

# 효율적인 네트워크 이동성 지원을 위한 이동 애드혹 네트워크 기반 오버레이 구조

이문영<sup>+</sup>, 이충호<sup>+</sup>, 최낙중<sup>0+</sup>, 백은경<sup>++</sup>, 권태경<sup>+</sup>, 최양희<sup>+</sup>

<sup>+</sup>서울대학교 전기컴퓨터공학부, <sup>++</sup>KT 미래기술연구소

<sup>+</sup>{mylee, chlee, fomula, tkkwon, yhchoi}@mmlab.snu.ac.kr, <sup>++</sup>euna@kt.com

## 요 약

다수의 모바일 단말이 그룹 단위로 이동하는 형태를 지원하기 위한 다양한 기술들이 등장하고 있고, 특히 최근 들어 네트워크 이동성을 지원하기 위한 대표적인 기술인 모바일 네트워크와 이동 애드혹 네트워크를 결합하는 MANEMO (MANET for NEMO) 기술에 많은 관심이 모아지고 있다. 본 논문에서는 모바일 라우터 사이에 이동 애드혹 오버레이를 형성하도록 설계하는 방법을 통해 표준화가 완료된 NEMO Basic Support 프로토콜을 가능한 수정하지 않는 MANEMO 운영 구조를 제안하고, 몇 가지 시뮬레이션을 통해 제안된 MANEMO 기법의 성능을 분석한다.

## 1. 서론

다수의 모바일 단말이 그룹 단위로 이동하는 형태를 지원하기 위한 다양한 기술들이 등장하고 있다. 특히 최근 들어 네트워크 이동성을 지원하기 위한 대표적인 기술인 모바일 네트워크와 이동 애드혹 네트워크를 결합하는 MANEMO (MANET for NEMO) 기술에 많은 관심이 모아지고 있다.

MANEMO 기술은 현재 IETF (internet Engineering Task Force) 표준화 기구에서 논의되고 있으나 문제 정의, 요구 사항, 적용 시나리오 정도만이 논의된 상황이다. 따라서 본 논문에서는 실제 MANEMO 동작을 위한 구체적인 MANEMO 구조와 연동을 위한 기법을 제안한다.

제안하는 MANEMO 구조 및 연동 기법은 현재 표준화가 완료된 NEMO Basic Support 프로토콜을 가능한 수정하지 않도록 하고, MANEMO 모바일 라우터 사이에 이동 애드혹 오버레이를 형성하도록 설계하였다.

## 2. 관련 연구

### 2.1. Network Mobility (NEMO)

기존의 IP 기술은 고정된 인프라 환경에서의 사용을 가정하였기 때문에 정해진 서비스 구역을 벗어나게 되면 인프라와 접속할 수 없게 되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 Mobile IP와 같은 기술들이 등장하였고, 네트워크 전체의 이동성이라는 문제를 해결하기 위해 “네트워크 이동성(Network Mobility, 이하 NEMO)”이라는 개념이 등장했다[1].

모바일 네트워크는 인프라 내의 임의의 장소로 이동하고 접속할 수 있는 네트워크의 한 부분으로 볼 수 있고, 이동을 관리하는 모바일 라우터(Mobile Router, MR)라 불리는 특정한 게이트웨이(Gateway)를 통해서만 인프라에 접속할 수 있다.

모바일 네트워크는 적어도 하나의 모바일 라우터로 이루어져 있으며, 홈 네트워크(Home network)가 아닌 다른 외부 네트워크와의 접속에 있어서 모바일 네트워크의 라우팅 기능을 수행치 않고 홈 에이전트와의 터널링만을 유지한다. 모바일 라우터는 홈 네트워크상에서 홈 에이전트(Home Agent, HA)에 등록되어 있는 고유한 홈 어드레스(Home address)를 가지며 이 홈 어드레스는 홈 에이전트가 발신하는 프리픽스(Prefix)에 의해 설정된다. 그 후, 모바일 라우터가 홈 링크(Home link)를 떠나 새로운 액세스 라우터(Access Router)에 접속하게 될 때 모바일 라우터는 임시주소(Care-of Address, CoA)를 새로운 링크로부터 얻게 되며 원래의 홈 네트워크에 생성되어 있는 세션(Session)을 유지하기 위해 모바일 라우터는 임시주소를 얻게 되자마자 홈 에이전트에 바인딩 업데이트(Binding Update, BU)를 보낸다.

홈 에이전트가 바인딩 업데이트를 받게 되면 이동해간 모바일 라우터의 임시주소를 저장해 놓고 바인딩 업데이트가 끝나게 되면 홈 에이전트와 모바일 라우터 사이에 터널링이 형성되고, 이를 통해 패킷을 보내주게 된다.

또, 모바일 네트워크는 모바일 라우터를 통해 다른 모바일 네트워크에 접속하게 되는 상황이 만들어지는데 이러한 구성을 “Nested NEMO”라 한다. Nested NEMO가 구성함에 따라 몇 가지 문제가 발생하게 되는데 이와 관련된 내용은 섹션 3에서 살펴볼 예정이다.

## 2.2. Mobile Ad-hoc Network (MANET)

이동 애드혹 네트워크(Mobile Ad-hoc Network, 이하 MANET)는 통신에 필요한 인프라를 구성하는 것이 경제적으로 불리하거나 물리적으로 어려운 환경에서 독자적으로 동작하거나 인프라와 같은 고정된 네트워크와 통신을 지원할 수 있는 네트워크이다. MANET 을 구성하는 각 이동 단말은 라우터의 기능을 포함한다.

MANET 은 단말이 자유롭게 이동할 수 있으므로 다수의 Hop 으로 구성된 네트워크의 위상은 일정치 않고 빠르며 예측할 수 없게 변하게 되며, 양방향이나 단 방향의 링크로 구성된다는 특징이 있다. 그리고 배터리를 사용하므로 에너지에 제한적이며, 무선 링크는 유선으로 연결된 부분에 비해 전송 용량이 급격히 줄어들게 되므로 잡음이나 간섭, 쇠퇴(Fading)으로 인해 대역폭이 급격히 변하기 때문에 전송 용량이 변동적이다[2].

MANET 은 특정한 목적을 가지고 임의의 장소에서 일시적으로 형성되는 네트워크이므로 MANET 환경에 맞는 IPv6 프리픽스 할당이나 주소 지정을 할 수 있는 주소 자동 설정 기능을 필요로 하며 현재 IETF MANET Auto-Configuration (AUTOCONF) 워킹 그룹에서 자동 설정과 게이트웨이 선택과 관련하여 표준화 작업 중에 있다.

## 2.3. MANET for NEMO (MANEMO)

MANEMO(MANET for NEMO)는 IPv6, Neighbor Discovery, NEMO 와 같이 현재 존재하는 프로토콜에 약간의 추가적인 수정을 가하는 방식을 통해, 다중 타입으로 구성된 모바일 라우터가 Internet 과 연결될 수 있는 가장 최적화된 경로를 찾아 줄 수 있게끔 해준다. 또한 인터넷과 연결되거나 연결되지 않은 환경하의 Nested NEMO 내 모바일 라우터간의 연결을 제공해준다.

다중 타입으로 구성된 모바일 네트워크 환경하에서 MANEMO 의 특성은 아래와 같이 정리할 수 있다.

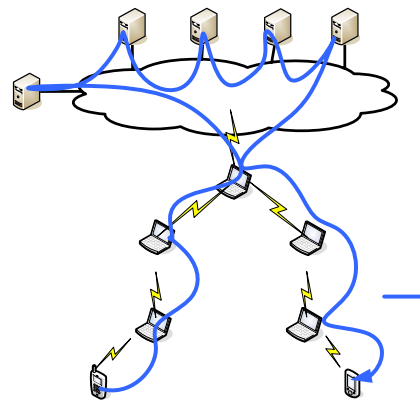
- 이웃 모바일 라우터와의 지역 라우팅 정보를 유지한다.
- 모바일 라우터는 외부/내부 인터페이스로 구분되는 최소 2 개의 인터페이스를 가지며 이를 이용하여 모바일 라우터간에 다른 무선기술을 사용하여 접속할 수 있다.
- 내부 인터페이스를 통해 들어오는 패킷은 모바일 단말기로 보내지는 패킷을 제외하고는 항상 터널링을 이용하여 모바일 라우터의 홈 에이전트로 보낸다.

## 3. Nested NEMO 의 문제점

### 3.1. 준 최적화 (Sub-optimality)와 중복된 터널링 (Redundant tunnel) 문제

이 두 가지 문제는 NEMO Basic Support 프로토콜에서 발생하는 문제점이다[3]. 먼저, 모바일 네트워크 단말(Mobile Network Node, MNN)과 이에 대한 대응 단말(Correspondent Node, CN)간의 모든 패킷이 모바일 라우터와 홈 에이전트간 터널링을 통해 보내짐에 따라 결국 두 단말간의 핀볼 경로(Pinball Route)가 되는 상황을 준 최적화(Sub-optimality) 상황이라 하며 [그림 1]은 준 최적화 상황의 예를 보여준다.

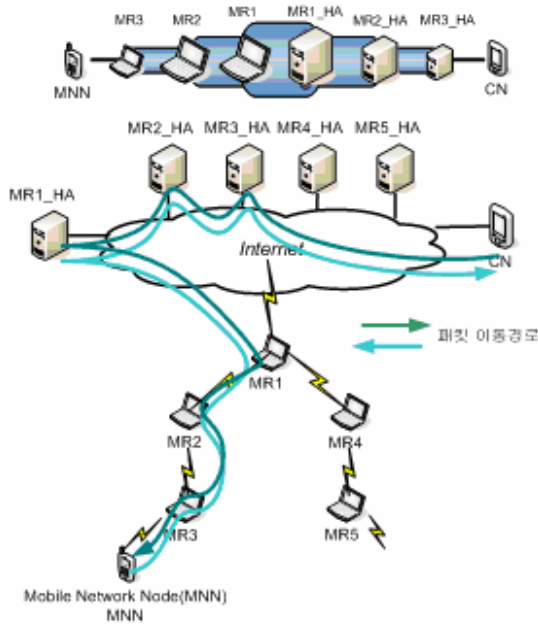
이로 인해 대응 단말이 가까이 있음에도 긴 경로를 통해 패킷이 전달되게 되는 상황일 경우, 패킷의 전달 지연 시간이 증가하게 되어 실시간 멀티미디어 스트리밍 서비스와 같은 어플리케이션이나 TCP와 같은 프로토콜의 성능에 영향을 주게 된다. 또한 패킷 전달에 사용되는 인프라 전체적인 자원의 소모가 발생하게 된다.



[그림 1] 준 최적화된 상황

다중 타입으로 구성된 NEMO 네트워크에서 모바일 라우터가 홈 에이전트로 패킷을 보내야 할 경우 터널링이 다중으로 구성되는 모바일 라우터의 갯수 만큼 중복되는 상황이 발생하게 되는데 이를 중복된 터널링(Redundant tunnel) 문제라 하며 [그림 2]와 같이 예를 들 수 있다.

이로 인해 다중 타입으로 구성된 모바일 라우터와 홈 에이전트간의 중복된 터널링을 통해 패킷을 전달하게 되는 경우, 패킷 헤더에 추가적인 경로 정보를 중복하여 포함시키게 되므로 패킷의 부하가 증가하며 터널링을 통해 받은 패킷의 중복된 캡슐화와 캡슐 해제과정으로 인한 프로세스 지연시간이 증가하게 된다.



[그림 2] 중복된 터널링의 상황

### 3.2. 홈 에이전트와 연결되지 않을 시 통신 불가능

위의 준 최적화와 중복된 터널링으로 인해 패킷의 부하가 발생하고 프로세스 지연이 증가함에 따라 바람직하지 않은 2 가지 결과가 발생하며 그 결과는 아래와 같다.

- 다중 타입으로 구성된 모바일 네트워크가 인터넷과 불통된 경우, 예를 들어 다중 타입으로 구성된 모바일 라우터가 인터넷으로의 외부 연결이 끊어진 경우, 모바일 네트워크 단말과 대응 단말간의 직접 경로(Direct path)가 있음에도 불구하고 통신을 계속 지속할 수 없게 된다.
- 인터넷과 외부 연결을 가지는 루트(Root) 모바일 라우터에서는 다중 타입의 모바일 네트워크로 출입하는 모든 트래픽이 몰리기 때문에 병목현상(Bottleneck)이 발생한다.

## 4. 이동성 지원을 위한 이동 애드혹 네트워크 기반 오버레이 구조

### 4.1. MANEMO Gateway 기반 MANEMO 구조

[그림 3]는 제안하는 MANEMO 구조로서, 모바일 라우터가 홈 네트워크를 떠나 외부 네트워크로 이동할 때 모바일 라우터 간 MANET 연결을 통한 인

터넷 연결성을 제공할 수 있다. 이미 표준화가 완료된 NEMO Basic Support [4] 프로토콜의 수정은 피하고, 이동 애드혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜을 수정하거나 새로운 구성 요소를 도입하여 가능한 인터넷 표준 문서들과의 호환성을 유지한다. 새로운 MANEMO 구조에서 수정되거나 도입되는 구성요소는 아래와 같다.

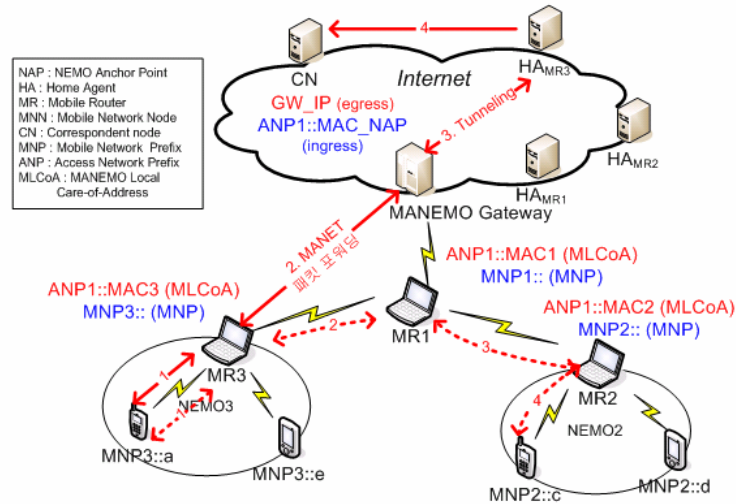
- MANEMO 게이트웨이(MANEMO Gateway)  
MANEMO 게이트웨이는 네트워크 인프라 중단에 존재하는 구성 요소로서 MANEMO 인터넷 연결성 지원을 담당한다. MANEMO 내의 모바일 라우터들이 주소 자동 설정을 할 수 있도록 액세스 네트워크 프리픽스(Access Network Prefix, ANP)를 Advertisement 메시지를 통해 인터넷 연결을 요구하는 모바일 라우터들에게 알려준다.

- 모바일 라우터 (Mobile Router, MR)  
모바일 라우터는 모바일 네트워크의 인터넷 연결성을 제공하는 라우터로서, 외부 네트워크와의 연결을 위한 외부 인터페이스(egress interface)와 모바일 네트워크 내의 단말들과의 연결을 위한 내부 인터페이스(ingress interface)를 가진다.

제안하는 MANEMO 구조에서는 모바일 라우터가 오버레이 MANET 상에서 MANEMO 게이트웨이가 뿌리는 Advertisement 메시지를 받으면 자동 주소 설정 기법이 수행되어 외부 인터페이스의 로컬 임시 주소(MANEMO Local CoA, MLCoA)가 설정된다. 또한, 모바일 네트워크 프리픽스 기반의 라우팅 프로토콜을 통해 라우팅 테이블이 설정된다.

모바일 노드가 외부 인터넷에 있는 대응 단말과 통신하는 경우, 모바일 라우터에서 MANEMO 게이트웨이까지 오버레이 MANET 상의 통신으로 패킷이 전달된다. MANEMO에서는 중간에 거치게 되는 모바일 라우터의 개수에 상관없이 모바일 노드가 접속해 있는 모바일 라우터의 홈 에이전트 하나만을 거쳐 대응 단말로 패킷이 전송된다.

모바일 라우터는 주변의 모바일 라우터들에게 자신의 내부 인터페이스에서 사용하는 모바일 네트워크 프리픽스와 자신의 외부 인터페이스에 설정된 로컬 임시 주소를 쌍으로 하는 정보를 기존 라우팅 프로토콜에 추가하여 전송한다. 따라서 각 모바일 라우터의 라우팅 테이블에는 목적지 IP 주소에 대한 경로 정보뿐만 아니라 다른 모바일 라우터들로부터 획득한 모바일 네트워크 프리픽스 값과 다음 전달 목적지(Next Hop)에 대한 정보를 유지하고 있다.



[그림 3] MANEMO Gateway 기반 MANEMO 구조

데이터의 목적지 IP 주소와의 LPM (Longest Prefix Matching) 과정을 통해 라우팅 테이블의 모바일 네트워크 프리픽스 중에 일치하는 엔트리가 존재하면, 홈 에이전트와의 터널을 통해 외부 인터넷을 경유하여 전달하는 대신 오버레이 MANET 을 통하여 직접 해당 NEMO 로 데이터를 전달함으로써 지역적인 통신을 통한 라우팅을 최적화할 수 있다.

즉, 모바일 네트워크에 속한 단말이 대응 단말과 통신 하는 경우는 [그림 3]의 실선의 1~4의 단계(혹은 그 반대 단계)를 거치게 되고, 모바일 네트워크 단말 간의 통신과정에서는 점선의 1~4 단계(혹은 그 반대 단계)를 거치게 되는데, 이 때 실선 2 단계와 점선 2~3 단계에서 오버레이 MANET 계층 통신을 통해 전달이 되므로 중첩된 NEMO 에서 문제가 되는 비효율적인 라우팅 문제를 해결할 수 있고, 라우팅 오버헤드와 데이터 전송 지연 시간을 줄일 수 있다.

## 4.2. 모바일 네트워크의 MANEMO 참여

MANEMO 구조에서 NEMO 는 인터넷 통신을 위해 모바일 라우터와 MANEMO 게이트웨이간의 연결이 필요하다. 이 때 모바일 라우터는 MANEMO 게이트웨이와 직접적인 통신이 가능한 경우(1 홉)가 아니면 다수의 다른 모바일 라우터를 거쳐 MANEMO 게이트웨이에 연결된다. 제안하는 MANEMO 구조에서는 다른 모바일 라우터와 연결될 때 중첩된 NEMO 구조를 형성하는 것이 아니라 모바일 라우터들 간의 오버레이 MANET 을 형성하여 MANEMO 게이트웨이와 통신한다. MANEMO 지원 NEMO 가 외부 네트워크로 이동하면 먼저 인터넷 통신을 위해 MANEMO 게이트웨이나 MANEMO 지원 모바일 라우터를 찾는다.

MANEMO 지원 구성 요소로부터 MANEMO 게이트웨이의 Advertisement 메시지를 수신한 모바일 라우터는 액세스 네트워크 프리픽스를 사용하여 자신이 MANEMO 내에서 사용할 외부 인터페이스의 로컬 임시 주소를 자동 설정(Auto-Configuration)한다. 임시 주소 설정이 끝난 모바일 라우터는 NEMO Basic Support 프로토콜에 따라 자신의 홈 에이전트에게 바인딩 업데이트를 수행하게 된다. 만약 MANEMO 지원 구성 요소를 발견할 수 없다면, 기존의 NEMO Basic Support 프로토콜을 사용한다.

## 5. 성능 평가

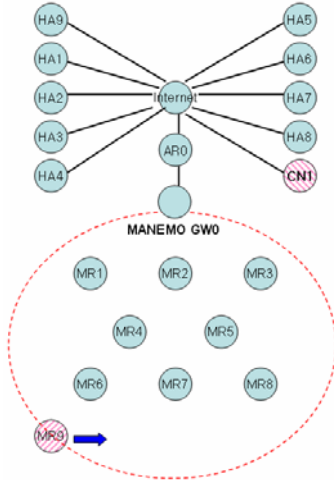
본 논문에서 제안하는 이동 애드혹 네트워크 기반 오버레이 구조인 MANEMO 의 성능을 평가하기 위해 Nested-NEMO 가 형성되는 환경에서 NEMO Basic Support 프로토콜과 MANEMO 를 NS-2 로 구현하여 두 가지 기법의 성능을 비교하였다.

### 5.1. 시뮬레이션 환경

NS-2 버전 2.31 을 사용하여 NEMO Basic Support 프로토콜과 MANEMO 를 각각 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 NEMO Basic Support 프로토콜(이하 NEMO)과 제안한 MANEMO 구조(이하 MANEMO)의 성능을 비교하였고, 비교를 위해 사용한 metric 은 throughput, packet delay 이다. 측정을 위해 agent 에 CBR 을 달아 512bytes 의 트래픽을 0.1 초마다 발생시켰고, Throughput 은 트래픽 전송을 시작한 후 5 초 단위로 측정하여 5 초간의 평균값을 구하였다. Packet delay 는 데이터를 성공적으로 받은 시점에서 손실된 패킷을 제외한 후, 받은 시간에서 보낸 시간을 뺀 값을 통해 계산하였다.

MANEMO의 MANET 계층의 통신은 proactive 방식의 라우팅 알고리즘인 DSDV를 바탕으로 동작하도록 구현하였다.

## 5.2. 실험 시나리오 및 결과

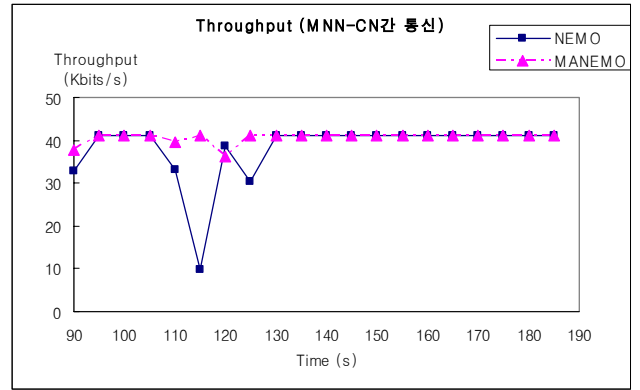


[그림 4] MNN-CN1 간 통신

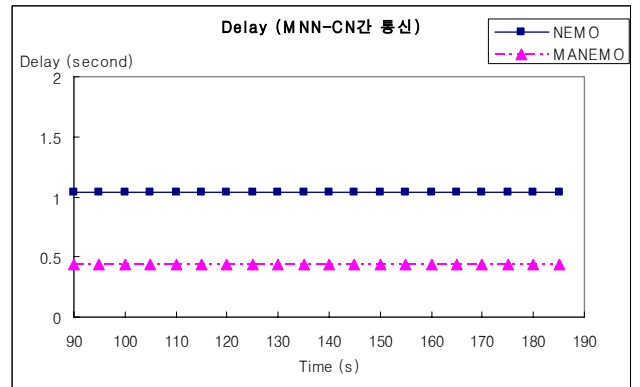
데이터 통신시 MANEMO의 성능 측정 및 NEMO와 비교를 하기 위해 [그림 4]와 같은 토폴로지에서 모바일 라우터 MR9가 이동하면서 유선 망에 위치한 대응 단말 CN1과 통신하는 경우를 실험을 통해 수행해 보았다. [그림 4]에서 MR1 ~ MR9는 모바일 라우터이고, HA1 ~ HA9는 각 모바일 라우터의 홈 에이전트를 의미한다. GW0는 모바일 게이트웨이이다. 선은 인터넷 상의 링크를 표현한 것으로, 각 200ms의 딜레이를 가진 링크로 구현하였다.

[그림 5]의 (a)를 보면, 110~115 초 구간과 120~125 초 구간에서 Throughput이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. NEMO의 경우 1 홈으로 접속하고 있는 모바일 라우터가 변경되는 시점에서 바인딩 업데이트 과정을 다시 실행해야 한다. 그 동안 패킷을 받을 수 없어 패킷 로스가 발생하고, 이로 인해 throughput이 떨어지는 것이다. 반면, MANEMO의 경우에는 동일한 상황에서 바인딩 업데이트가 필요 없이, 오버레이 MANET 상의 경로만 업데이트되면 통신이 가능하므로, 라우팅 테이블이 수정되는 순간 동안만 패킷 로스가 일어난다. 이 때 걸리는 시간은 바인딩 업데이트에 걸리는 시간보다 짧기 때문에 NEMO에 비해 약간의 손실만 발생하고, 통신이 정상적으로 진행된다.

[그림 5]의 (b)에서 딜레이를 보면, MANEMO가 더 낮은 딜레이로 통신하는 것을 볼 수 있다. NEMO의 경우, MR9를 떠난 패킷이 MANEMO GW0에 도착할 때까지 거치게 되는 모바일 라우터들의 홈 에이전트들을 차례로 거쳐 최종적으로 CN1으로 전달된다. 따라서 모바일 라우터가 중첩된 정도에 따라 전송 경로의 길이가 점점 늘어나고 딜레이가 증가한다. 반면, MANEMO의 경우, 패킷이



(a) Throughput



(b) Delay

[그림 5] MNN-CN1 간 통신 결과

유선 구간에서 MR9의 홈 에이전트만을 거쳐 CN1까지 전달된다. 즉, MR9와 GW0 사이에 패킷 포워딩을 해준 모바일 라우터가 몇 개 존재하는 유선 구간 상의 딜레이가 증가하지 않는다. 따라서 NEMO보다 더 낮은 딜레이를 보이는 것이다.

그래프를 보면 딜레이가 거의 일정한 값을 보인다. 이는 모바일 라우터가 이동함에 따라 게이트웨이까지의 무선 구간의 홉 수가 변하게 되지만, 이로 인한 딜레이 차이는 유선 구간의 딜레이에 비해 작기 때문에 그래프 상에서 거의 일정한 값을 보이는 것이다.

## 6. 결론

본 논문에서는 구체적인 MANEMO 동작을 위한 MANEMO 구조 및 연동에 의한 모바일 네트워크 운영 기법을 제안하였다. MANEMO 모바일 라우터 간에 이동 애드혹 오버레이를 형성하고, MANEMO 게이트웨이를 통해 표준화 작업이 완료된 모바일 네트워크를 위한 NEMO Basic Support 프로토콜을 수정하지 않고도 MANEMO 기능을 수행할 수 있게 하였다. 이 기법은 중첩된 모바일 네트워크에서 발생하는 라우팅 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다. 또한 MAENMO 게이트웨이는 망

관리자를 통해 추가적인 기능을 제공할 수 있을 것이다.

NS-2 시뮬레이션을 통해 NEMO Basic Support 프로토콜과 제안한 MANEMO 구조의 성능을 비교해 본 결과, delay, throughput 측면에서 더 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안하는 MANEMO의 구조는 모바일 네트워크의 성능을 향상 시키면서, 망 관리에 유리한 형태의 MANEMO 구조이다.

앞으로의 연구에서는 MANEMO 게이트웨이에 NAT 기능 추가함으로써 효율적인 망 관리를 할 수 있도록 확장할 계획이다. 또한 모바일 네트워크 단말 간의 지역적인 통신을 효율적으로 지원하고, 외부 인터넷과 연결이 끊어지더라도 통신이 가능하도록 하기 위한 모바일 네트워크 프리픽스 기반의 라우팅 프로토콜 동작을 구현 및 평가해볼 계획이다.

## 참고 문헌

- [1] Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A., and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol", RFC3963, January 2005.
- [2] S. Corson, J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations", RFC2501, January 1999.
- [3] C. Ng, P. Thubert, M. Watari, F. Zhao, "Network Mobility Route Optimization Problem Statement", RFC4888, July 2007
- [4] Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A., and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol", RFC 3963, January 2005.