

중첩된 이동네트워크에서의 Route Optimization 기법 설계

이동근*, 김기천*

*건국대학교 컴퓨터공학과

e-mail : {dklee, kckim}@konkuk.ac.kr

Route Optimization for Mobile Network

Dong-keun Lee*, Kee-cheon Kim*

Dept. of Computer Science & Engineering, Konkuk University *

요 약

인터넷 mobility 기술의 발전으로 인해 Mobile IPv6 를 기반으로 하는 이동 네트워크(Mobile Network, NEMO)기술이 등장하였으며, MR(Mobile Router)와 HA(Home Agent)간의 bi-directional 터널을 통해 네트워크의 이동성을 지원한다. 그러나, 이동네트워크 안에 또 다른 이동네트워크가 존재하는 중첩된 이동네트워크에서는 bi-directional 터널이 중복되는 routing problem 이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 중첩된 이동네트워크가 계층적 구조를 가지는 것을 이용하여, 최상위 MR 이 지역 HA 역할을 수행하게 함으로써, 중첩된 이동네트워크내의 노드들을 위한 경로최적화와 마이크로 이동성을 동시에 지원할 수 있도록 한다.

1. 서론

IETF 의 NEMO WG 에서 제안한 이동네트워크(Mobile Network : NEMO[1])는 네트워크 전체가 인터넷과의 연결을 유지하면서 이동이 가능한 네트워크를 말한다. 단일 호스트의 이동성만을 지원하는 Mobile IP[2]와는 달리, 이동네트워크는 네트워크내의 모든 호스트가 하나의 유닛으로써 이동이 가능하다. 이동네트워크는 항공기나 선박, 기차, 자동차와 같이 여러 호스트가 집단으로 이동하는 경우 매우 유용하다.

이동네트워크에서 인터넷과의 연결을 제공하며 default gateway 역할을 하는 라우터를 MR(Mobile Router)[1]이라고 하며, 하나의 이동네트워크에는 하나 이상의 MR 이 있을 수 있다. [3]의 정의에 의해 MR 은 Mobile IPv6 의 Mobile Node 의 확장이다.

Network mobility 를 지원하기 위해서 IETF 에서는 Mobile IPv6 을 확장한 프로토콜을 정의하고 있는데, 이 프로토콜은 MR 과 MR 의 Home Agent(HA_MR)간의 bi-directional 터널을 통해 이동네트워크의 트래픽을 송수신하는 방식을 사용하고 있다[3]. 또한 MR 의 홈 등록 시 이동네트워크의 prefix 를 HA 에게 알려 이동네트워크내의 호스트들로의 패킷 전달이 가능하도록 한다.

Bi-directional 터널을 사용하게 되면, CN (Correspondent Node)에서 이동네트워크로 향하는 모든 패킷은 HA_MR 을 경유하여 전송되고, 이동네트워크 내부에서 외부로 향하는 모든 패킷들도 HA_MR 를 경유해서 전송된다. 따라서 이동네트워크 내의 모든 노드들은 네트워크의 이동을 전혀 모르게 된다.

그러나, 이동네트워크 내에 또 다른 이동네트워크가 존재하는 중첩된 이동네트워크(Nested Mobile Network)의 경우, 패킷 전송 시 패킷의 전송경로에 존재하는 모든 MR 의 HA 를 거쳐 패킷이 전송되는 routing 문제가 발생한다. 특히, 이동네트워크의 노드가 이동노드(Mobile Node, MN)일 경우에는 패킷이 MN 의 HA 도 경유하여야 하기 때문에 문제가 더 심각해진다. 현재 [3]에서 정의한 프로토콜에서는 이런 routing 문제를 해결하지 못한다.

따라서, 본 논문에서는 중첩된 이동네트워크의 MN 의 관점에서 route optimization 을 지원하는 방안을 제안한다. 이후로 이 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 중첩된 이동네트워크에서의 routing 문제에 대하여 알아보고, 3, 4, 5 장에서는 route optimization 을 위해 본 논문에서 제안한 알고리즘을 설명한다. 마지막으로 6 장에서는 결론 및 향후 연구주제에 대하여 논

의하도록 한다.

2. 중첩된 이동네트워크

그림 1 은 각자의 홈 네트워크에 있던 MR1, MR2, MN 이 외부네트워크로 이동하여 구성된 중첩된 이동네트워크에서 발생하는 routing problem 을 설명하고 있다.

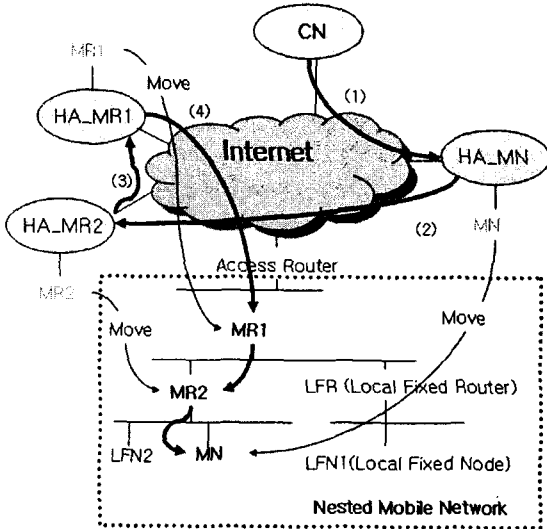


그림 1 중첩된 이동네트워크에서의 Routing Problem

LFR 과 그 하부의 LFN1 을 가지고 있는 MR1 이 홈에서 떨어져 외부네트워크로 옮겨지면, 우선 새로운 CoA 를 획득한 후, [3]에 명시된 방법으로 HA_MR1 에 binding update(BU)를 한다. HA_MR1 은 MR1 과 LFR 의 prefix 정보를 기록하여 패킷을 올바르게 포워딩할 수 있도록 한다. 이후, 그림 1 처럼 MR2 와 MN 이 각자의 홈 네트워크에서 MR1 의 이동네트워크로 이동하게 되면 중첩된 이동네트워크가 된다. 이제 MN 으로부터 BU 메시지를 받지 않은 CN 이 MN 에게 패킷을 전송하고자 하면, 그림 1 의 (1)부터 (4)까지의 경로를 거쳐 MN 에게 전송된다. 즉, MN 상위 모든 MR 들의 HA 를 경유해야만 한다. 만일 MN 이 CN 에 BU 를 한다 하더라도, CN 으로부터 MN 으로 가는 패킷은 MR2 와 MR1 의 HA 들을 경유하여야만 한다. MN 에서 CN 으로 패킷을 전송하는 반대 경우에도 역시 HA_MR1 과 HA_MR2 를 차례대로 경유하여 CN 으로 패킷이 전송된다.

또 다른 경우로, 만일 MN 이 같은 중첩된 이동네트워크의 노드인 LFN1 으로 패킷을 전송한다고 가정하면, MN 의 패킷을 MR2 가 [3]에 명시된 대로 캡슐화하기 때문에 MR1 은 패킷의 최종 목적지를 알지 못한다. 따라서 이 패킷은 MN->MR2->MR1->MR1_HA->MR2_HA->MR1_HA->MR1->LFR->LFN1 과 같은 경로를 거치게 된다.

이와 같이, 중첩된 이동네트워크에서의 routing 은 불필요한 전송경로를 거치게 되므로, 패킷의 전송시간

이 길어지고, 불필요한 패킷이 늘어나 네트워크에 부하를 주게 된다. 또한, 터널링의 중복으로 IP 패킷의 헤더가 커지게 된다.

3. Binding Update

본 논문에서는 HMIPv6[4]의 계층적 이동성 관리 알고리즘을 적용하여, route optimization 과 micro mobility 를 동시에 지원한다. 즉, 중첩된 이동네트워크의 root-MR 이 HMIPv6 의 MAP(Mobility Anchor Point) 역할을 하여 중첩된 이동네트워크내의 모든 MR 과 MN 의 지역적 HA 기능을 수행한다.

그림 1 에서 root-MR 인 MR1 은 중첩된 이동네트워크의 MAP 이 되어 [4]에서 명시된 동작을 수행한다. 즉, MR1 은 자신의 글로벌 주소와 네트워크 prefix 가 포함된 MAP 옵션 메시지를 Router Advertisement 메시지를 통해 자신의 이동네트워크에 방송하고, 이 메시지를 받은 모든 sub-MR 과 LFR(Local Fixed Router)들은 MR1 의 MAP 옵션 메시지를 자신의 라우터 광고 메시지에 포함하여 네트워크로 전달한다. 이런 방법으로 root-MR 의 MAP 옵션 메시지는 중첩된 이동네트워크 전체로 전파된다.

그림 1 에서 MN 은 MR2 를 통해 MR1 의 MAP 옵션을 수신하게 된다. 이후 MN 은 [4]에 명시된 대로 MR1 의 네트워크 prefix 로 구성된 RCoA(Regional CoA)와 MR2 의 네트워크 prefix 로 구성된 LCoA(On-linkCoA)를 생성하고 MR1(MAP)에게 로컬 BU 를 한다. RCoA 는 MN 이 외부 노드에 대한 CoA 로 사용하며, LCoA 는 중첩된 이동네트워크 안에서 MN 의 현재 위치를 알리기 위해 사용한다.

로컬 BU 가 성공하면, MN 은 HA_MN 에게 BU 를 하게 되는데 이때 MN 의 CoA 로 RCoA 가 사용된다. 따라서 MN 이 중첩된 이동네트워크 안에서만 이동할 경우에는 HA_MN 에게 BU 를 하지 않는다. 다만, 새로 이동한 링크에서 획득한 새로운 LCoA 를 가지고 MAP 인 MR1 에게 로컬 BU 를 한다. HA_MN 에 대한 BU 는 MN 이 MR1 이 아닌 다른 MR 의 MAP 옵션을 받거나, 홈 등록 시간이 만료되는 경우에 일어난다. 즉, 새로운 중첩이동네트워크로 이동하여 새로운 MR 의 MAP 옵션을 받게 되면 RCoA 와 LCoA 를 새로 구성하여 HA 와 MAP 에 등록을 하게 된다.

위와 같은 과정은 MN 뿐만 아니라 MR1 의 모든 sub-MR 들과 VMN(Visiting MN), LMN(Local MN)들에 대해서도 동일하다. 다만 [3]에서 명시한 대로, MR 이 로컬 BU 를 할 때에는 자신의 이동네트워크 prefix 를 BU 에 포함시킨다. 따라서 그림 1 에서 MR1 의 Binding Cache 테이블은 표 1 과 같이 된다.

Node	RCoA	LCoA	Network Prefix
MR2	MR2_RCoA	MR2_LCoA	Mobile Network Prefix of MR2
MN	MN_RCoA	MN_LCoA	-

표 1 MR1 의 Binding Cache Table

4. Route Optimization 이 적용된 Packet 전송

이제 그림 1 에서 CN 이 MN 에게 패킷을 보내는 과정을 보도록 하자. CN 이 MN 에 대한 binding cache 정보가 없다면 패킷의 목적지는 MN 의 홈 주소가 되고 따라서 패킷은 HA_MN 에게 전달된다. Binding cache 의 정보에 따라, HA_MN 은 패킷을 캡슐화하게 되고, 캡슐화된 패킷의 외부 헤더의 목적지 주소는 MN 의 RCoA 가 되고, RH(Routing Header) type 2 옵션 헤더에 MN 의 홈 주소가 들어간다[2](그림 2, a). MN 의 RCoA 는 MN 의 MAP 인 MR1 의 네트워크 prefix 를 토대로 만들어졌으므로, 터널링된 패킷은 HA_MR1 을 통해 MR1 으로 전달된다.

일단 패킷이 MR1 에 도착하면, MR1 은 목적지 주소인 MN 의 RCoA 의 prefix 를 보고 자신의 링크에 있는 노드로 가는 패킷임을 알게 된다. 따라서 binding cache 의 정보를 토대로 패킷을 전송하게 된다.

MR1 이 패킷을 최종 목적지인 MN 으로 전달하도록 하기 위해 Mobile IPv6 의 RH2(routing header type 2) 옵션을 확장한 확장된 RH2 를 사용한다. 기존의 RH2 는 엔트리를 하나만 가질 수 있지만, 확장된 RH2 는 복수개의 엔트리를 가질 수 있다[5]. 확장된 RH2 의 형식과 처리는 IPv6 의 RH Type 0[6] 를 상속 받는다. 단, 확장된 RH2 의 마지막 엔트리는 반드시 MN(또는 MR)의 홈 주소 이어야 하며, 마지막 엔트리의 처리는 기존 RH2 와 같다.

이제, MR1 은 이동네트워크의 MAP 으로서, 패킷을 MN 으로 보내기 위해 확장된 RH2 헤더를 가지는 새로운 IPv6 헤더로 encapsulation 을 한다. 확장된 RH2 옵션 헤더는 MR1 의 바인딩 캐쉬 테이블(표 1)을 이용하여 다음과 같은 알고리즘에 따라 생성된다.

```

empty a stack
set source address field = home address of MR1 (MAP-MR)
set finished = false
find an entry in binding cache with RCoA field == RCoA of MN (or MR)
if ( no binding cache entry is found ) {
    finished = true
}
else {
    push RCoA of MN(or MR) to stack
    while (not finished) {
        push LCoA of entry to stack
        get prefix of LCoA
        find an entry in binding cache with prefix field == prefix of LCoA
        if ( no binding cache entry is found ) {
            finished = true
        }
    }
}
if (stack is not empty) {
    prepare a extended RH2
    set Hdr Ext Len field of RH2 = (size of stack - 1) x 2
    set Segment Left filed of RH2 = size of stack -1
    pop top of stack to destination address field
    for n=1 to Segment Left filed of RH2 {

```

pop top of stack to Address[n] of RH2

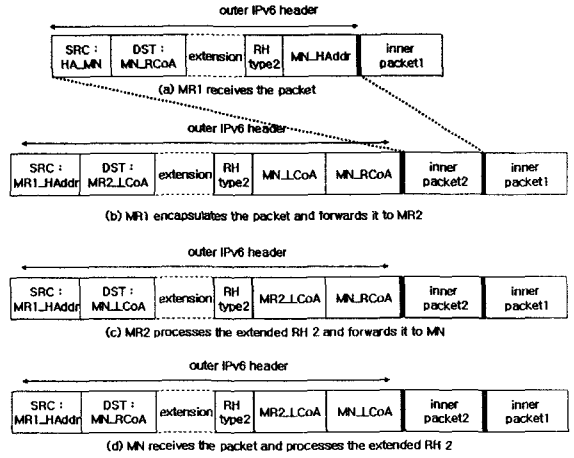


그림 2 확장된 RH2 옵션 헤더 처리

그림 2 의 (b)는 MR1 에서 encapsulation 된 패킷을 나타낸다. 패킷이 MR2 의 LCoA 로 전달된 후, MR2 는 확장된 RH2 의 첫 번째 엔트리와 패킷의 목적지 주소를 치환한 후(그림 3. c), 다시 MN 으로 전달한다. MN 도 패킷의 목적지 주소와 확장된 RH2 의 마지막 엔트리를 치환한 후, 목적지 주소가 자신의 RCoA 임을 확인하고 패킷을 decapsulation 하여 처리한다.

일단 MN 이 패킷을 수신하면, CN 에게 RCoA 를 CoA 로 하여 BU 를 할 수 있다. CN 에 BU 를 하면, 이후 CN 이 MN 으로 보내는 패킷들은 바로 HA_MR1 으로 보내진다.

이제 MN 이 패킷을 전송하는 경우를 보면, [3]에서는 MR 에서 외부로 보내지는 패킷들은 모두 MR 의 HA 로 터널링된다. 그러므로 그림 1 에서 MN 이 [3]에 명시된 방법대로 패킷을 CN 으로 전송하면, MR2 와 MR1 에서 두 번의 터널링이 일어나게 된다. 따라서 본 논문에서는 MR 이 패킷을 외부로 전송할 때, 패킷의 destination 과 source 주소에 따라 HA 와 터널링하는 방법을 사용한다.

즉, 중첩된 이동네트워크의 root-MR 을 제외한 모든 MR 들은 패킷을 외부로 전송할 때는, 패킷의 source 와 destination 의 주소가 같은 MAP 영역의 주소를 가지면 HA 로 터널링하지 않고 직접 목적지로 보내야 한다. 그림 1 에서 MR2 는 MN 의 패킷의 source 가 RCoA 이므로, 이 패킷을 터널링하지 않고 그대로 MR1 으로 보낸다. 따라서 중첩된 이동네트워크의 MN 이 전송하는 모든 패킷은 root-MR 인 MR1 에서만 터널링이 일어난다.

5. 중첩된 이동네트워크 내에서의 패킷 전송

앞에서 언급한 것처럼 중첩된 이동네트워크 내의 노드들간의 패킷 전송은 심각한 routing 문제를 만들 수 있다. 이는 MR 과 HA 간 bi-directional 터널에 의해

발생한다.

본 논문에서는 root-MR 만이 터널링을 하도록 함으로써 이동네트워크 내에서의 route optimization 을 지원한다.

그림 1 에서 MN 이 LFN1 으로 패킷을 전송할 때, source 주소를 MN 의 RCoA 로 한다. 따라서 MR2 는 패킷의 source 가 같은 MAP 영역에 속하므로, 패킷을 바로 MR1 으로 보낸다. MR1 은 패킷의 목적지가 자신의 하부네트워크의 노드임으로 패킷을 LFR 로 보낸다. 다시 이 패킷은 LFR 을 통해 최종 목적지인 LFN1 으로 전송된다.

반대의 경우로, LFN1 이 MN 으로 패킷을 전송할 때는 Mobile IPv6 의 일반적인 CN 처럼 MN 의 홈 주소로 패킷을 전송한다. 따라서 MR1 의 bi-directional 터널과 HA_MN-MN 터널을 통과하게 되므로 다음과 같은 경로를 통해서 전송된다.

LFN1->LFR->MR1->HA_MR1->HA_MN-> HA_MR1->MR1->MR2->MN

그러나 MN 이 LFN1 에 BU 를 하게 되면, LFN 이 MN 으로 보내는 패킷의 destination 주소는 MN 의 RCoA 가 된다. 따라서 MR1 은 목적지에 대한 routing 정보를 가지고 있으므로, 5 장에서 제시한 방법대로 패킷을 MN 으로 전송하게 된다. 따라서 다음과 같은 경로를 통해 패킷이 전송된다.

LFN1->LFR->MR1->MR2->MN

이와 같이, 중첩된 이동네트워크에서 패킷의 source 주소나 destination 주소가 root-MR 의 prefix 로 이루어진 RCoA 이면, 오직 root-MR 에서만 터널링을 하도록 하는 것으로 중첩된 이동네트워크 내에서의 route optimization 을 지원할 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서 제안한 Route Optimization 방법은 MN 뿐만 아니라 MR 에도 적용될 수 있다. MR 에 route optimization 이 적용되면, MR 링크에 연결된 노드들의 패킷 전송에 따른 부하를 줄일 수 있다. 즉, 그림 1 에서의 LFN2 도 패킷 전송에서 Route Optimization 을 적용할 수 있다.

Route Optimization 이 적용되면 패킷의 전송시간 지연이 줄어들고, 불필요한 패킷을 없애며, 헤더의 크기를 줄일 수 있다. 또한 micro mobility 가 지원되므로, HA 에 대한 등록메시지를 줄이고 등록시간을 단축할 수 있어 seamless 한 session 이 가능하다. 그리고 중첩된 이동네트워크 내부의 토폴로지를 외부로부터 숨기므로 [2][3]에 정의되지 않은 새로운 security 문제를 발생시키지 않는다.

본 논문에서 제안된 Route Optimization 방법은 handoff delay 와 packet 전송 delay 를 측정하기 위해 아래의 (1), (2) 와 같은 수식이 사용된다.

$$T = \sum_{i=1}^n (tMR_i + Lw_i) + Lha + tHA_MR \quad (1)$$

$$T = \sum_{i=1}^n (tMR_i + Lw_i) + Lha + tHA_MR + Lcn \quad (2)$$

(n :level of mobility, tMR : processing delay of MR, Lw : latency of wireless link, Lha : latency of wired link to HA, tHA_MR : processing delay of MR_HA, Lcn : latency of link from CN to HA)

수식에서 보듯이, delay 의 상당부분이 중첩된 이동네트워크 내에서의 라우팅에 관계되고, 각 중간 단계의 MR 의 HA 는 관여하지 않으므로, 선박이나, 열차, 비행기와 같이 sub-MR 들이 일정영역에서만 이동하는 중첩된 이동네트워크에 매우 효과적이다.

그러나, 중첩된 이동네트워크 내부의 LFN 간 패킷 송수신에는 완전한 route optimization 이 지원되지 않는다. 즉, 그림 1 에서 LFN1 과 LFN2 사이의 패킷 전송은 MR1 과 MR2 의 bi-directional 터널을 모두 통과하여야 한다. 이처럼, 중첩된 이동네트워크의 내부 route optimization 은 추후의 연구과제가 될 것이다.

참고문헌

- [1] Thierry Ernst 외, "Network Mobility Support Terminology", Internet Draft, IETF, 2003.5, Work in progress.
- [2] C. Perkins 외, " Mobility Support in IPv6 ", Internet Draft, IETF, 2003.6, Work in progress.
- [3] Vijay Devarapalli 외 " Nemo Basic Support Protocol ", Internet draft, IETF, 2003.6, Work in progress.
- [4] Hesham Soliman 외, " Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6) ", Internet draft, IETF, 2003. 6, Work in progress.
- [5] P. Thubert 외, "IPv6 Reverse Routing Header and its application to Mobile Networks", Internet draft, IETF, 2003. 6, Work in progress.
- [6] Deering, S. 외, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2460, December 1998.