

전술 기동망의 이동성 지원을 위한 PMIP기반 분산 이동성 관리 적용방안

선경재¹⁾ · 김영한^{*2)} · 노홍준³⁾ · 박형원³⁾ · 한명훈⁴⁾ · 권대훈⁴⁾

¹⁾ 송실대학교 정보통신소재융합학과

²⁾ 송실대학교 정보통신공학과

³⁾ LIG넥스원(주) C4I연구소

⁴⁾ 국방과학연구소 제2기술연구본부

PMIP-based Distributed Mobility Management for Tactical Network

Kyoungjae Sun¹⁾ · Younghan Kim^{*2)} · Hongjun Noh³⁾ · Hyungwon Park³⁾ ·
Myounghun Han⁴⁾ · Daehoon Kwon⁴⁾

¹⁾ Department of ICMC Convergence Technology, Soongsil University, Korea

²⁾ Department of Electronic Engineering, Soongsil National University, Korea

³⁾ C4I R&D Center, LIG Nex1, Korea

⁴⁾ The 2nd R&D Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 18 June 2019 / Revised 16 August 2019 / Accepted 6 September 2019)

ABSTRACT

The tactical network has several different characteristics compared with commercial internet network such as hierarchical topology, dynamic topology changing and wireless link based connectivity. For considering IP mobility management in the tactical network, current mobility management using Mobile IP(MIP) is not suitable with some reasons such as non-optimal routing paths and single point of failure. Proxy Mobile IP(PMIP) which supporting network-based mobility in hierarchical manner can provide optimal routing path in the tactical network environment, but centralized anchor is still remained a threat to the stability of the tactical network which changes its topology dynamically. In this paper, we propose PMIP-based distributed mobility management for the tactical network environment. From our design, routing paths are always configured in optimized way, as well as path is recovered quickly when the mobility anchor of user is failed. From numerical analysis, comparing to other mobility scheme, result shows that the proposed scheme can reduce packet transmission cost and latency in tactical network model.

Key Words : Distributed Mobility Management(분산 이동성 관리), Proxy Mobile IP(프록시 모바일IP), Tactical Network (전술망)

* Corresponding author, E-mail: younghak@ssu.ac.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

1. 서론

전술망은 감시정찰, 정밀타격, 지휘통제체계를 하나로 묶어주는 무선망 기반 체계로써, 기존의 상용 통신망과는 달리 다양한 환경에서의 생존성, 안정성 및 신뢰성을 제공해야 한다^[1]. 전술망은 상용 인터넷망과 매우 다른 구조적, 환경적 특성을 가지고 있다. 첫째, 전술망은 무선 링크를 기반으로 연결되어 있으며 주파수의 사용이 제한적이기 때문에, 유선 링크 기반의 상용망에 비해 상대적으로 낮은 전송속도를 가지고 있다. 둘째, 부대 단말이 접속하는 전술 기동망은 작전 기동에 따라 토폴로지가 변화하나 군의 상하위 계대 구조에 따라 계층적 트리 구조로 연결될 가능성이 높다. 셋째, 전술망에서는 작전에 따라 부대 또는 단말이 이동하는 상황이 빈번하게 발생할 수 있으며, 이로 인해 망의 토폴로지가 고정되어 있지 않고 동적으로 변화하는 특성을 가지고 있다. Fig. 1은 이러한 전술 기동망의 구조를 개략적인 예시로써 나타낸 것이다. 그림은 상위 계대에서 하위 계대로 다수의 트리 구조를 통해 통신소가 접속하는 예시를 보여주고 있다. 이러한 구조는 고정적으로 운영되지 않으며, 작전에 따라 계대 간 이동성이 전투원 단위 및 부대 단위로 발생할 수 있다. 따라서 전술망에서의 토폴로지의 동적 재구성 및 단말 이동에도 단말의 도달성을 안정적으로 제공하면서 트래픽의 경로를 동적으로 재구성할 수 있는 이동성 관리 방안이 전술망에서 요구된다.

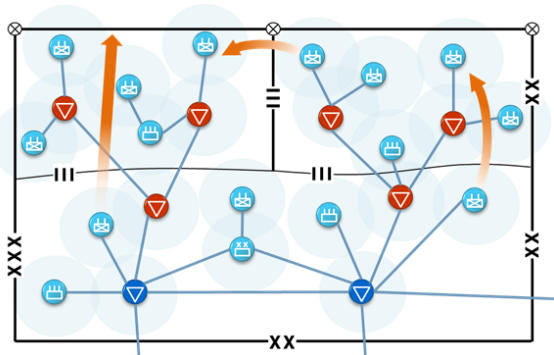


Fig. 1. Tactical network architecture

상용 인터넷망을 기반으로 하는 기존의 이동성 프로토콜들은 단말이 이동하여 위치가 변경되는 경우에도 단말의 IP 주소를 유지시키고, 해당 주소에 대한 네트워크 경로를 동적으로 생성해주기 위해 제안되었다.

MIP(Mobile IP) 및 PMIP(Proxy Mobile IP)등과 같은 이동성 프로토콜은 안정적인 유선 링크 기반의 상용 인터넷 환경을 기반으로 설계되었기 때문에, 전술 기동망에 이를 적용하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 고려사항이 요구된다. 첫째, 기존의 이동성 프로토콜은 이동성 앵커를 통해 도메인 내 단말의 위치를 추적하고 트래픽 경로의 관리를 수행하나, 이는 전장 환경에서 고정적인 앵커의 파괴 등으로 인한 망의 신뢰성을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 둘째, 계층적 트리 구조의 전술 기동망 구조에서 앵커의 위치에 따라 단말의 이동에 따른 트래픽 경로의 비최적화 현상이 발생할 수 있으며, 이는 제한적인 무선 자원으로 운영되는 전술망에서 성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다.

위에서 언급한 전술망의 한계점들을 고려하여 본 논문에서는 전술 기동망에 적합한 PMP기반의 분산 이동성 관리 적용 방안을 제안하였다. 제안하는 방안의 주요 특징은 다음과 같다. 첫째, 제안하는 방안은 전술 기동망의 계층적 구조에 적합하게 설계되었으며, 이에 따라 컨트롤 및 데이터 트래픽에 대한 최적화를 수행하였다. 둘째, 고정된 앵커에 의한 망의 안정성 문제를 해결하기 위해, 제안 구조는 분산 데이터베이스 운영을 통해 특정 상황에서 각 네트워크 기능의 동적 역할 변경이 가능하게 함으로써 네트워크 상태를 유지하면서 지속적인 망 내 트래픽 전달을 수행할 수 있는 안정성 강화 방안을 제안하였다. 마지막으로, 확장성을 위해 본 제안은 단일 이동성 도메인 내 이동 시나리오뿐만 아니라, 도메인 간의 이동성 시나리오를 함께 고려하였다. 다음 장에서는 기존의 상용 인터넷에서의 표준 이동성 관리 기술을 소개한다. 3장에서는 제안하는 방안의 구조 및 운영에 대한 상세 설계 내용을 제안한다. 4장에서는 제안 방안의 분석을 위한 전술 기동망을 가정한 분석 모델을 설계하고 이에 따른 분석 및 결과를 기술한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련연구

본 장에서는 전술 기동망 구조에 적용하기 위한 표준 기반의 이동성 관리 기술 개요 및 이를 군 전술 기동망에 적용 시 장단점에 대해 설명한다. 이동성 관리 기술은 표준 이외에도 다양한 목적과 환경에 맞게 최적화를 수행한 연구들이 많이 제안되었으나, 본 장에서는 주로 IETF 표준 기술을 기반으로 기술한다.

2.1 MIP(Mobile IP)

MIP는 2002년에 표준화로 공식 제정된 이동성 관리 기술로써, 단말 기반의 이동성 관리 기술로 분류된다. MIP는 IPv4^[2] 및 IPv6^[3]를 위한 각 표준을 제정하였다. MIP는 이동 단말인 MN(Mobile Node)가 네트워크에 접속 시, 네트워크에서 단말의 앵커로 정의되는 HA(Home Agent)와의 메시지 교환을 통해 MN의 홈 주소인 HoA(Home of Address)를 할당받고, MN의 ID 정보와 주소를 HA 내 Binding Table에 기록한다. 이후, MN는 HoA 주소를 사용하여 네트워크 내 다른 노드인 CN(Corresponding Node)와 패킷을 주고받을 수 있다. MN이 HA가 관리하는 네트워크를 벗어나 다른 네트워크로 이동하면, MN은 새로운 네트워크에서 받은 주소(CoA: Care of Address)를 할당 받고 네트워크의 이동을 감지하여 자신의 HA로 Binding Update(BU) 메시지를 보내어 변경된 위치를 등록 요청한다. 이 때, HA에서는 MN의 CoA 정보를 Binding Table에 등록함으로써 기존 주소인 HoA를 목적으로 오는 패킷을 가로채어 MN에게 전송할 수 있게 된다. 즉, MN이 이동 후에도 통신 중인 CN은 단말의 변경된 위치와 상관없이 기존의 HoA 주소로 패킷을 보낼 수 있으며, 이를 MN의 앵커 노드인 HA에서 패킷 캡슐화를 통해 MN과 직접 IP 터널링을 생성함으로써 단말의 위치와 상관없이 기존 주소로의 패킷을 정상적으로 수신할 수 있다.

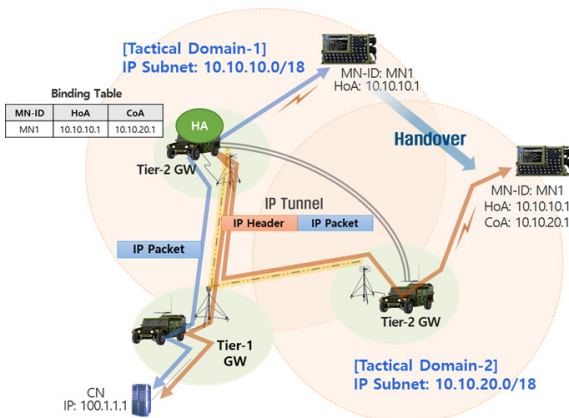


Fig. 2. MIP-based tactical network architecture

MIP는 현재 전술 기동망에서 지원하고 있는 이동성 프로토콜로써, 각 기동단말들이 접속하는 기동망 게이트웨이가 HA의 역할을 수행하고 있다. Fig. 2은 현재

MIP 기반의 전술 기동망 구조를 나타낸 것이다. 서론에서 제기한 것과 같이 전술기동망은 계층적 트리 형태로 구성이 가능하기 때문에, 단말이 다른 도메인으로 이동하여 HA와의 터널링을 수행하면 실제 패킷이 전달되는 경로는 상위의 GW 기능을 거쳐 전달이 될 수밖에 없어 경로의 비최적화로 인한 패킷 전달 지연 시간 및 높은 전달 비용을 야기한다. 또한, MIP은 단말 기반의 이동성으로써, MN이 직접 자신의 이동성을 판단하여 시그널링을 보내야 하기 때문에 단말에서부터 메시지가 전송되어 많은 단말이 한꺼번에 접속하는 경우에 시그널링 메시지의 증가로 인한 자원 부족 현상이 발생할 수 있다.

2.2 PMIP(Proxy Mobile IP)

PMIP은 MIP와는 달리, 네트워크 기반의 이동성 관리 기술로 분류된다. 즉, 단말은 이동성 절차에 참여하지 않을 뿐만 아니라 이동상황을 전혀 인지하지 않고 네트워크에서 단말의 이동에 대한 감지와 이에 따른 이동성 지원 절차를 모두 수행하는 것을 의미한다. PMIP은 2008년에 IETF에서 표준화 기술로 제정되었으며^[4], 기본 개념은 MIP에서 MN이 수행하던 이동성 관련 역할을 네트워크에서 대신 수행하기 위한 프록시 기능을 앵커와 단말 사이에 배치하는 것이다. PMIP에서의 이동성 앵커는 LMA(Local Mobility Anchor)로 정의되며, 단말과 LMA사이에는 단말이 접속하는 곳에서 프록시 역할을 수행하는 MAG(Mobile Access Gateway)를 정의한다. PMIP 구조에서, MN이 네트워크에 접속하여 해당 지역의 MAG에 접속하면, MAG는 RS(Routing Solicitation) 메시지를 통해 MN의 접속을 확인한 후, MN의 ID를 포함하여 PBU(Proxy Binding Update) 메시지를 LMA에 전송한다. LMA에서는 MN의 ID 및 접속 MAG의 정보를 Binding Table에 기록하고, MN을 위한 IP 주소를 할당하여 PBA(Proxy Binding Ack) 메시지를 MAG에 전송하고, 해당 주소로 오는 패킷에 대한 IP 터널을 설립한다. 단말이 RA(Routing Advertisement) 메시지를 통해 할당된 IP 주소를 받게 되면, MN과 CN 간의 패킷은 LMA-MAG 구간에서 LMA의 주소와 MAG의 주소를 송수신 주소로 하는 IP 헤더로 캡슐화되어 전달된다. 단말이 이동하여 다른 MAG로 접속하는 경우에도 동일한 PBU-PBA 메시지 교환 과정을 거치게 되며, 이 경우 LMA에서는 Binding Table 내 단말의 위치 정보를 업데이트 후, IP 터널의 송수신지 주소를 변경함으로써 MN의 트래픽

의 연속성을 지원할 수 있다.

Fig. 3는 이러한 PMIP 기반의 구조를 전술 기동망에 적용한 구조를 나타낸 것이다. PMIP기반의 이동성 관리 방안을 적용했을 때 얻을 수 있는 가장 큰 장점으로서는 계층적으로 구성된 전술기동망의 상위 노드를 앵커인 LMA로 구성함으로써 기동단말의 이동 시 변경되는 경로의 최적화를 수행할 수 있다는 것이다. 이는 하위 전술도메인 간 전술 기동 등에 따른 이동성 지원에서의 안정성을 향상시켜줄 수 있으며, 이동성 관리에 따르는 네트워크 자원 비용을 감소시켜줄 수 있을 것으로 예상된다.

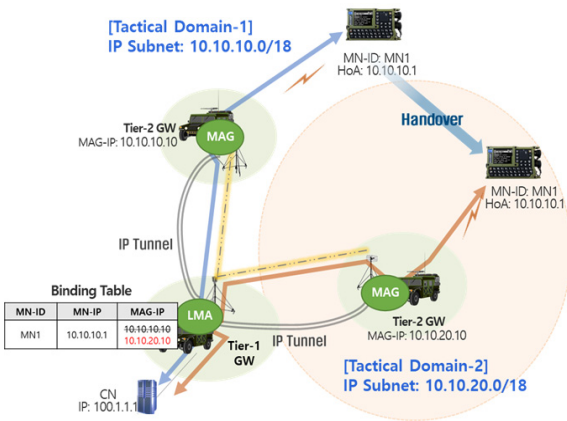


Fig. 3. PMIP-based tactical network architecture

2.3 DMM(Distributed Mobility Management)

앞서 기술한 MIP, PMIP 등의 이동성 관리 기술은 중앙의 단일 앵커를 배치하는 구조적인 공통점을 가지고 있다. 이는 네트워크 내 단말의 이동을 추적하기 용이하고, 단말의 관리 집중화를 통해 네트워크 관리를 효율적으로 수행할 수 있다는 장점이 있으나, 확장성 및 안정성 면에서 여러 한계를 가지고 있다^[5]. 첫째로, 단일 앵커 기반의 이동성 관리 구조는 앵커의 장애 시 앵커가 관리하고 있는 모든 단말들의 트래픽 전달에 영향을 미친다. 특히, 네트워크 기반 이동성 관리 기술인 PMIP에서 LMA의 장애가 발생하는 경우에는 네트워크 내 접속한 모든 단말에 대한 이동성 및 패킷 전달이 불가능하다. 또한, 이동성 도메인의 모든 트래픽은 앵커를 거쳐 단말 또는 단말의 접속지점까지의 터널링을 통해 이루어지기 때문에 앵커와의 물리적 거리가 멀어지거나 통신 상대 노드와의 물리적 거리가 앵커와의 거리보다 가깝더라도 무조건 앵

커 노드를 거쳐 패킷이 전달되어야 하는 비효율적인 문제가 발생한다. 마지막으로, 단일 앵커는 단말의 데이터 트래픽과 이동성 시그널링을 모두 처리하기 때문에 네트워크 내 단말의 수가 증가할수록 앵커에 대한 프로세싱 부하를 증가시켜 앵커의 성능을 저하시킬 수 있다.

위에서 언급한 단일 앵커 형태에서의 한계점을 해결하기 위해서, IETF에서는 분산형 이동성 관리 기술인 DMM 기술을 논의하기 시작하였다. DMM의 초기 핵심 개념은 기존의 중앙 단일 앵커의 기능을 네트워크 내 단말 가까운 곳으로 분산 배치하는 것이다. 이를 통해서 중앙 앵커로의 트래픽 병목을 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 단말의 가까운 곳에서 앵커 역할을 수행하기 때문에 단말의 이동 시 데이터 트래픽의 경로도 최적화 및 분산 될 수 있다는 장점이 있다. 추가적으로, DMM에서는 단말의 이동성을 실제 단말이 이동 시에만 지원하기 위해서 단말의 초기 접속 시에는 이동성 시그널링 없이 일반적인 라우팅 과정에 의해 트래픽을 전달하고, 이동하여 다른 분산 앵커 기능에 접속하는 경우에 대해서만 이전 주소의 앵커와의 시그널링을 통해 트래픽을 전달하고자 하였다. DMM에서는 단말이 복수의 IP를 할당 받을 수 있게 하였는데, 이는 단말이 이동하면서 초기에 접속한 앵커에 종속되지 않고, 각 분산 앵커에서 할당받은 주소는 이동 후 세션이 만료될 때 까지만 사용하고 새로운 네트워크에서 생성되는 세션은 해당 네트워크의 앵커로 할당받은 IP 주소를 사용함으로써 단말의 지속적 이동에 따른 라우팅의 비최적화 문제를 해결할 수 있다. 다만, 이에 따라 단말에서 복수개의 IP 주소를 운영할 수 있는 기능의 구현이 필요하다.

DMM의 실제 구현 및 적용에 있어서는 MIP 기반과 PMIP 기반의 프로토콜을 분산 앵커 형태로 확장하는 방식이 제안되었다. MIP기반의 DMM^[6]은 단말의 이동 시, 단말에서 직접 이동성을 감지하고 기존 주소의 앵커와 시그널링 교환을 통해 터널링을 수행한다. 반면 PMIP기반의 DMM은 네트워크 기반의 이동성 지원으로 단말의 이동을 각 분산 앵커에서 감지하고, 해당 단말의 기존 주소에 대한 분산 앵커와 시그널링 교환을 통해 트래픽 전달을 위한 터널을 생성한다. 특히, PMIP 기반의 DMM^[7]에서는 단말의 기존 주소에 대한 앵커의 정보를 각 분산앵커들이 공유하기 위한 부분 분산형 DMM 적용 방안이 제안되었다. 이는 기존에 PMIP 구조에서 LMA 역할을 하던 중앙 노드의 기능

을 Binding Table만을 관리하는 역할로 축소하여 CMD (Centralized Mobility Database)로 규정하고 단말의 이동 시 각 앵커에서 해당 정보를 업데이트 하되, 실제 트래픽의 전달은 분산 앵커 간 직접 터널링을 통해 전달하도록 하였다. 이 외에도 분산 환경에서 다수의 단말의 효율적 이동성 제공을 위한 그룹 이동성 관리 기술^[10], PMIP의 구성요소 및 인증 기능을 더 세분된 기능으로 나누어 분산 배치하는 기능 분산 이동성 방안^[11] 등이 연구되기도 하였다.

본 논문에서 고려하는 전술 기동망 구조를 고려했을 때에는 그 효과가 미비하다. 첫째로, DMM의 분산 앵커는 단말의 접속지점에 가까이 배치되어야 하는데, 이 경우 전술기동망의 구조 상 분산 앵커 간 직접 터널링은 MIP 기반의 이동성 관리와 동일하게 상위 노드를 거쳐 가야 하는 트래픽 경로의 비최적화 현상이 발생한다. 또한, 단말에 복수개의 IP를 적용하는 방안은 군의 전술 단말 관리 및 IP 주소체계 관리에 대한 검토가 앞서야 하므로 망 적용에 어려움이 있다. 따라서, 전술기동망의 구조적 특성에서 경로를 최적화하면서도 기존 중앙 단일 앵커형태의 이동성 관리 기술의 안정성 문제를 보완할 수 있는 방안이 요구된다.

3. 전술망을 위한 PMIP기반의 분산 이동성 관리 적용 구조 및 절차

본 장에서는 군 전술 기동망에 적합한 PMIP 기반의 분산 이동성 관리 기술을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 이동성 기술의 특징은 다음과 같다. 첫째로, 전술기동망의 구조적 특성을 반영하여 기본적인 이동성 지원 노드의 구성 및 동작은 PMIP 기반의 이동성 관리 구조와 동일하게 설계함으로써, 전술 기동망에서 계층적 구조에 따르는 경로 비최적화 문제를 해결하였다. 두 번째로, PMIP에서 LMA의 안정성 및 신뢰성 문제를 해결하기 위해서 각 노드들이 필요에 따라 LMA 및 MAG의 역할을 동적으로 전환할 수 있도록 함으로써, PMIP 기반 구조에서 발생할 수 있는 단일 앵커로 인한 신뢰성 안정성 문제를 해결하고자 하였다. 마지막으로, 이동성 도메인 내 모든 네트워크 노드에 이동성 관리를 위한 동일한 데이터베이스를 분산 구축하고, 이를 단말의 이동 및 네트워크 노드의 변경에 따라 동적으로 동기화 및 복구함으로써 분산 이동성 관리의 장점과 함께 신속한 동적 전환을 가능하게 하였다.

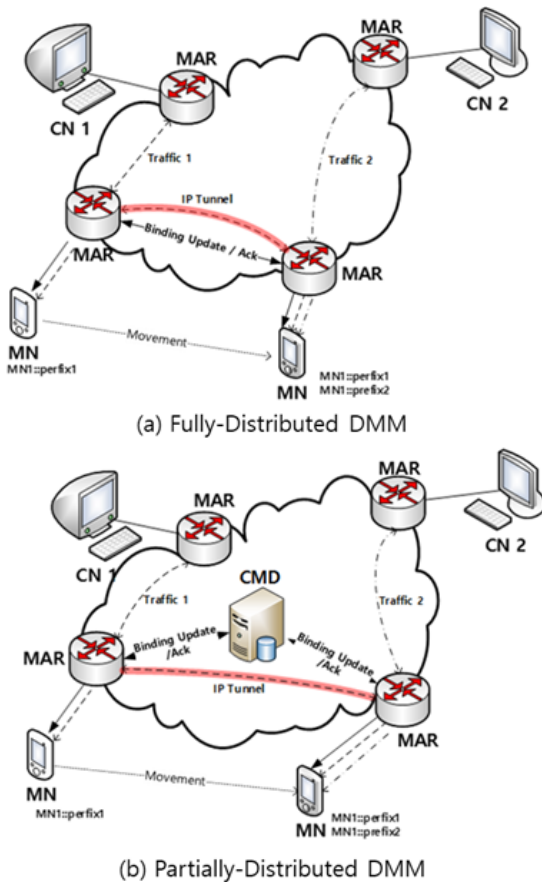


Fig. 4. Two approaches of DMM

Fig. 4은 완전 분산형 DMM과 CMD를 이용한 부분 분산형 DMM의 구조를 개략적으로 나타낸 것이다. 그룹에서, 각 네트워크에 분산된 앵커들은 MAR(Mobile Access Router)로 명명하였다.

DMM 기반의 분산 이동성 관리 구조는 일반 인터넷 환경에서는 트래픽 분산 효과를 제공할 수 있으나,

3.1 제안 구조 및 기본 설계

Fig. 5는 전술 기동망을 위한 제안 구조를 나타낸 것이다. 제안하는 구조에서, 전술 기동망에 있는 모든 GW 기능들은 DAR(Distributed Access Router)로 동일하게 정의하되 현재 망에서 이동성과 관련된 수행 역할에 따라 각각 DAR-LMA 및 DAR-MAG로 명명하였다. DAR-LMA 및 DAR-MAG의 역할은 사전에 망 계

획에 따라 사전에 정의된 형태로 배포가 가능하며, 이후 토폴로지 변화 및 DAR-LMA 노드의 장애에 따른 대체 시에는 기존의 DAR-MAG노드를 DAR-LMA로 전환하거나, 새로운 DAR-LMA 노드를 네트워크에 위치시킬 수 있다. DAR 간에 동적 LMA/MAG 역할 결정에 대한 기준은 본 논문에서 제안하지 않는다.

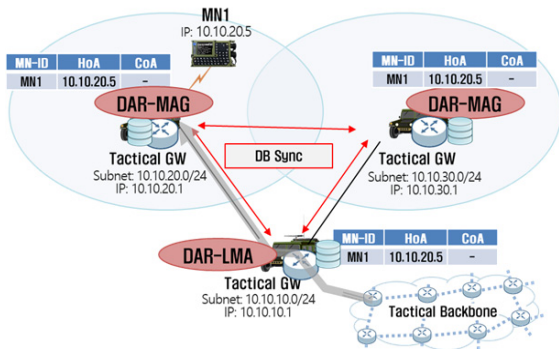


Fig. 5. Proposed architecture

DAR에는 동일한 데이터베이스가 존재하며, 이는 망 내에서 단말의 접속 및 이동에 따른 바인딩 정보의 업데이트 및 DAR-LMA의 전환에 따른 데이터베이스 업데이트 시 네트워크 내 모든 DAR 간에 동기화를 통해 동일한 값을 유지한다. 이러한 데이터베이스의 분산 및 동기화 운용은 토폴로지가 변화하거나 DAR-LMA의 장애 상황에서 이동성 관련 정보를 유지함으로써 망의 안정성을 제공할 수 있다. 데이터베이스는 크게 접속 단말의 정보, MAG 동작을 위한 정보 및 LMA 동작을 위한 정보로 구분된다. 기존의 PMIP에서는 위의 두 정보가 각각 해당 기능을 수행하는 노드에서만 운용되었으나, 본 논문에서 제안하는 DAR은 실제 동작환경에서는 그 역할이 구분되어 있으나 같은 정보를 항상 공유해야 하므로 두 기능을 위한 Binding Table^[4] 정보를 통합한 형태의 DB를 Table 1과 같이 정의하였다. 이러한 형태의 DB 구성은 단말의 핸드오버에 따른 이동상황 발생 시, 네트워크 노드 간에 필수적으로 교환되는 PBU/PBA 메시지 내 정보만으로 각 DAR 내 DB 정보의 업데이트가 가능하기 때문에 추가적인 시그널링이 없이 신속한 동기화가 가능하다는 장점이 있다.

본 논문에서 제안하는 이동성 지원 환경에서는 다음과 같은 사항을 가정한다. 첫째, 단말의 IP 주소는 사전에 망 계획에 따라 이미 할당이 되어 있어, 단말

이 네트워크에 접속할 때 이미 단말이 IP 주소를 보유하고 있다고 가정한다. 둘째, 제안하는 이동성 환경에서의 DAR 노드들은 기본적으로 OSPF기반의 라우팅 동작이 가능하며, 이에 따라 기본적으로 각 DAR이 가지고 있는 서브넷에 대해서는 라우팅테이블에 의해 패킷 전달이 가능하다고 가정한다. 마지막으로, 단말의 초기 접속은 전술 기동망 내에서 자신의 부대에서 기본적으로 수행될 것이므로 초기 접속하는 단말의 IP 주소는 접속하는 DAR-MAG의 서브넷에 속한다고 가정한다.

Table 1. Database in DAR node

종류	테이블 내 삽입 정보
MN-Related Data	Home address(HoA)
	Care of address(CoA)
	MN-Identifier
LMA-Related Data	IP address of serving LMA
	List of IP subnet assigned to MNs
MAG-Related Data	List of IP subnets assigned to the domain
	List of LMA IP address and assigned subnet

3.2 제안 구조에서의 단말 접속 및 핸드오버

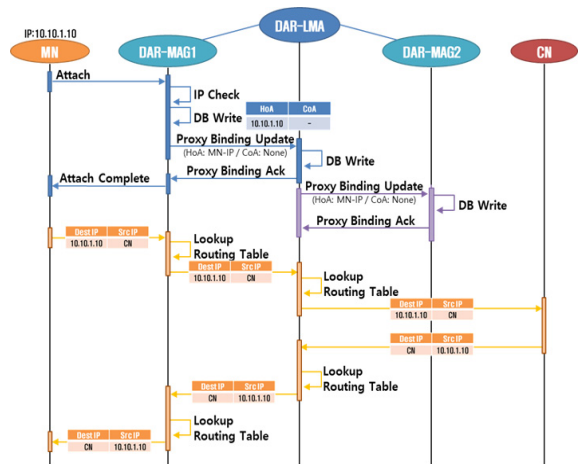


Fig. 6. Detail message flows: Initial attachment

본 논문에서 제안하는 이동성 도메인에서 단말이 초기 접속 시, 다음과 같은 절차가 수행된다. Fig. 6은 단말의 초기 접속 과정을 상세 메시지 절차로 나타낸 것이다. 첫째로, 단말이 인접한 DAR-MAG에 접속하면, 해당 DAR에서는 MN의 IP 주소를 확인하고 MN의 ID와 주소의 매핑 정보를 DB에 업데이트 한 후, DAR-LMA로 PBU 메시지를 보낸다. 이때, 기존의 PMIP에서와는 달리 MN의 초기 접속일 경우 즉 MN의 IP 주소가 접속한 DAR-MAG의 서브넷에 속하는 경우에는 메시지 내 CoA 정보를 넣지 않고 보낸다. 이는 MN이 사전에 계획된 네트워크 내에 있기 때문에, 단말의 경로를 따로 설정할 필요 없이 라우팅으로 보낼 수 있다는 의미이다. 이를 수신한 DAR-LMA는 자신의 DB에 MN의 ID와 HoA 정보를 기록한 후, 해당 DB 정보를 도메인 내 모든 DAR-MAG에 PBU 메시지로 전달하여 업데이트 된 DB 정보를 동기화한다. 본 과정이 종료되면, MN이 임의의 CN과 송수신하는 데이터 패킷은 각 DAR에서 CoA가 정의되어 있지 않기 때문에 사전에 정의된 라우팅 테이블 상의 경로에 의해 전달된다.

내 CoA 주소 정보를 자신의 주소 즉, 이동하여 새로 접속하게 된 DAR-MAG2의 IP 주소로 업데이트한다. 업데이트 된 정보를 PBU 메시지를 통해 DAR-LMA에 전송하면, DAR-LMA는 해당 정보를 DB에 업데이트하고 이를 도메인 내 모든 DAR-MAG에 PBU 메시지를 통해 전달함으로써 단말의 이동 정보를 공유할 수 있게 한다. 이러한 과정이 완료되면, 단말이 기존에 유지하고 있던 CN과의 세션은 새로 접속한 DAR-MAG2와 DAR-LMA 간에 IP 터널을 통해 전달된다. CN에서 MN으로 보내는 패킷이 DAR-LMA에 도착하면, DAR-LMA에서는 해당 MN의 DB 정보를 보고 CoA로 설정된 DAR-MAG2의 IP주소를 목적지로 하는 IP헤더를 캡슐화한 후, 이를 DAR-MAG2로 전달한다. 반대의 경우, MN에서 CN으로 보내는 패킷을 수신한 DAR-MAG2는 MN의 정보를 DB에서 확인 후 DAR-LMA의 주소를 목적지로 하는 IP 헤더를 캡슐화하여 네트워크에 전달한다.

3.3 제안 구조에서의 경로 최적화 지원 방안

PMIP기반의 이동성 관리 구조를 적용하면, 계층적인 구조의 전송망 토폴로지에서도 상위 앵커와의 터널링을 통해 경로의 최적화 효과를 얻을 수 있다. 그러나, 도메인 외부에서 오는 트래픽뿐만 아니라, 도메인 내부에서의 통신을 고려하면, 여전히 최적화되지 않는 구간이 존재한다. Fig. 7은 이러한 예시를 나타낸 것으로, L은 DAR-LMA를, M은 DAR-MAG를 지칭한다. 전송 기동망이 다계층 트리 구조를 구성할 경우, 한 개 이상의 상위 노드를 지나는 경우가 발생할 수 있으며, 이는 그림에서 M1과 M2가 만나는 지점과 같다. 이 경우, 기존의 PMIP 또는 제안 구조에서는 각 DAR-MAG가 DAR-LMA와의 터널링을 통해 패킷을 전달하기 때문에, MN과 CN 간의 통신은 더 가까운 중간 노드가 있음에도 DAR-LMA를 거쳐 전달되어야 한다. 이러한 비최적화된 경로 문제를 해결하기 위해서, 제안하는 구조에서는 DAR-LMA를 거치지 않고 도메인 내 DAR-MAG 간에 직접 통신을 위한 터널링을 수행할 수 있는 최적화 방안을 적용하였다. 이는 기존의 PMIP에서도 제안된 바 있는 기법으로^[8], 동작 개요는 Fig. 8에서와 같이 DAR-LMA에서 DAR-MAG 간의 최적화가 필요한 경우 RO(Route Optimization) Init 및 RO Ack 메시지 교환을 통해 상대 DAR-MAG를 알아내고, 이에 따라 RO Setup 메시지를 교환하여

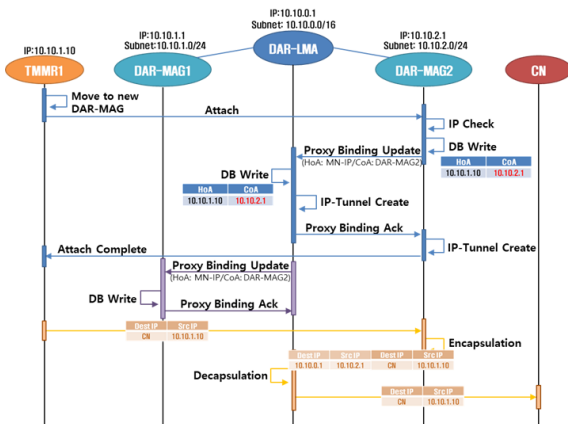


Fig. 7. Detail message flows: Handover

MN이 자신의 홈 네트워크에서 이동하여 다른 DAR-MAG에 접속하는 경우, 핸드오버 절차는 다음과 같다. Fig. 7은 단말의 핸드오버 과정을 상세 메시지 절차로 나타낸 것이다. MN이 새로운 DAR-MAG, 즉 그림 상에서 DAR-MAG2에 접속하면, 해당 DAR은 MN의 IP 주소를 통해 다른 네트워크에서 이동하였음을 감지한다. 이에 DAR-MAG2는 자신의 DB 정보를 검사하여 MN에 대한 정보를 업데이트하는데, 이 때 DB

DAR-MAG 간에 직접 터널링을 설정하는 방식으로 수행된다. 해당 방식에 대한 상세 메시지 교환 절차는 본 논문에서는 생략한다.

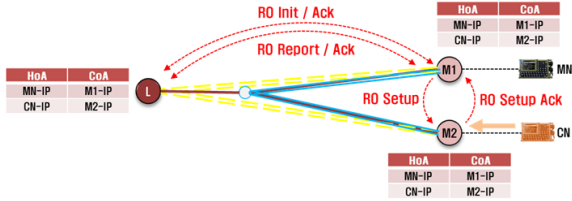


Fig. 8. Non-optimized route example & solution

3.4 제안 구조에서의 망 안정화 제공 방안

본 논문에서 제안하는 이동성 구조에서는 기본적으로 PMIP 기반 이동성 관리와 동일하게 LMA와 MAG의 역할이 주어지나, DB의 공유를 통해 특수한 환경에서의 MAG-LMA간 역할 전환을 용이하게 함으로써 네트워크의 안정성을 강화하고자 한 것이 특징이다. 본 장에서는 DAR의 역할을 전환하는 동작에 대해 설명한다. 제안하는 이동성 환경에서 DAR-LMA가 전시에 파괴되거나, 링크 유실 등의 이유로 동작이 불가능할 경우 이를 복구하는 방안은 두 가지로 접근할 수 있다. 첫 번째는 기존의 이동성 도메인 내에 있는 DAR-MAG 중 하나를 DAR-LMA로 동적 전환하는 방안으로, Fig. 9의 그림에서는 이 과정을 설명하고 있다. 그림에서, DAR3으로 명명된 DAR-LMA가 장애 등의 이유로 인해 역할 수행이 불가능한 경우, DAR 간의 주기적인 링크 생존 확인 절차에 의해 네트워크에서 이를 감지하게 된다. 이 때, 정책적 결정에 의해 사전에 또는 동적으로 DAR4가 DAR-LMA의 역할을 수행하기로 했다고 가정하자. 이 때, DAR4에서는 DB의 정보 중 LMA와 관련된 정보, 즉 Table 1에서 LMA의 IP 주소 및 관련 정보들을 자신의 정보로 업데이트 한 후, 업데이트한 DB의 내용을 네트워크 내 다른 DAR-MAG에게 동기화한다. 이로써 도메인 내 모든 DAR-MAG들은 DAR4가 DAR-LMA의 역할로 전환되었음을 알고 이동단말의 트래픽 전달 시 캡슐화하는 패킷의 IP 헤더의 주소를 기존의 DAR3의 주소에서 DAR4의 주소로 변경함으로써 단말의 패킷이 정상적으로 DAR-LMA를 통해 외부로 나갈 수 있다.

또 다른 DAR-LMA의 대체 방안은 인근의 예비 기동망 GW를 새로운 DAR-LMA로 선정하는 것이다. 이 경우에도 동일하게 새로운 DAR-LMA에서는 DB에

LMA와 관련된 정보를 업데이트할 것을 도메인 내 DAR-MAG에게 요청하게 된다. 다만, 이 경우에는 새로 선정되는 DAR-LMA 내 기존 DB의 기록이 존재하지 않기 때문에, 해당 내용을 넣지 않고 동기화를 요청하면 이를 수신한 DAR-MAG에서 기존에 자신이 동기화한 DB의 나머지 정보를 업데이트함으로써 DAR-LMA에서도 동일한 내용을 DB에 업데이트 할 수 있다.

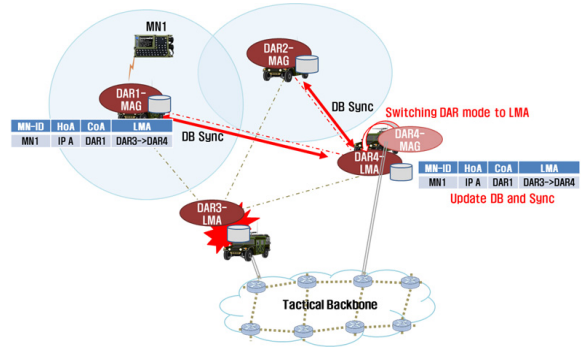


Fig. 9. Example of DAR role switching

3.5 제안 기법에서의 도메인 간 이동성 지원

상용 인터넷망에서는 보통 이동성 도메인의 범위를 사업자 단위에서 매우 크게 정의하기 때문에, 서로 다른 도메인 간 이동하는 시나리오는 고려하지 않고 있다. 그러나 전술망에서는 부대 구성 등의 문제에 따라 단일 이동성 도메인을 운영하기에는 어려우며, 이에 따라 전술망에 여러 단위의 기동망 도메인이 존재할 가능성이 크다. 또한 무기 체계의 향상으로 작전 반경이 넓어지는 미래 전술네트워크 환경을 고려했을 때에는 여러 도메인을 넘나들며 작전을 수행하는 시나리오도 고려할 수 있다. 이에, 본 논문에서는 하나의 이동성 환경에서 다른 이동성 도메인 간의 이동성도 함께 고려하였다.

Fig. 10은 도메인 간의 이동성 절차를 간략하게 나타낸 것이다. MN이 다른 도메인의 DAR-MAG로 이동하여 접속하면, 해당 도메인 즉 그림에서 도메인2의 DAR-MAG는 단말의 IP 주소를 확인하는 과정을 수행한다. 이 과정에서 DAR-MAG는 단말이 이동하였음을 인지하고, CoA를 자신의 IP 주소로 설정한 후, 도메인 2의 DAR-LMA와 PBU/PBA 메시지를 통해 MN의 트래픽 경로를 설정한다. PBU 메시지를 수신한 도메인 2의 DAR-LMA는 단말의 IP의 서버넷 정보가 DB 내 정의된 해당 도메인 내 단말에게 할당 가능한 서버넷 리

스트에 없음을 알고, 해당 서버넷에 대한 DAR-LMA를 백본망의 라우팅 프로토콜을 통해 추적하여 MN이 도메인 1에서 이동하였음을 판별한다. 이에 따라 도메인 2의 DAR-LMA는 도메인 1의 DAR-LMA에 PBU 메시지를 통해 단말의 이동으로 인한 패킷 경로의 생성을 요청하는데, 이 때 DAR-LMA는 자신의 도메인에서 운영하는 DB와는 별도의 Binding Table을 구성해야 한다. PBU 메시지 내에 정의된 단말의 CoA는 도메인 2의 DAR-LMA의 주소로 설정한다. 이를 수신한 도메인 1의 DAR-LMA는 도메인 간 이동성 지원을 위한 Binding Table에 단말의 CoA 정보를 도메인 2의 DAR-LMA로 설정한다. 그 결과, 임의의 CN으로부터 MN의 주소로 오는 패킷은 도메인 1의 DAR-LMA에서 도메인 2의 DAR-LMA로 IP 터널을 통해 전달되며, 도메인 2의 DAR-LMA에서는 해당 패킷의 바깥 헤더를 제거한 후 내부 DB 정보에 따라 다시 패킷을 MN이 접속한 DAR-MAG를 목적지로 하는 IP패킷으로 캡슐화하여 전달한다. 즉, 패킷 전달을 위한 터널의 캡슐화 과정이 두 번 발생하게 되는 것이다. 이와 다르게 MN에서 CN으로 전송되는 패킷은 도메인 2의 DAR-LMA에서 직접 백본망을 통해 CN으로 전달될 수 있는데, 이는 패킷의 목적지 IP를 가지고 이동성 지원을 위한 캡슐화 여부를 판단하기 때문이다. 결과적으로, 도메인 간 이동성 지원의 경우에는 MN으로 오는 패킷에 대한 경로는 최적화되지 않으나, MN에서 외부로 나가는 패킷의 경로는 최적화 될 수 있다.

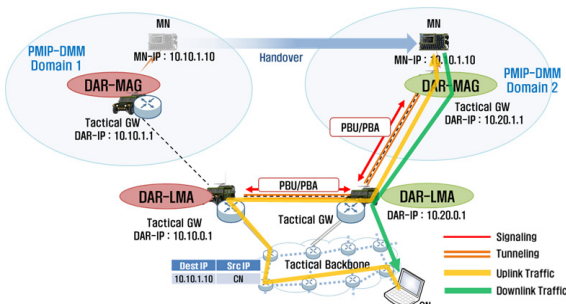


Fig. 10. Inter-domain handover

4. 성능 분석 및 결과

본 장에서는 제안하는 전술망에서의 PMIP기반 분산 이동성 관리 성능을 분석한다. 성능 분석을 위해, 먼

저 비교하는 이동성 관리 프로토콜은 MIP, PMIP 기반의 표준 절차 및 분산 이동성 기법으로 기존에 제안된 MIP 기반의 DMM^[6]과 PMIP기반의 DMM^[7]을 선정하였다. 비교 대상 항목은 단말의 초기 접속 과 단말이 이동하는 과정에서, 단말의 정보 등록에 대한 비용인 Binding Update Cost와 실제 데이터 패킷을 보내기 위한 비용인 Packet Delivery Cost, 이동성 수행 시 소요되는 지연시간인 Latency를 비교하였다. 분석에 있어서, 제안하는 구조에서의 도메인 간 이동성과 관련한 성능 분석은 기존 이동성 프로토콜 및 구조에서는 고려하고 있지 않는 시나리오로 비교분석이 어려워 본 분석에서는 도메인 내 이동성에 대한 분석으로 한정하였다. 본 장에서는 먼저 군 전술망 환경을 고려하여 설계한 분석 토폴로지 모델을 설명하고, 이에 따른 정량적 분석 모델을 설명 후, 결과를 도출한다.

4.1 전술망을 고려한 분석 토폴로지 모델 설계

본 논문에서 사용한 분석 토폴로지 모델은 총 4개로, 계층적 트리 형태로 전술 기동망이 운용될 경우 가능한 시나리오를 기반으로 설계하였다. Fig. 11은 4가지 분석 토폴로지 모델을 간략하게 나타낸 것이다. 그림에서 첫 번째 토폴로지 모델은 기본적인 트리 형태를 나타내고 있다. GW는 PMIP에서는 LMA로 정의되며, PMIP 기반의 DMM 구조에서는 CMD로 정의된다. 제안 구조에서는 DAR-LMA로 정의한다. Home 및 Visited Network 라우터는 MIP에서는 HA/FA로 정의되며, PMIP에서는 MAG로 볼 수 있다. MIP기반 및 PMIP기반 DMM에서는 분산 라우터인 MAR로 볼 수 있으며, 제안하는 제안 구조에서는 DAR-MAG로 간주된다. 전술망에서의 링크 특성을 감안하여, 라우터 간 링크인 링크 a와 단말이 접속하는 구간의 링크 b는 서로 구분하여 표기하였다. 통신 상대노드인 CN은 GW 외부에 있는 것으로 간주하며, 이 때 CN에서 GW까지의 거리는 1홉으로 고정하였다.

Fig. 11의 두 번째 구조는 분석을 위한 두 번째 토폴로지 모델을 나타낸 것으로써, 첫 번째 모델과의 차이점은 단말의 액세스 라우터로부터 도메인 GW 사이에 단순 패킷 전달 역할을 수행하는 라우터가 배치되어 a링크의 거리가 증가한다는 것이다. 이는 전술망에서 백본으로 연결되는 라우터에 1홉 이상으로 연결되는 기동망의 액세스 라우터를 고려한 시나리오로, a링크의 홉 수 증가에 따라 경로 최적화에 따른 비용 차이를 볼 수 있다.

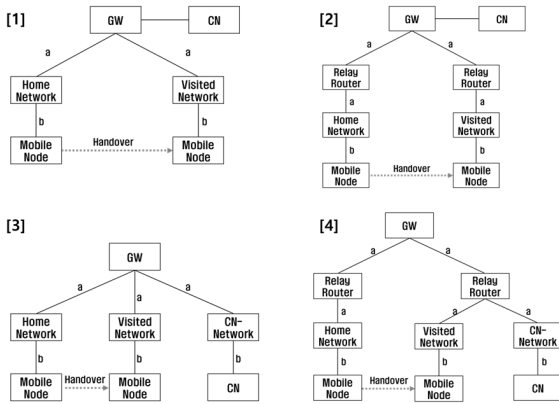


Fig. 11. Topology models for analysis

Fig. 11의 세 번째 그림은 세 번째 토폴로지 모델을 나타낸 것으로, 통신 상대노드인 CN이 동일한 도메인에 있는 경우를 가정하였다. 이 경우에는 패킷 전달 비용 계산에 있어서 CN까지의 모든 경로를 포함하여 분석 비교하였다. 네 번째 구조는 마지막 토폴로지 모델로써, 단말이 이동한 곳의 액세스 라우터와 상대노드인 CN이 접속한 라우터 간의 경로가 최적화 가능한 구조이다. 이 경우 본 논문에서 제안한 관리 기법의 경로 최적화 방안의 효과를 검증하고자 본 모델을 설계하였다.

4.2 성능 분석 모델

제안 구조의 성능 분석을 위해, 기존 연구에서 제안되었던 이동성 프로토콜에 대한 성능 분석 모델을 적용한다^[9]. 해당 분석 모델에서는 네트워크 자원 효율성을 위한 네트워크 자원 비용을 정량화하여 분석할 수 있는 모델을 제시하고 있다. 본 모델에 따라, 단말의 초기 접속 또는 핸드오버 시에 네트워크에서 발생하는 총 비용 C 은 바인딩 업데이트 비용인 C_{BU} 와 패킷 전달 비용인 C_{PD} 의 합으로 표현된다.

$$C = C_{BU} + C_{PD} \quad (1)$$

바인딩 업데이트 비용인 C_{BU} 는 세션의 이동성 비율에 따라 바인딩 업데이트 발생에 따른 비용을 산정하는 방식으로 세션의 이동성 비율인 SMR (Session to Mobility Ratio), 각 이동성 도메인의 서버넷 수인 M , 바인딩 수행비용 C_x 로 표현된다. 바인딩 수행 비용인 C_x 는 네트워크 내 두 지점 x 와 y 간의 시그널링 메

시지 전달을 위한 전달 비용 $TC_{x,y}$ 와, 특정 네트워크 노드 x 에서의 프로세싱 비용인 PC_x 의 합으로 표현된다.

$$C_x = (TC_{MN,x1} + \dots + TC_{xn,MN}) + (PC_{x1} + \dots + PC_{xn}) \quad (2)$$

$TC_{x,y}$ 에 있어서, 본 분석에서의 토폴로지 모델은 두 종류의 링크(링크 a 및 링크 b)만을 고려하므로, 각 노드 간의 모든 비용은 링크 a에서의 전달 비용인 TC_a 와 b링크에서의 전달비용인 TC_b 로 표현될 수 있다.

패킷 전달 비용인 C_{PD} 는 바인딩 업데이트 이후, 단말의 데이터 패킷을 전달하기 위해 소요되는 네트워크 자원 비용을 산정하는 것으로, 실제 데이터의 전달 홉 수에 따르는 링크 전달비용 및 데이터 전달을 위해 소요되는 시간을 고려하여 다음과 같이 표현된다.

$$C_{PD} = \lambda_p C_{cm}^{f,x}(t_V) \quad (3)$$

네트워크 비용 분석과 함께, 본 성능 분석에서는 핸드오버의 지연시간을 분석한다. 핸드오버 지연시간은 단말의 초기 접속 또는 핸드오버 시 단말이 네트워크에 접속한 순간부터 첫 데이터 패킷이 도착할 때까지의 지연시간으로 계산되며, 본 분석에서는 전송에 대한 지연시간에 초점을 맞추어 분석한다. 네트워크 내 노드 X 와 Y 사이에서 메시지 크기가 s 인 패킷에 대한 전송 지연시간은 다음과 같이 표현된다.

$$t_{X,Y}(s) = \frac{1+q}{1-q} \left(\frac{s}{B_{wl}} + L_{wl} \right) \quad (4)$$

컨트롤 패킷의 전달비용과 마찬가지로, 본 식도 실제 분석에서는 링크 a에서의 전달 지연시간인 t_a 와 b 링크에서의 전달 지연시간인 t_b 로 사용한다. 해당 성능 분석 모델에서 사용하는 각 변수의 정의 및 이를 위한 상세 계산식은 참조한 선행 연구^[9]를 따랐다.

분석을 위해 4.1장에서 설계한 4개의 토폴로지 모델에 따라, 4.2의 분석 모델을 적용한 각 이동성 프로토콜의 분석을 수행하였다. 분석 모델 적용의 예시로, Fig. 11의 첫 번째 토폴로지 모델에서의 분석 수행 내용을 기술한다. MIP, PMIP, MIP기반 DMM(DMM-MIP), PMIP기반 DMM(DMM-PMIP) 및 제안 구조의 바인딩 업데이트 비용 산출을 위한 바인딩 비용 C_x 은 다음과 같다.

$$C_{MIP} = 4TC_b + 8TC_a + 2PC_{HA} \quad (5)$$

$$C_{PMIP} = 2TC_b + 4TC_a + PC_{LMA} + PC_{MAG} \quad (6)$$

$$C_{DMM-MIP} = 2TC_b + 8TC_a + 2PC_{MAR} \quad (7)$$

$$C_{DMM-PMIP} = 2TC_b + 8TC_a + 2PC_{MAR} + PC_{CDB} \quad (8)$$

$$C_{proposal} = 2TC_b + 4TC_a + PC_{DAR-MAG} + PC_{DAR-LMA} \quad (9)$$

해당 토폴로지 모델에서의 패킷 전달 비용의 계산을 위해, 각 프로토콜을 적용한 C_{PD} 의 값인 PDC_x 는 다음과 같다.

$$PDC_{MIP} = \lambda_p C_{cn}^{f,4} = \lambda_p \{ \eta (C_b + 3C_a + 2PC_{HA} + 2PC_{GW}) \} \quad (10)$$

$$PDC_{PMIP} = \lambda_p C_{cn}^{f,2} = \lambda_p \{ \eta (C_b + C_a + 2PC_{LMA} + PC_{MAG}) \} \quad (11)$$

$$PDC_{DMM-MIP} = \lambda_p C_{cn}^{f,4} = \lambda_p \{ \eta (C_b + 3C_a + PC_{MAR} + 2PC_{GW}) \} \quad (12)$$

$$PDC_{DMM-PMIP} = \lambda_p C_{cn}^{f,4} = \lambda_p \{ \eta (C_b + 3C_a + PC_{MAR} + 2PC_{CDB}) \} \quad (13)$$

$$PDC_{proposal} = \lambda_p C_{cn}^{f,2} = \lambda_p \{ \eta (C_b + C_a + PC_{D-LMA} + 2PC_{D-MAG}) \} \quad (14)$$

마지막으로, 해당 토폴로지 모델에서의 각 프로토콜 적용 시 전체 핸드오버에 참여하는 노드들의 전송 지연시간의 합인 지연시간 D_x 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$D_{MIP} = t_{IP} + 2(2t_a + t_b) + (3t_a + t_b) \quad (15)$$

$$D_{PMIP} = t_{IP} + 2(2t_a) + (t_a + t_b) \quad (16)$$

$$D_{DMM-MIP} = t_{IP} + 2(2t_a + t_b) + (3t_a + t_b) \quad (17)$$

$$D_{DMM-PMIP} = t_{IP} + 2(2t_a) + (3t_a + t_b) \quad (18)$$

$$D_{proposal} = t_{IP} + 2(2t_a) + (t_a + t_b) \quad (19)$$

이와 같은 방식으로 4개의 토폴로지 모델에 대한 분석을 수행하였으며, 이에 각 분석에 따른 성능 결과를 도출하였다. 성능 도출을 위해서, 각 항목에 대한 주요 기본 값은 Table 2와 같이 설정하였다. 해당 설정 내용 중에서, 무선링크와 관련된 대역폭 및 링크 지연시간 등은 실제 전송 기동망 환경을 고려하여 a 링크와 b 링크를 4:1 수준의 성능으로 설정하였으며, 패킷의 사이즈는 현재 전송망에서 사용하는 IPv4 패킷 크기를 기반으로 설정하였다. IP 설정에 따르는 지연시간 t_{IP} 의 경우, 현재 전송 기동망에서의 수동적인 IP 주입시간을 고려하여 5분으로 설정하였으며, Table 3에서 언급하지 않은 값은 참조 연구에서 정의한 기본 값을 그대로 사용하였다⁹⁾.

Table 2. Values of parameter

변수	기본 설정값
TC_a	10
TC_b	40
$PC_{HA}/PC_{LMA}/PC_{MAR}/PC_{DAR-LMA}$	24
$PC_{MAG}/PC_{CDB}/PC_{DAR-MAG}$	12
PC_{GW}/PC_{Router}	8
B_{wla} (a링크의 무선 대역폭)	8 Mbps
B_{wlb} (b링크의 무선 대역폭)	2 Mbps
L_{wla} (a링크의 전파지연시간)	10 ms
L_{wlb} (b링크의 전파지연시간)	40 ms
s_c	68 bytes
s_d	1500 bytes
q	0.5
T_{IP}	300000 ms

4.3 성능 분석 결과

Fig. 12는 바인딩 업데이트 비용에 대한 분석 결과이다. 토폴로지의 복잡도에 따라서 바인딩 업데이트 비용이 증가하는 양상을 보이나, 그 차이는 크지 않았

며 PMIP과 본 논문에서 제안하는 구조에서 가장 낮은 비용을 보였다. 이는 PMIP 기반의 구조에서의 계층적 상위 노드에 앵커 배치로 인한 시그널링 메시지의 전달 거리의 감소로 인한 것으로 보인다. 마지막 토폴로지 모델에서는 제안 구조에서의 바인딩 업데이트 비용이 PMIP보다 높게 나타났는데, 이는 DAR-MAG 간의 경로 최적화를 위한 추가 시그널링 교환에 의한 것이다. 그러나, 경로 최적화를 수행하였음에도 MIP 또는 DMM-MIP에 비해서는 낮은 업데이트 비용을 보였다.

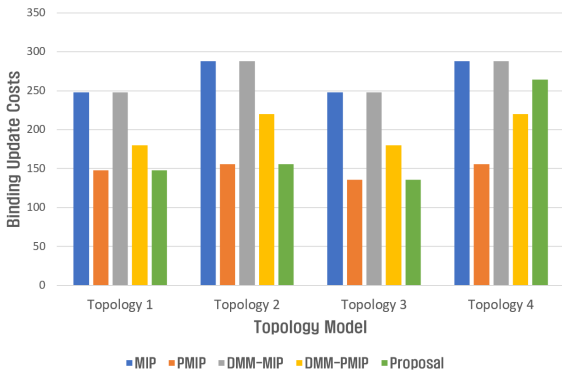


Fig. 12. Result of binding update cost analysis

Fig. 13은 패키지 전달 비용의 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 바인딩 업데이트 비용과 마찬가지로, 토폴로지의 복잡도에 따라서 패키지 전달 비용이 증가하나, 제안 구조에서 가장 낮은 비용을 보임을 확인하였다. 특히, 경로 최적화 방안이 적용되는 마지막 모델에서는 PMIP에 비해서도 현저하게 낮은 비용을 보임으로써 전술 기동망 구조에서의 경로최적화로 인한 효율적인 패키지 전달이 가능함이 증명되었다.

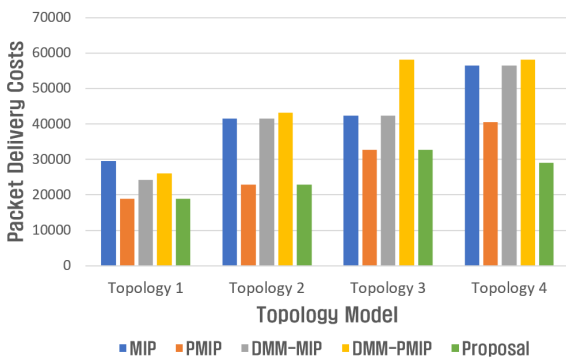


Fig. 13. Result of packet delivery cost analysis

마지막으로 핸드오버 시 소요되는 지연시간에 대한 분석 결과는 Fig. 14와 같이 도출되었다. PMIP 및 제안 구조가 모든 토폴로지 모델에서 다른 방안에 비해 낮은 결과를 보였다. 특히, 경로최적화가 적용되는 마지막 토폴로지 모델에서는 추가적인 시그널링에 의해 바인딩 업데이트 비용이 증가함에도 불구하고 제안 방안이 PMIP보다 전체 지연시간이 낮게 나타남으로써, 경로 최적화 방안에서의 컨트롤 메시지의 증가보다 패킷 전달 경로의 최적화 효과가 더 큰 것을 확인할 수 있다.

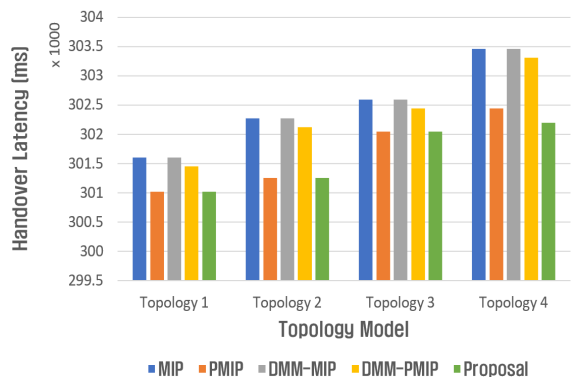


Fig. 14. Result of handover latency cost analysis

5. 결론

본 논문에서는 전술 기동망의 계층적 트리 구조 형태에서의 이동성 지원 및 이동에 따른 경로 구성의 최적화를 위한 이동성 지원 구조 및 동작을 제안하였다. 제안하는 구조는 PMIP 기반의 중앙 앵커 형태를 통해 단말의 이동에 따른 컨트롤 및 데이터 패킷의 전달 경로를 최적화하면서, PMIP에서의 단점인 중앙 앵커 장애에 의한 네트워크 장애의 영향을 최소화하기 위해 네트워크 내 분산 DB 운영 및 동기화를 통한 동적 앵커 재구성이 가능하도록 설계하여 망의 안정성을 강화하였다. 분산 DB의 동기화는 기존의 PMIP에서 사용하고 있는 DB 구성을 큰 변경없이 사용함으로써 이동성 이벤트 발생에 따른 네트워크 노드간의 교환 메시지만 PBU/PBA 메시지를 통해 전달하도록 함으로써 추가적인 DB 정보 동기화에 대한 시그널링을 발생하지 않고 최대한 네트워크 내 정보를 일관되게 유지할 수 있도록 하였다. 분석을 통해

제안하는 전술 기동망의 계층적 트리 구조 형태에서 발생할 수 있는 경로 최적화 문제를 해결할 수 있는 방안 이 이동 시에 전체 핸드오버 지연시간 및 패킷 전달 비용을 효과적으로 감소할 수 있음을 정량적으로 확인하였다.

본 논문에서 제안하는 분산 이동성 관리 방안이 실제적으로 전술 기동망에 적용되기 위해서는 PMIP 표준 프로토콜 기능 외에도 추가적인 기능 또는 고려사항이 있다. 첫째로, 분산 DB의 구성을 위한 네트워크 노드 내 DB 구성 업데이트가 필요하다. 그러나 전술한 바와 같이, DB 내 정의된 내용이 기존 표준 프로토콜에서의 정의된 내용에서 크게 다르지 않고 해당 정보를 통합하는 수준의 변화이기 때문에 DB 정보 재구성에 대한 부담은 적을 것으로 예상된다. 또 하나 고려해야 할 사항은 분산된 도메인을 얼마나 조밀하게 설정할 것인가 하는 것으로 도메인 간 이동성에 대한 경로가 본 제안 방안을 통해 최적화 된다고 할 지라도 이는 도메인 내 이동성 지원에 비해 많은 프로세싱 부하 및 긴 네트워크 경로로 인한 지연을 야기할 수 있다. 따라서 이는 망 계획 차원에서 확장성을 고려한 면밀한 성능 분석을 통해 결정되어야 할 것이다. 마지막으로, 분산 DB가 동적으로 핸드오버 및 접속 이벤트에 따라 신속하게 업데이트를 수행할 수 있다고 하더라도, 정보의 비일관성의 문제가 발생할 수 있는 가능성이 존재한다. 이는 실제 동기화된 정보에 대한 확인 및 장애로 인한 노드 교체 시에 교환되는 정보에 대한 검증 과정이 필요할 수도 있으며, 이는 추가적인 분산 DB 운영 기술의 적용을 고려해야 할 수 있다.

추가적으로, 본 논문에서 제안한 이동성 관리 환경에서의 안정성 분석을 위한 방안들이 요구된다. 이는 네트워크의 장애에 따른 동적 앵커 변경에 관련된 효과를 분석하기 위한 것으로, 본 제안이 동적 환경 또는 예측할 수 없는 예외환경에서도 정상적으로 동작할 수 있음이 검증되어야 할 것이다. 이는 관련 연구를 통해 동적 환경에 대한 성능 분석 방안을 연구한 후, 추후에 관련 성능 분석 도구 및 모델 설계를 통해 진행할 예정이다. 또한, 도메인 간 이동성에 대한 분석 또한 필요하나 이는 기존의 이동성 프로토콜과 비교할 수 없는 부분이기 때문에 시뮬레이션 등을 통한 분석 방안들이 요구된다. 추후 이러한 분석을 결과로 제안하는 구조에서의 성능을 입증해야 할 것이다.

References

- [1] S. Kook, M. Chang, M. Lee, J. Jun, T. Kim, J. Choi and B. Roh, "A Study on OSPF for Wireless Tactical Communication Networks," Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 37, No. 2, pp. 109-121, 2010.
- [2] C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4," RFC 3220, IETF, 2002.
- [3] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, IETF, 2004.
- [4] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury and B. Patil, "Proxy Mobile IPv6," RFC 5231, IETF, 2008.
- [5] H. Chan, D. Liu, P. Seite, H. Yokota and J. Korhonen, "Requirements for Distributed Mobility Management," RFC 7333, IETF, 2014.
- [6] H. Ali-Ahmad et al., "Distributed Dynamic Mobile IPv6: Design and Evaluation," 2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC), pp. 2166-2171, 2013.
- [7] F. Giust, A. De La Olivera, C.J. Bernardos and R. Costa, "A Network-based Localized Mobility Solution for Distributed Mobility Management," The 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications(WPMC), 2011.
- [8] B. Kang, N. Kwon and H. Choo, "Developing Route Optimization-Based PMIPv6 Testbed for Reliable Packet Transmission," IEEE Access, Vol. 4, pp. 1039-1049, 2016.
- [9] C. Makaya, et al., "An Analytical Framework for Performance Evaluation of IPv6-based Mobility Management Protocols," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol. 7, No. 3, pp. 972-983, 2008.
- [10] B. Bae, M. Shin and M. Chung, "An Efficient Scheme for Supporting Network Mobility in Partially Distributed Mobility Management," TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference, pp. 1039-1044, 2018.
- [11] J. Kim and J. Jeong, "On PMIPv6-based Cost-Effective Function-distributed Mobility Management Scheme for Industrial Future Internet," The 15th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing(MobiSPC 2018), pp. 43-50, 2018.