

분산 이동성 관리 환경에서 매칭 기법을 이용한 이동성 관리자 선택 기법

정 현 재*, 백 상 현^o

Mobility Agent Selection in Distributed Mobility Management: A Matching Approach

Hyeon-jae Jeong*, Sangheon Pack^o

요 약

부분적 분산 이동성 관리 (Partially Distributed Mobility Management (P-DMM)) 환경에서 이동 노드(Mobile Node (MN))에 대한 위치 관리 기능은 통상적으로 중앙 집중화되는 반면, 데이터 전달 기능은 DMM 게이트웨이(DMM-GW)에 분산된다. 따라서, 모든 패킷은 DMM-GW에 의해 처리되고 이로 인해 패킷을 처리할 최적의 DMM-GW를 선택하는 것은 MN의 성능에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 DMM-GW와 MN의 선호도를 고려하여 안정적인 매칭 (Stable Matching)을 찾는 DMM-GW 선택 기법을 제안한다. 시뮬레이션 결과는 제안한 이동성 관리자 선택 기법을 통해 이동 노드의 배치 상태가 매우 불균형하고 노드의 이동성이 높은 경우에도 기존 기법에 비해 부하 공정성 지수는 0.8로 증가하고 위치 업데이트 비용은 29%까지 감소시킬 수 있음을 보여준다.

키워드 : 분산 이동성 관리, 안정적 매칭, 위치 관리, 시그널링 비용, 부하 분산

Key Words : Distributed mobility management, Stable matching, Location management, Signaling cost, Load balancing

ABSTRACT

In partially distributed mobility management (P-DMM), location management functions are centralized whereas data forwarding functions are distributed to DMM gateways (DMM-GWs). Since all packets are processed by DMM-GWs, which one is selected as a serving DMM-GW has a significant impact on the performance of mobile nodes (MNs). In this paper, we propose a stable matching-based DMM-GW selection scheme considering the preferences of both DMM-GWs (w.r.t. load balancing) and MNs (w.r.t. location update cost). Evaluation results demonstrate that the proposed scheme generates about 29% location update cost while the load fairness increased to 0.8 compared to the existing method in the most unbalanced mobile distributed state and the node mobility is high.

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다

• First Author : Korea University, School of Electrical Engineering, aktlakfh3120@gmail.com, 학생회원

o Corresponding Author : Korea University, School of Electrical Engineering, shpack@korea.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 202205-086-0-SE, Received April 15, 2022; Revised June 7, 2022; Accepted June 20, 2022

I. 서 론

전통적인 중앙집중형 위치 관리 시스템 (Centralized mobility management (CMM))에서 이동성 관리자는 중앙에 위치하면서 이동 노드 (Mobile Node (MN))의 위치 관리와 데이터 전달에 핵심적인 역할을 수행한다. 반면, 분산 이동성 관리 (Distributed mobility management (DMM))에서는 이러한 이동성 관리자를 이동 노드에 보다 가깝게 배치함으로써 보다 평면화된 네트워크 구조를 채택하게 된다. 이러한 분산 이동성 관리 기법은 CMM 환경에서 중앙으로 집중되는 부하를 줄일 수 있기 때문에 폭증하는 데이터 트래픽을 수용하는데 유망한 기술로 인식되고 있다.

한편, DMM 기법 중의 하나인 부분적 분산 이동성 관리 (Partially DMM (P-DMM)) 기법은 중앙화된 이동성 관리 데이터베이스 (Central mobility database (CMD))와 분산 배치되어 있는 DMM 게이트웨이 (DMM-GW)로 구성된다^[2]. CMD의 경우 이동 노드의 위치 정보와 세션 정보, 그리고 이동 노드를 담당하고 있는 현재와 이전의 DMM-GW의 정보를 유지하게 된다. 그리고 DMM-GW는 데이터 전달 과정에서의 앵커로 동작하게 되면 게이트웨이 역할을 수행하여 이동 노드들에게 데이터를 전달하는데 참여하게 된다. [4]에서 분석된 것과 같이 위치 관리를 담당하는 이동성 관리자를 데이터가 전달되는 데이터 평면으로부터 분리하는 것은 대규모 데이터를 전달하는데 있어 발생하는 문제를 해결하고 동시에 데이터 트래픽이 보다 최적의 경로로 전달될 수 있도록 도와준다. [12]에서도 PMIPv6 기반의 DMM 기법의 성능을 분석하고 있는데 여기서도 분산된 이동성 관리 기법이 중앙화된 기법보다 패킷 전달 비용을 줄일 수 있음으로 보여준다. 이와 같이 P-DMM이 많은 수의 이동 단말을 담당하는데에는 장점을 가지고 있지만 이동 단말에 대한 위치 관리 기법이 제대로 동작하지 않을 경우 성능에 제약이 발생할 수 있다. 위치 관리란 이동 단말의 위치 정보를 시그널링을 통해 관련된 관리자 (가령, CMD)에게 통보하는 절차를 의미한다. 이동 단말이 이동하였을 경우 CMD는 관리하고 있는 위치 정보를 업데이트하고 새로운 위치에서 이동 단말의 데이터를 처리할 수 있는 게이트웨이를 선택하게 된다. 이러한 과정에서 네트워크 대역폭이나 게이트웨이의 컴퓨팅 용량 등의 네트워크 자원이 많이 소모 되는 이슈가 발생할 수 있다^[5]. 특히, 잦은 DMM 게이트웨이의 변경은 과도한 위치 관리 시그널링을 발생시킬 수

있으므로^[1] 적절한 DMM 게이트웨이를 선정하는 것이 중요한 이슈이다.

기존 연구에서 다양한 이동성 관리자 선택 기법들이 제안된 바 있다. [6]에서는 IP 핸드오버 지연시간과 패킷손실률을 줄이기 위해서 이동 노드와 이동성 관리자 사이의 거리를 고려하여 이동성 관리자를 선택하는 기법을 제안하였다. 즉, 해당 논문에서는 가장 가까이에 있는 이동성 관리자를 선택하게 되는데 이동 노드가 배치가 균등하지 않다면 특정 이동성 관리자에 위치 관리 부하가 집중되는 문제가 발생할 수 있다. [7]에서는 다수의 이동성 관리자를 클러스터를 묶는 기법을 제안하였다. 클러스터 상의 헤드 관리자는 클러스터 내부 및 클러스터 간의 통신을 담당함으로써 경로 최적화와 핸드오버 지연시간 감소를 제공할 수 있다. [3]에서는 핸드오버 비용을 고려하여 이동성 앵커를 선택하는 기법을 제안하였다. 이러한 연구들이 특정 환경에서는 성능을 향상시키는 측면이 있지만 다양한 이동 노드의 배치, 이동성을 종합적으로 고려하지 못하는 한계가 있다. 특히, 이동성 관리자 선택은 이동성 관리 기법 전반에 큰 영향을 미치므로 위치 관리 측면에서 낮은 시그널링 부하를 제공하면서 동시에 데이터 패킷 전달 측면에서 최적의 경로를 사용할 수 있도록 하는 것이 무엇보다 중요하다. 즉, 이동 노드 측면에서의 시그널링 비용 감소와 네트워크 측면에서의 부하 균형을 모두 만족시켜줄 수 있는 이동성 관리자 선택 기법 설계가 요구된다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 요구사항을 만족시키기 위해 P-DMM 환경에서 안정적인 매칭 (Stable Matching) 알고리즘을 활용하여 이동성 관리자를 선택하는 기법을 제안한다. 즉, 이동성 관리자는 패킷 처리 부하 측면에서 이동 노드에 대한 선호 리스트를 구축하고 이동 노드는 위치 등록 부하 측면에서 이동성 관리자에 대한 선호 리스트를 구축한다. 이 두 선호 리스트를 바탕으로 매칭 알고리즘 기반의 안정적인 이동성 관리자-이동 노드 연결을 설정하게 된다. 시뮬레이션 결과는 제안한 매칭 기반의 이동성 관리자 선택 기법이 기존의 거리 기반의 선택 기법보다 30% 이하의 시그널링 비용을 가지면서 동시에 보다 향상된 부하 분배 성능을 가짐을 보여준다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 기법 설계를 위한 시스템 모델을 소개한다. 그리고 III장에서는 매칭 알고리즘 기반의 이동성 관리자 선택 기법을 설명하고 IV장에서는 시뮬레이션 결과를 제시한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문에 대한 결론을 제시한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 이동성을 지닌 MN과 이를 관리하는 CMD 및 분산된 DMM-GW들로 구성된 모바일 네트워크를 나타낸다. DMM-GW는 여러 RAN의 게이트웨이 역할을 수행하고, MN은 이러한 게이트웨이 중 하나에 등록되어 서비스를 받게 된다. MN은 Session-to-mobility ratio (SMR)에 의해 정의된 이동성을 기반으로 이동하며, SMR 값이 작을수록 큰 이동성을 가지게 된다. 그림 1에 도시된 바와 같이, MN이 이동하여 게이트웨이 업데이트 요청을 CMD에 보내면, CMD는 매칭 기법에 따라 후보 DMM-GW 중 하나를 새로운 DMM-GW로 선택한다. DMM-GW는 용량을 초과하지 않는 선에서 MN을 등록하게 된다. 따라서 이동성이 큰 MN은 게이트웨이 업데이트 요청을 여러 번 발생시킬 것으로 예상할 수 있다. 본 논문에서는 MN은 게이트웨이 업데이트 요청 이후에 CMD에서의 DMM-GW의 변경 여부 및 DMM-GW 선택에 초점을 맞춘다.

MN의 위치 변경은 그림 2와 같이 MN과 모바일 코어의 이전 DMM-GW, 후보 DMM-GW, 그리고 CMD 간에 Proxy binding update (PBU) 및 Proxy binding acknowledgement (PBA) 패킷을 교환하는 바인딩 시그널링을 통해 이루어진다⁸⁾. 제안하는 DMM-GW 선택 기법은 CMD에서 진행되며, 그 결과는 이전 DMM-GW와 새로운 DMM-GW에 전달된다. 본 논문에서 관찰하고자 하는 MN의 위치 등록 비용은 이러한 바인딩 시그널링 과정에서 발생하는 시그널링 비용의 총합을 의미한다.

본 논문은 대부분의 MN들의 이동성은 지역성을 지니며 발생하는 경향이 있다는 사실에 착안한다¹³⁾.

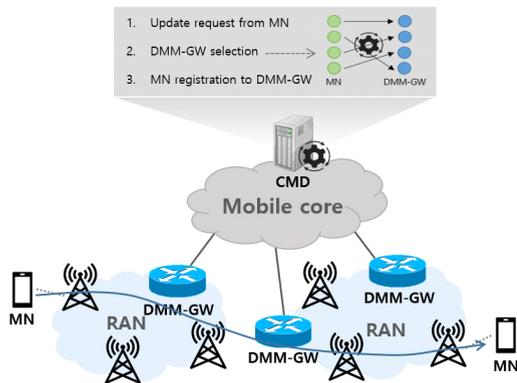


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

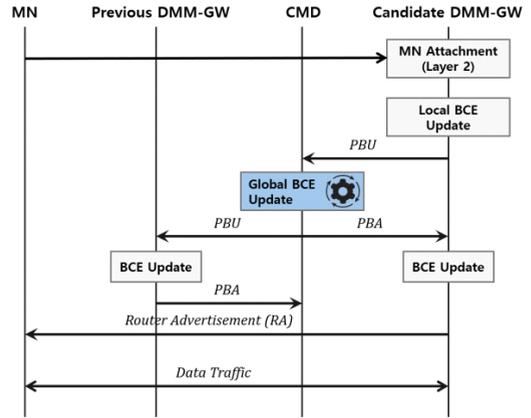


그림 2. DMM-GW 등록을 위한 바인딩 시그널링 과정
Fig. 2. Binding signaling procedure for DMM-GW registration

이는 MN이 높은 확률로 홈 또는 인접 셀 내에서 이동함을 의미한다. 이러한 MN의 이동 지역성은 일부 DMM-GW에 부하를 집중시킬 수 있다. 예를 들어, 특정 DMM-GW에 많은 노드가 등록되어있는 경우 DMM-GW 과부하가 걸릴 수 있다. 또한 DMM-GW 변경 시 마다 매번 코어망에서 PBU/PBA 패킷을 교환하게 하므로 이는 네트워크에 큰 부하를 준다. 이러한 네트워크 전체의 밀집도 상태를 정량화하기 위해 지프 분포¹⁴⁾를 사용하였다. 따라서 MN은 아래 식에 따라 초기 배치된다.

$$Z(g) = \frac{g^{-\alpha}}{\sum_{k=1}^G k^{-\alpha}} \quad (1)$$

(1)에서 $Z(g)$ 는 MN이 g 번째로 밀집된 DMM-GW에 등록될 확률을 의미하고 이를 통해 MN은 G 개의 DMM-GW에 분포된다. 또한, α 는 MN 밀집도를 조절할 수 있도록 하는 지프 분포의 매개변수이고, α 값이 작을수록 MN은 균일하게 분포된다.

III. 매칭 기법을 이용한 이동성 관리자 선택

안정적인 매칭 알고리즘은 게일-새플리의 연구⁹⁾를 시작으로 현재까지 광범위하게 연구되었다. 안정적인 매칭이란 서로에 대한 선호를 지닌 두 집단 사이에 최적의 매칭을 찾는 알고리즘이다. 두 집단은 상대 집단에 대한 선호도를 작성하고, 한 집단의 선호도에 따라 상대 집단에 제안하는 방식을 통해 제한한 집단에 대

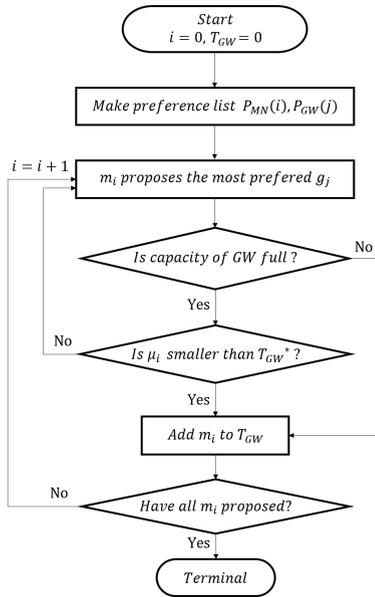


그림 3. 매칭 기법 기반의 DMM-GW 선택 알고리즘
Fig. 3. DMM-GW selection scheme based on matching algorithm

해 최적화된 매칭을 만든다. 특히, 본 논문에서는 여러 MN을 하나의 DMM-GW에 매칭하기 위해 Many-to-one 안정적인 매칭 기법^[10]을 적용하였다.

그림 3은 매칭 기법을 사용한 DMM-GW 선택 알고리즘이다. 본 논문에서는 CMD가 MN과 DMM-GW 사이의 거리, 이전 DMM-GW, 현재 MN의 위치 및 모든 MN의 이동성 정보를 가지고 있는 것으로 가정한다^[8]. 표 1은 성능 분석 모델을 위해 사용된 파라미터들을 보여준다.

안정적인 매칭을 하기 위해서는 먼저 두 집단의 서로에 대한 선호 리스트를 구축해야 한다. DMM-GW의 경우 패킷 처리 부하 감소를 위해 이동성이 낮은 MN을 가장 선호하게 되므로 선호 리스트는 이동성이

표 1. 성능 분석을 위한 파라미터
Table 1. Parameters for performance evaluation

Notation	Definition
m_i	i th MN ($i = 1, 2, \dots, M$)
g_j	j th DMM-GW ($j = 1, 2, \dots, G$)
$P_{MN}(i)$	m_i 's preference list over g_j
$P_{GW}(j)$	g_j 's preference list over m_i
T_{GW}	Temporary m_i accept list
T_{GW}^*	m_i that have the highest mobility in T_{GW}
μ_i	SMR of m_i

낮은 순으로 작성하게 된다. MN의 경우 낮은 트래픽 비용으로 데이터를 수신할 수 있도록 거리가 가까운 DMM-GW에 등록하는 것이 유리하므로 거리, 즉 홉 수가 가까운 순으로 선호 리스트를 작성한다. 각 선호 리스트는 $P_{MN}(i)$ 와 $P_{GW}(j)$ 으로 나타낸다. MN의 선호 목록에 기초하여, 각 MN이 가장 선호하는 DMM-GW에게 매칭을 제안한다. DMM-GW는 제안을 수락하기 전에 용량을 고려해야 하는데, 용량이 충분하면 제안을 수락한다. 한편 T_{GW} 는 DMM-GW가 임시로 수락한 MN 리스트이다. 또한 T_{GW} 에서 가장 이동성이 높은 MN을 T_{GW}^* 으로 나타낸다. DMM-GW에 등록하고자 하는 MN의 수가 많아 MN을 등록할만한 용량이 남아있지 않다면, DMM-GW는 기존에 작성하였던 서로 리스트에 기반하여 매칭을 제안한 MN과 T_{GW}^* 을 비교한다. 즉, 높은 이동성을 가지는 MN은 탈락하고, 낮은 이동성을 가지는 MN이 DMM-GW에 임시 매칭된다. 탈락한 MN은 선호 리스트에 따라 두 번째로 선호하는 DMM-GW에 다시 매칭 제안을 하게 된다.

알고리즘은 모든 MN이 DMM-GW에 제안할 때까지 반복된다. 제안 알고리즘에 의하여 MN의 선호도를 우선시하기 때문에 MN은 낮은 트래픽 비용으로 데이터를 수신할 수 있게 된다. 또한 부하가 높은 지역에서는 이동성이 높은 MN이 거부될 확률이 높아지기 때문에 특정 지역에 부하가 집중된 경우 이동성이 높은 MN은 거리가 먼 DMM-GW에 등록될 수 있다. 이는 결과적으로 DMM-GW에서의 빈번한 패킷 처리 부하를 감소시킬 수 있다.

매칭 알고리즘 수행 시 DMM-GW의 용량이 충분하여도 MN의 거절하거나 MN이 선호도가 낮은 DMM-GW에 먼저 제안하여 매칭된 결과가 있다면 이는 알고리즘 결과가 안정적이지 못한 상태라는 것을 의미한다. 그러나 본 논문에서 제안하는 기법은 라운드마다 가장 선호되는 DMM-GW가 MN의 제안을 받고, DMM-GW 또한 용량이 가득 찰 때까지 그 제안을 거부하지 않기 때문에 해당 상황은 발생하지 않으므로 알고리즘이 안정적인 것을 확인할 수 있다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안하는 기법의 성능을 분석하기 위해 MATLAB을 사용하여 5개의 DMM-GW와 1000개의 MN이 포함된 네트워크를 구성하였다. 각 MN은 이동 속도가 높을수록 인접 셀로 이동하는 횟

수가 많아지는데, 이러한 MN 이동성은 감마 분포를 따른다²⁾. 제한한 알고리즘인 매칭 알고리즘에 기반한 DMM-GW 선택은 랜덤하게 DMM-GW를 선택하는 방식 및 거리 기반 DMM-GW 선택 방식과 비교한다. 거리 기반 선택 방식은 MN과 홉 수가 가장 가까운 DMM-GW를 선택하는 방식이다⁶⁾.

4.1 시그널링 비용에 대한 SMR의 영향

제안 기법에 대해 SMR의 영향을 살펴보기 위해, 즉 MN의 이동성에 대한 제안 기법의 성능을 관찰하기 위해 수식 (1)의 노드 밀집도 변수 α 를 1.0으로, SMR의 세션 비율을 1로 고정하였다. MN의 위치 분포가 매우 불균형한 환경에서 MN이 이동함에 따라 발생하는 시그널링 비용을 알아보기 위함이다. 각 기법에 따라 모든 DMM-GW에서 생성되는 바인딩 시그널링 비용의 총합을 나타내었고, 그림 4에 도시된 바와 같이 SMR 값이 증가할수록 총 시그널링 비용은 세 가지 기법 모두에서 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 MN의 높은 이동성은 코어망에서의 빈번한 핸드오버 및 위치 업데이트를 유발하여 높은 시그널링 비용을 생성하기 때문이다.

제안 기법과 비교 기법 간에도 비용 차이가 존재하는데, 전체 DMM-GW에서 발생하는 시그널링 비용의 평균값을 측정하였을 때 제안 기법이 랜덤하게 DMM-GW를 선택하는 방식에 비해 54%, 거리 기반 방식에 비해 29% 낮은 비용을 발생시키는 것을 확인할 수 있다. 매칭 기법이 MN과 DMM-GW 간의 거리 뿐만 아니라 사용자의 이동성을 고려하기 때문에 상

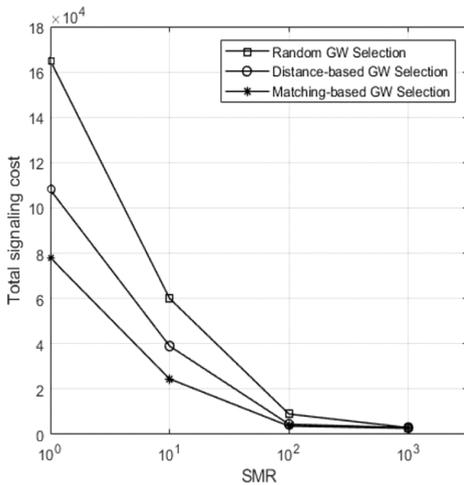


그림 4. 시그널링 비용에 대한 SMR의 영향
Fig. 4. Effect of SMR on signaling cost

대적으로 낮은 비용을 발생시키는 것으로 볼 수 있다. 반면 거리 기반 방식은 빠른 속도로 이동하는 MN에 잦은 핸드오버를 발생시킨다. 이동성이 아주 높은 MN에 대해 제안 기법은 매번 핸드오버하지 않고 거리가 먼 DMM-GW에 등록하도록 하기 때문에 전체 네트워크 관점에서 잦은 위치 업데이트를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

4.2 네트워크 부하에 대한 이동 노드 밀집도의 영향

MN의 위치 분포가 부하 공정성에 어떤 영향을 주는지 알아보았다. SMR을 1.0으로 고정하고 α 를 0.1부터 1.0까지 변화를 주어 제안 기법이 비교 기법에 비해 얼마만큼의 부하 공정성을 갖는지 확인하였다. 본 실험에서는 부하 공정성 측정을 위해 부하 공정성 지수로 Jain's fairness index^[11]를 사용하였고, 이는 다음과 같다.

$$F(L) = \frac{(\sum_{g=1}^G L_j)^2}{G \sum_{g=1}^G L_j^2} \tag{2}$$

L_j 은 DMM-GW g_j 의 부하, 즉 DMM-GW에 등록되는 MN의 수이다. $F(L)$ 은 0과 1 사이의 값을 갖는데, 이 값이 클수록 부하 공정성이 높다. 따라서 $F(L) = 1$ 은 모든 DMM-GW가 동일한 부하를 가지는 상태를 의미한다.

그림 5는 노드 밀집도 변수 α 에 따라 다른 부하 공정성을 나타낸다. 해당 시물레이션에서는 제안 기법과

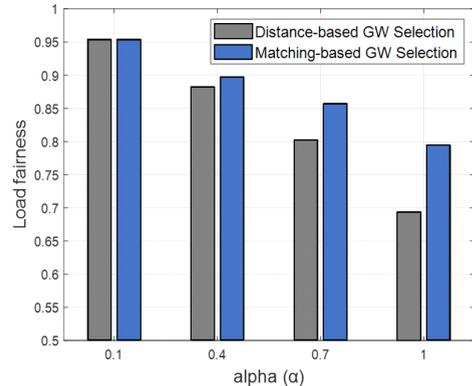


그림 5. 부하 공정성에 대한 MN 위치 분포의 영향
Fig. 5. Effect of MN distribution on load fairness

거리 기반 DMM-GW 선택 방식을 비교하였다. 두 방식 모두 MN의 분포가 집중될수록 부하 공정성이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 두 방식 모두에서 지역 밀도가 증가(즉, α 증가)하였을 때 모든 MN이 거리가 가까운 DMM-GW에 등록하려고 하기 때문이다. 한편, 매칭 기법을 사용한 방식이 거리 기반 방식에 비해 부하 공정성이 우수하다는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 언급한 것과 같이 용량 제한으로 인해 특정 DMM-GW가 모든 MN을 등록할 수가 없으므로 일부 MN은 다른 DMM-GW에 등록해야 하는데, 매칭 기법의 경우 이동성이 매우 높아 신호도가 높은 DMM-GW에 등록되지 못한 MN은 거리가 먼 DMM-GW에 등록되도록 한다. 따라서 지역 부하가 완화되고 전체 트래픽이 분산된다.

4.3 중단 간 지연 시간 분석

제안 기법과 비교 기법의 중단 간 지연 시간을 분석하기 위해서 SMR을 1.0으로, 노드 밀집도 변수 α 를 0.7로 고정하였다. 또한 MN이 가장 가까운 DMM-GW에 등록되는 경우의 홉 수 및 중단 간 지연 시간을 1로 정규화하고, 거리에 비례하여 더 높은 지연 시간을 가지도록 시뮬레이션 파라미터를 설정하였다. 거리 기반 방식의 경우, 중단 간 지연 시간은 MN의 초기 분포에 크게 영향을 받는다. 따라서 MN이 거리가 가장 가까운 DMM-GW에 등록되어, 평균적으로 1에 가까운 중단 간 지연 시간을 가지는 것을 그림 6을 통해 확인할 수 있다. 이러한 거리 기반 방식과 비교하였을 때 제안 기법은 11% 더 긴 중단 간 지연 시간을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 제안 기법은

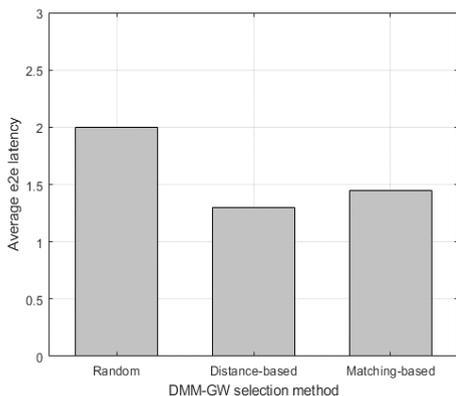


그림 6. DMM-GW 선택 기법에 따른 중단 간 평균 지연 시간
 Fig. 6. Average end-to-end latency according to DMM-GW selection scheme

이동성이 높은 MN은 가장 가까운 거리의 DMM-GW에 등록되는 경우보다 거리는 멀지만 용량이 충분한 DMM-GW에 등록되어 데이터를 수신하기 경우가 많기 때문이다.

V. 결론

이동통신망에서 이동 노드의 높은 이동성은 모바일 네트워크에 큰 부하를 주고, 이를 분산적으로 관리하는 분산 이동성 관리 방식이 주목받고 있다. 본 논문에서는 부분 분산 이동성 관리 환경에서 매칭 기법을 사용하여 이동성 관리자를 선택하는 방안을 제안하였다. 제안 기법은 이동 노드와 DMM 게이트웨이의 요구사항을 고려한 안정적인 매칭을 통해 최적의 DMM 게이트웨이를 선택하게 된다. 시뮬레이션을 통해 제안 기법이 거리 기반 기법보다 11% 증가된 중단 간 지연 시간을 보이지만 29% 낮은 시그널링 비용과 보다 높은 형평성을 제공함을 확인하였다. 향후에는 제안한 알고리즘을 확장하여, 보다 다양한 환경과 변수를 고려한 성능 분석 및 최적화를 진행할 계획이다.

References

- [1] H. Jeong, H. Choi, and S. Pack, "Stable matching-based mobility agent selection in distributed mobility management," in *Proc. ICUFN*, Jeju, Korea, Aug. 2021. (<https://doi.org/10.1109/ICUFN49451.2021.9528781>)
- [2] F. Giust, "Distributed mobility management for a flat architecture in 5G mobile networks: Solutions, analysis and experimental validation," Ph.D. dissertation, Universidad Carlos III de Madrid, Spain, pp. 1-195, Mar. 2015. (<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11746.94400>)
- [3] B. Davaasambu, T. Telmuun, D. Sasko, Y. Keping, and S. Sodbileg, "A novel anchor selection scheme for distributed mobility management," *Comput. Sci.*, vol. 22, no. 1, Feb. 2021. (<https://doi.org/10.7494/csci.2021.22.1.3708>)
- [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 Commun. Mag.*, vol. 51, no. 3, pp. 80-87, Mar. 2013. (<https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6476870>)
- [5] D. 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, Mar.-Apr. 2013. (<https://doi.org/10.1109/MNET.2013.6485093>)
- [6] Y. Xu, H. C. J. Lee, and V. L. L. Thing, “A local mobility agent selection algorithm for mobile networks,” in *Proc. IEEE ICC*, pp. 1074-1079, Anchorage, AK, USA, May 2003. (<https://doi.org/10.1109/ICC.2003.1204523>)
- [7] S. M. Ghaleb, S. Subramaniam, Z. A. Zukarnain, and A. Muhammed, “Load balancing mechanism for clustered PMIPv6 protocol,” *EURASIP J. Wireless Commun. and Netw.*, vol. 135, May 2018. (<https://doi.org/10.1186/s13638-018-1137-y>)
- [8] M. K. Murtadha, N. K. Noordin, B. M. Ali, and F. Hashim, “Design and evaluation of distributed and dynamic mobility management approach based on PMIPv6 and MIH protocols,” *Wirel. Netw.*, vol. 21, no. 8, pp. 2747-2763, Nov. 2015. (<https://doi.org/10.1007/s11276-015-0950-z>)
- [9] D. Gale and L. S. Shapley, “College admissions and the stability of marriage,” *The Am. Math. Monthly*, vol. 69, no. 1, pp. 9-15, Jan. 1962. (<https://doi.org/10.2307/2312726>)
- [10] J. Sethuraman, C. P. Teo, and L. Qian, “Many-to-one stable matching: Geometry and fairness,” *Math. Oper. Res.*, vol. 31, no. 3, pp. 581-596, Aug. 2006. (<https://doi.org/10.1287/moor.1060.0207>)
- [11] R. K. Jain, D. M. Chiu, and W. R. Hawe, “A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer system,” *Eastern Res. Laboratory, Digital Equipment Corporation*, Hudson, MA, USA, Sep. 1984. (<https://doi.org/10.48550/arXiv.cs/9809099>)
- [12] S. Wie and J. Jang, “A study for performance evaluation of distributed mobility management based on proxy mobile IPv6,” *J. KIICE*, vol. 19, no. 1, pp. 97-105, Jan. 2015. (<https://doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.1.97>)
- [13] E. N. Onwuka, “A paging design for mobile cellular internet enhanced by locality in user-behavior,” *Scientific Research and Essay*, vol. 3, no. 10, pp. 460-466, Oct. 2008. (<https://doi.org/10.5897/SRE.9000099>)
- [14] M. Dohler, T. Watteyne, F. Valois, and J.-L. Lu, “Kumar’s Zipf’s and other laws: How to structure a large-scale wireless network?,” *Annals of Telecommun.*, vol. 63, no. 5-6, pp. 239-251, Jun. 2008. (<https://doi.org/10.1007/s12243-008-0026-5>)

정 현 재 (Hyeon-jae Jeong)



2019년 : 충남대학교 전과정보통신공학과 학사
2019년~현재 : 고려대학교 전기전자공학과 박사과정
<관심분야> 5G/6G, 모바일 네트워크, 엣지 컴퓨팅

[ORCID:0000-0002-6320-7063]

백 상 현 (Sangheon Pack)



2000년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
2005년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
2005년~2006년 : 캐나다 워털루대학교 Postdoctoral Fellow
2007년~현재 : 고려대학교 전기전자공학과 교수

<관심분야> 소프트웨어 정의 네트워크, P4, B5G/6G, 엣지/포그 컴퓨팅, 차량 네트워크, 네트워크 자동화

[ORCID:0000-0002-1085-1568]