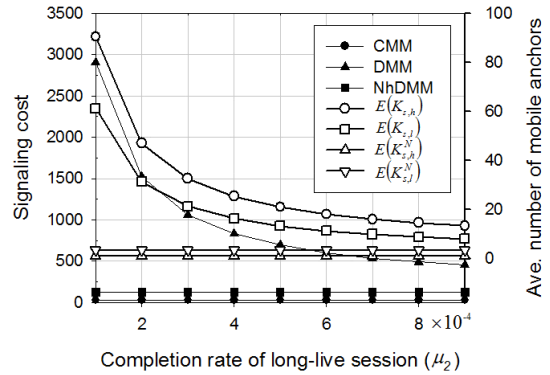


Fig. 8 Signaling cost according to the completion rate of long-live session

그림 9는 MR들 중에서 고속 이동성을 갖는 장치들의 비율을 변화시킬 때의 시그널링 비용을 보여준다. 고속 이동성을 갖는 MR의 개수가 증가함에 따라서 핸드오버 이벤트가 빈번하게 발생하기 때문에 모든 방식의 시그널링 비용은 증가한다. 다만, CMM방식과 NhDMM방식에 비해서 DMM방식은 시그널링 비용이 과도하게 급증하는 문제점이 있음을 보여주며 NhDMM방식은 고속 이동성을 갖는 MR에 대해서 중앙 집중형 방식으로 동작하면서 문제점을 해결하였음을 알 수 있다.

그림 10은 MR에 연결되어 그룹 핸드오버를 수행하는 단말기의 개수에 따른 영향을 보여준다. M값이 커질수록 핸드오버 발생시 교환해야 하는 시그널링 메시지의 개수와 크기가 증가하여 시그널링 비용값이 커지기 때문에 DMM방식의 단점이 부각된다. 하지만, NhDMM 방식에서는 시그널링 비용의 증가량이 소폭으로 제한됨을 확인할 수 있다.

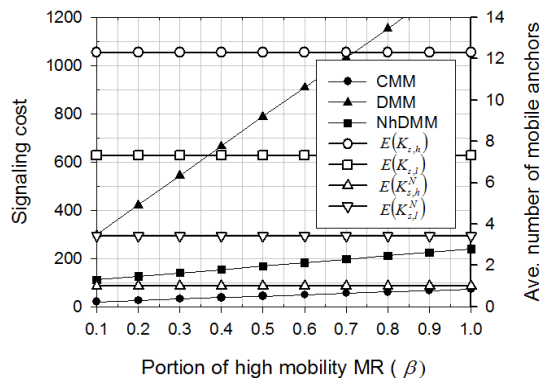


Fig. 9 Signaling cost according to the portion of high mobility MR

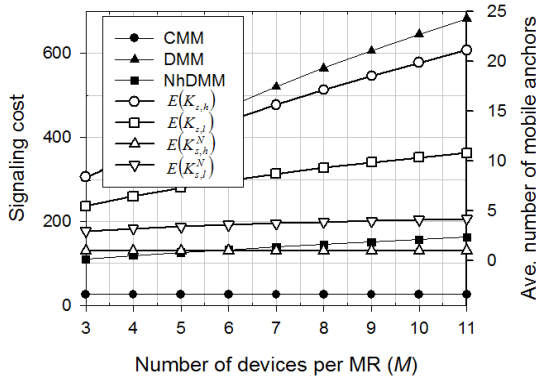


Fig. 10 Signaling cost according to the number of devices per MR

VI. 결론

DMM방식은 기존의 CMM방식이 갖는 단점을 보완하기 위해서 제안된 방식이지만 세션의 지속시간이 길거나 혹은 이동속도가 빠른 경우에 시그널링 처리 비용이 급증하는 문제점을 갖고 있다. 이를 해결하기 위한 대안으로서 하이브리드 방식을 연구하였으며 이를 확장하여 NEMO환경에서 모바일 라우터의 이동성 특성을 이용하는 방식을 제안하였다. 고속으로 이동하는 모바일 라우터에 대해서는 분산 방식을 보류하고 중앙 집중형 방식으로 동작함으로써 DMM방식의 장점을 유지하면서 시그널링 성능이 저하되는 단점을 보완하였다. 또한 지속시간이 긴 세션에 대해서도 중앙 집중형으로 동작하는 기존 방식을 그대로 유지할 수 있기 때문에 전체적으로 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 추후에는 플로우 이동성을 고려하는 분산 이동성 관리 방안을 진행할 예정이다.

REFERENCES

[1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016 - 2021, [Internet] Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.

[2] 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.

[3] 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, pp. 28-33, March/April 2013.

[4] J. Lee, J. Bonnin, P. Seite and H. A. Chan, "Distributed IP Mobility Management from the Perspective of the IETF: Motivations, Requirements, Approaches, Comparison, and Challenges," *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, no. 5, pp. 159-168, Oct. 2013.

[5] F. Giust, C. J. Bernardos, and A. de la Oliva, "Analytic Evaluation and Experimental Validation of a Network-based IPv6 Distributed Mobility Management Solution," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 13, no. 11, pp. 2484- 2497, Nov. 2014.

[6] F. Giust, L. Cominardi and C. J. Bernardos, "Distributed Mobility Management for Future 5G Networks: Overview and Analysis of Existing Approaches," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 1, pp. 142-149, Jan. 2015.

[7] J. H. Lee, Z. Yan, J. M. Bonnin and X. Lagrange, "Dynamic tunneling for network-based distributed mobility management coexisting with PMIPv6," in *Proceedings of 24 th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, London, UK, pp. 29953000, Sept. 2013.

[8] T. T. Nguyen and C. Bonnet, "A Hybrid Centralized/ Distributed Mobility Management for Supporting Highly Mobile Users," in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, pp. 3939-3944, June 2015.

[9] S. Wie and J. Jang, "Performance Evaluation of Hybrid Distributed Mobility Management," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 10, pp. 1862-1872, Oct. 2017.

[10] IETF Std. RFC 3963, *Network Mobility(NEMO) basic support protocol*, IETF, Jan. 2005.

[11] I. Soto, C. J. Bernardos, M. Calderon, A. Banchs and A. Azcorra, "NEMO-enabled localized mobility support for internet access in automotive scenarios," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 5, pp. 152 - 159, May. 2009.

[12] Truong-xuan Do and Younghun Kim, "EPD-NEMO: efficient PMIPv6-based distributed network mobility management," *Wireless Networks*, vol. 21, no. 7, pp. 2303-2314, Oct. 2015.

[13] P. P. Ernest, O. E. Falowo, and H. A. Chan, "Design and Performance Evaluation of Distributed Mobility Management Schemes for Network Mobility," *Journal of Network and*

- Computer Applications*, vol. 61, pp 46-58, Feb. 2016.
- [14] P. Sornlertlamvanich and S. Kamolphiwong, "Host-Based and Network-Based Distributed Mobility Management for NEMO," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E100-B, no. 1, pp. 67-74, Jan. 2017.
- [15] T. T. Nguyen and C. Bonnet, "A Hybrid Centralized-Distributed Mobility Management Architecture for Network Mobility," in *IEEE International World of Wireless Mobile and Multimedia Networks(WoWMom)*, pp. 1-9, June 2015.
- [16] Vaddempudi Srinidhi, "Classification of User Behaviour in Mobile Internet," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol. 2, no. 2, pp. 9-18, June 2016.



위성홍(Sunghong Wie)

KAIST 전기및전자공학과 공학박사
고려사이버대학교 전기전자공학과 교수

※ 관심분야: mobility management, future internet, MAC