
중첩된 이동 네트워크 환경에서 동적 라우팅 프로토콜을 이용한 경로 최적화 기법

김의국* · 이종협**

Route Optimization Scheme using Routing Protocol in Nested Mobile Networks

Euikook Kim* · Jong Hyup Lee**

요 약

IETF에서 표준화된 NEMO(Network Mobility) Basic Support Protocol은 이동 노드들로 구성된 이동 네트워크가 이동하는 경우 이동 네트워크 내에 있는 모든 노드들에게 네트워크의 이동과 관계없이 끊임 없는 통신 환경을 제공한다. 이 표준에서는 이동 네트워크가 자신의 홈 네트워크에서 외부로 이동하였을 경우 자신의 이동 정보를 홈 에이전트(HA: Home Agent)에게 알리기 위한 방법으로 바인딩 업데이트 메시지를 이용하는 방법과 동적 라우팅 프로토콜을 이용하는 방법에 대하여 언급하고 있다. 하지만 이들 두 방법 모두 경로 최적화를 고려하고 있지 않기 때문에 이동 라우터(MR: Mobile Router)에 접속되어 있는 이동 네트워크 노드(MNN: Mobile Network Node)로 전송되는 모든 패킷들은 MR의 HA를 경유하여 전송할 수밖에 없으며 이로 인해 전송 지연과 대역폭 낭비를 초래하고 있다. 이동 네트워크를 구성하고 있는 MR들이 중첩되어 있을 경우 전송 지연 및 대역폭 낭비는 더욱 커지게 되며 뿐만 아니라 중첩된 터널로 인한 패킷 단편화(packet fragmentation) 문제까지 발생할 수 있어 단일 이동 네트워크 환경에 비해 더욱 심각한 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 이동 네트워크 환경에 적용 가능한 경로 최적화 기법에 대한 연구가 있어 왔지만 패킷 전달 성능 측면에서 문제점들이 있었다. 본 논문에서는 중첩된 이동 네트워크 환경에서 동적 라우팅 프로토콜을 이용하고 패킷들이 경유해야 하는 HA의 개수를 최소화하여 이동 네트워크로의 패킷 경로를 최적화함으로써 그 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 기법을 제안한다. 다양한 성능 분석을 통해 본 논문에서 제시한 기법이 기존 기법들에 비해 패킷 전달 성능 측면에서 우수함을 입증하였다.

ABSTRACT

NEMO Basic Support Protocol standardized in IETF provides the seamless communication environment to all nodes within the mobile network regardless of the network movement while the network is moving. According to the standard, when the mobile network moves outside of its home network, the network can make use of the binding update message or dynamic routing protocol in order to register the mobility information into the Home Agent(HA). But because these two methods don't consider the route optimization, all packets destined to Mobile Network Nodes(MNNs) attached into the Mobile Router(MR) have to go through HAs of MRs so that they bring on the transmission delay and the waste of the bandwidth. This situation is to be worse and causes the packet fragmentation problem if MRs within the mobile network are nested. Even though there have been some researches about the route optimization to recover the problems, they have problems in the packet transmission performance side. In this paper, we propose a new scheme to improve the network performance by using a dynamic routing protocol and minimizing the number of HAs on the end-to-end path. Various performance evaluations show that the proposed mechanism gives better performance in view of the packet transmission compared to the existing schemes.

키워드

NEMO, Route Optimization, Dynamic Routing Protocol, Mobile Network

* (주)넷비전텔레콤

접수일자 2008. 08. 26

** 인제대학교 정보통신공학과 (교신저자)

I. 서 론

IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 네트워크 자체가 이동하는 경우에도 단말의 서비스가 지속될 수 있도록 하기 위한 방안의 하나로 NEMO Basic Support Protocol을 제안하였다.[1] NEMO Basic Support Protocol에서는 이동 네트워크에 접속되어 있는 이동 네트워크 노드(MNN)들의 이동성 지원을 위해 이동 네트워크의 이동성을 책임지는 이동라우터(MR)를 정의하고 있으며 이동라우터는 이동 네트워크가 자신의 홈 네트워크에서 외부로 이동하였을 경우 자신이 관리하는 이동 네트워크를 대신하여 자신의 홈 에이전트로 자신의 이동 정보를 알려 줌으로써 자신에게 접속되어 있는 이동 네트워크 노드들에게 이동에 대한 투명성을 제공한다. 즉 이동 네트워크가 자신의 홈 네트워크에서 외부로 이동하였을 경우 MR은 자신이 이동한 네트워크로부터 획득한 CoA(Care-of Address)와 자신이 관리하는 이동 네트워크 프리픽스(MNP: Mobile Network Prefix)에 대한 정보를 자신의 홈 에이전트(HA)로 알려 줌으로써 MR이 외부 네트워크로 이동하였음을 알린다. 이후부터 HA는 MR이 관리하는 MNP로 전송되는 패킷을 수신하였을 경우 이 패킷을 MR과 HA 사이에 설정되어 있는 양방향 터널인 MRHA 터널(Mobile Router - Home Agent Tunnel)을 통해 MR로 전송함으로써 MR에 접속되어 있는 MNN들에게 끊김 없는 통신 환경을 제공할 수 있게 된다. MNN은 MR로 구성된 이동 네트워크에 접속할 수 있는 모든 노드들을 통칭하며 MNN에는 MIPv6 (Mobile IPv6)[2] 기능이 구현되어 있는 단말인 VMN(Visited Mobile Node)와 MIPv6 기능이 구현되어 있지 않은 단말인 LFN(Local Fixed Node)으로 나눌 수 있다.[3]

NEMO Basic Support Protocol에서는 보안등의 문제로 인하여 이동 네트워크에 속해 있는 MNN로 전송되는 패킷은 MR과 HA 사이에 설정되어 있는 MRHA 터널을 통하여 전송해야 하기 때문에 CN(Correspondent Node)과 MNN 사이에 주고받는 패킷이 이들 사이에서 직접 전송되지 못하고 MR의 HA를 통해 전송되는 Pinball 라우팅 문제가 발생하게 된다.

Pinball 라우팅 문제는 이동 네트워크가 중첩되어 있는 경우 더욱 심각해지는데 중첩된 이동 네트워크의 최하위 MR에 접속되어 있는 MNN으로 전송되는 패킷은 이동 네트워크 내에서 MNN으로 전송되기까지 경유되

는 MR들의 HA들을 모두 거쳐야하므로 중첩되지 않은 이동 네트워크 환경에 비하여 더 큰 전송 지연이 발생됨은 물론 각 MR의 HA를 경유할 때마다 터널의 수가 하나씩 증가하게 되어 과도한 터널의 중첩으로 인한 패킷 단편화(fragmentation) 문제 또한 발생하게 된다.[4] 그림 1에서는 중첩된 이동네트워크 환경에서 발생하는 Pinball 라우팅 문제를 보여주고 있다.

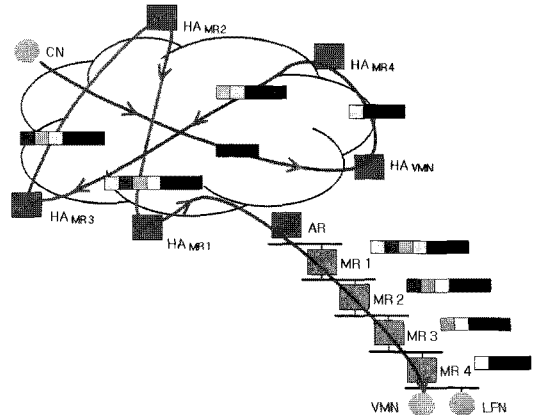


그림 1. 중첩된 이동네트워크에서의 Pinball 라우팅 문제
Fig. 1. Pinball Routing Problem in a Nested Mobile Network

Pinball 라우팅으로 인한 성능 문제점들을 해결하기 위해서는 MIPv6에서와 같이 CN에서 MNN으로 패킷의 직접 전송을 가능하게 하는 경로 최적화 기법이 필요하게 된다. 그러나 MIPv6에서 사용되던 경로 최적화 기법을 중첩된 이동 네트워크 환경에 적용하였을 경우 최적이지 아닌 경로가 선택되는 등 여러 문제점의 발생으로 인해 이를 이동 네트워크 환경에 적용하기에는 적합하지 않으므로 이동네트워크 환경에 적합한 새로운 경로 최적화 기법이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 중첩된 이동 네트워크 환경에서 동적 라우팅 프로토콜을 이용하고 패킷들이 경유해야 하는 HA의 개수를 최소화하여 이동 네트워크로의 패킷 경로를 최적화함으로써 그 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동 네트워크 환경에 적용 가능한 경로 최적화 기법과 관련된 기존의 주요 연구 결과들 및 문제점들을 살펴보고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 동적 라우팅 프로토콜을 이용

하고 경로 상의 HA 개수를 최소화하는 경로 최적화 기법에 대하여 기술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 경로 최적화 기법과 기존의 경로 최적화 기법들과의 성능 비교를 통해 본 논문에서 제안된 경로 최적화 기법의 성능 수준을 비교, 분석하고 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구 과제에 대하여 언급한다.

II. 관련 연구

NEMO 표준에서 정의된 MR은 자신에게 접속되어 있는 MNN들의 이동성 관리를 대신함으로써 이동 네트워크의 이동에 관계없이 MNN들이 상호간의 통신 세션을 유지할 수 있도록 하고 있다.[1]

MR은 자신의 홈 네트워크에 접속되어 있을 경우 일반적인 라우터와 동일하게 동작하지만 MR이 자신의 홈 네트워크를 벗어나 외부로 이동하였을 경우, MR은 자신이 이동한 현재의 네트워크로부터 획득한 CoA와 자신이 관리하는 MNP에 대한 정보를 자신의 HA로 알려 줌으로써 HA에게 홈 네트워크 외부에 있는 자신의 위치를 알리게 된다.

MR이 자신의 CoA와 MNP 정보를 HA에게 알리는 방법으로는 크게 바인딩 업데이트 메시지를 이용하는 방법과 동적 라우팅 프로토콜을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다.

중첩된 이동 네트워크 환경에서 발생하는 전송 지연 및 캡슐화에 따른 패킷 오버헤드 문제들을 해결하기 위하여 HA를 거치지 않고 단말들 사이에 직접 패킷을 전달하는 경로 최적화 기법에 대한 연구가 있어 왔다.[5-16] 본 논문에서는 기존에 제안된 여러 방법들 중 대표적인 방법들에 대해 살펴본다.

RRH(Reverse Routing Header) [10] 방법에서는 중첩된 이동 네트워크를 구성하고 있는 MR들은 이동 네트워크를 구성하는 최상위 MR로부터 자신에게 이르는 경로 상에 존재하는 모든 MR들의 리스트를 역 라우팅 헤더(RRH)를 통해 자신의 HA에게 알려주며 이동 네트워크 내의 MNN에게 전송되기 위한 패킷이 홈 네트워크에 도착하게 되면 HA는 해당 MNN까지의 경로 상에 있는 모든 MR들의 정보를 RRH에 기록하여 중첩된 이동 네트워크의 최상위 MR에게 전송하게 된다. 최상위 MR에 도착한 패킷은 RRH에 기록된 MR들의 순서에 따라 최종

목적지인 MNN까지 전송된다. RRH를 이용한 경로 최적화 방법의 경우는 모든 MR들에서 모든 패킷들에 대해 헤더 수정을 해야 한다는 오버헤드가 있고 중첩 레벨의 증가에 따라 RRH의 크기가 증가하는 것도 단점으로 지적될 수 있다.

또 다른 대표적인 경로 최적화 방법으로 ORC(Optimized Route Cache protocol)를 들 수 있다.[8], [9] 이 방법에서는 CN과 동일한 AS(Autonomous System)내에 위치하는 CR(Correspondent Router)이 경로 최적화 과정에 관여한다. MR은 자신이 이동할 때 마다 자신의 AS내에 있는 CR로 바인딩 업데이트 메시지를 전송하고 CR은 그 정보를 자신의 바인딩 캐시에 저장한다. 이후부터 CR은 MR로 전송되는 모든 패킷들을 가로채어 자신의 바인딩 캐시에 있는 정보를 기반으로 MR이 접속되어 있는 이동 네트워크의 최상위 MR의 CoA로 터널링을 함으로써 경로 최적화를 수행하게 된다. CR은 경로 최적화를 위해 자신의 정보를 주기적으로 Anycast함으로써 자신의 정보를 AS내의 다른 CR들에게 알려주게 된다. 또한 CR은 자신이 전송 받은 바인딩 정보가 유효할 경우 자신의 바인딩 캐시를 통해 결정된 최적 경로를 다른 CR들에게 전송한다. ORC의 경우, 경로 최적화 과정에서 통신에 관여하는 MNN과 CN 이외에 추가로 정의된 CR에 대한 구현이 필요하며 CR을 찾거나 CR들 사이의 정보 전달을 위한 별도의 신호 메시지들이 추가로 필요하다는 오버헤드가 있다. 또한 CR로 전송되는 트래픽이 많을 경우 성능 저하 문제도 발생 가능할 수 있다.

TIO(Tree Information Option)는 중첩된 이동 네트워크 환경에서 하위 MR에게 상위 이동 네트워크의 토폴로지를 알려 주기 위해 제안된 옵션이다 [11]. 이동 네트워크를 구성하는 최상위 MR(root-MR)은 자신의 RA(Router Advertisement) 메시지에 TIO를 추가하고 이 옵션에 자신의 CoA를 기록한 후 하위 네트워크로 전송한다. 이 메시지를 받은 그 다음 계층에 존재하는 MR은 TIO에 자신의 CoA를 추가하여 전송한다. 이러한 방법을 통해 이동 네트워크를 구성하고 있는 MR들은 자신의 상위에 존재하는 MR들의 정보를 알 수 있게 된다. MR들은 바인딩 업데이트 메시지에 TIO를 포함한 후 자신의 HA뿐 아니라 root-MR에게도 바인딩 업데이트 메시지를 전송하여 root-MR에게 자신이 접속되어 있음을 알리는 방식이다. 바인딩 업데이트 메시지를 통해 TIO를 수신한 HA는 그 후 MR로 전송되는 패킷을 수신하게 되면 이 패킷을 TIO

의 가장 앞에 있는 주소인 root-MR의 HA로 전송하고 root-MR의 HA는 해당 패킷을 root-MR로 전송한다. root-MR로부터 목적지 MR까지는 소스 라우팅을 이용해 전달함으로써 경로 최적화가 이루어지게 된다. 하지만 이 방법의 경우 TIO라는 추가적인 메시지가 필요할 뿐 아니라 자신의 바인딩 정보를 자신의 HA 뿐 아니라 root-MR에게도 전송해야 하는 오버헤드가 있으며 root-MR의 경우 root-MR에 접속되어 있는 MR들의 바인딩 캐시를 함께 관리해야 하므로 이로 인한 오버헤드가 발생하게 된다.

이밖에도 HMIPv6 (Hierarchical MIPv6)를 이용하는 방법[12], [15], 이동 네트워크 내부에서는 라우팅 프로토콜을 이용하고 외부로는 해당 MR의 HA와 root-MR의 HA를 거처도록 하는 방법 [6], [7], [14], 프록시 MR과 프리픽스 delegation을 사용하는 방법 [5], [16], SIP (Session Initiation Protocol)를 활용하는 방법 [13] 등이 있다.

III. 동적 라우팅 프로토콜을 이용한 경로 최적화 기법

본 논문에서는 pinball 라우팅 문제의 해결을 통한 경로 최적화를 위해 기존의 모든 라우터에서 동작하고 있는 동적 라우팅 프로토콜을 활용하는 방안을 제시한다. NEMO Basic Support Protocol에서는 MR들이 라우팅 프로토콜 메시지를 자신의 HA에게만 전송하도록 하고 있으나 이를 확장하여 HA 뿐 아니라 자신이 속해 있는 이동 네트워크로도 라우팅 프로토콜 메시지를 전송토록 함으로써 이동 네트워크를 구성하고 있는 MR들이 이동 네트워크 내의 다른 MR들의 위치 정보를 서로 알 수 있도록 한다. 이동 네트워크 내의 MR들이 상호간의 위치 정보를 알게 되면, 이동 네트워크 내부 MNN들 사이의 통신은 HA의 도움 없이 직접 연결이 가능하다. 그러나 이때 이동 네트워크를 구성하고 있는 MR들 사이에서 전송되는 라우팅 프로토콜 메시지는 이동 네트워크 외부의 AR (Access Router)로 전송되지 않도록 하여야 하는데 이는 이동 네트워크 외부의 AR은 MR들의 홈 네트워크에 대한 라우팅 정보를 이동 네트워크 외부로부터 수신하고 있기 때문이다. 이동 네트워크 외부의 라우터인 AR과 연결된 이동 네트워크 내부의 최상위 MR인 root-MR (예, 그림 1에서 MR1)이 AR과의 연결 인터페이스

인 자신의 egress 인터페이스를 통해 이동 네트워크 내부에서 전송되는 라우팅 프로토콜 메시지를 전송하지 않도록 하면 되는데 이를 위해 MR들은 자신이 root-MR인지의 여부를 판단 할 수 있어야 한다.

그러나 현재 MR들이 교환하는 라우팅 프로토콜 메시지는 자신이 root-MR인지의 여부를 판단할 수 없기 때문에 그림 2와 같이 MR이 전송하는 RA 메시지 [17]에 C 플래그를 추가하여 이에 대한 판단이 가능하도록 한다. 즉, MR은 RA 메시지 내의 C 플래그를 1로 설정하여 자신의 하위 방향인 ingress 인터페이스로 전송함으로써 하위 노드들에게 자신이 MR임을 알린다. MR이 수신한 RA 메시지에 C 플래그가 1로 설정되어 있지 않은 경우는 AR로부터의 RA 메시지를 수신한 경우이며 이는 root_MR만이 가능하므로 이러한 MR은 자신이 root-MR이라고 판단하고 내부의 라우팅 프로토콜 메시지를 자신의 egress 인터페이스로 전달하지 않는다.

Type	Code					Checksum		
Cur Hop Limit	M	O	H	Pf	P	C	R	Router Lifetime
Reachable Time								
Retrans Timer								
Options								

그림 2. 수정된 RA 메시지
Fig. 2. Modified RA message

지금까지는 이동 네트워크 내부에서 라우팅 프로토콜을 이용하여 통신하는 방법에 대해 언급하였으나 이동 네트워크 외부의 CN과 내부의 MNN 사이의 pinball 라우팅 문제의 해결하기 위한 방안도 필요하다. 그림 1에서 이동 네트워크를 구성하는 최하위 MR인 MR4가 root-MR인 MR1의 CoA를 자신의 HA에게 알려 라우팅 테이블에 존재하는 MR4에 대한 next hop을 MR1의 CoA로 설정하게 된다면 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷은 CN -> HAMR4 -> AR -> MR1 -> MR2 -> MR3 -> MR4 -> LFN의 경로를 통해 전송되므로 더욱 빠른 시간 내에 패킷이 전송될 수 있다. 그러나 표준에서 정의된 메시지는 root-MR의 CoA를 하위 MR들에게 알릴 방법이 없기 때문에 본 논문에서는 root-MR의 CoA를 하위 MR들에게 알리기 위한 새로운 메시지인 root-MR CoA 옵션을 정의한다. root-MR CoA 옵션은 RA 메시지에 포함되어 전송되며 이동 네트워크의 하위 MR들은 이 옵션을 통

해 root-MR의 CoA를 획득할 수 있게 된다. root-MR CoA 옵션의 형태는 그림 3과 같다.

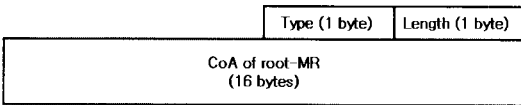


그림 3. root-MR CoA 옵션
Fig. 3. root-MR CoA option

MR들은 자신이 수신한 RA 메시지에 root-MR CoA 옵션이 존재하지 않을 경우 자신이 이 옵션을 생성하여 하위 네트워크로 전송한다. 만일 RA 메시지에 root-MR CoA 옵션이 존재할 경우 이 옵션을 자신이 전송하는 RA 메시지에 추가하여 전송함으로써 하위 MR들이 root-MR의 CoA를 획득할 수 있도록 한다.

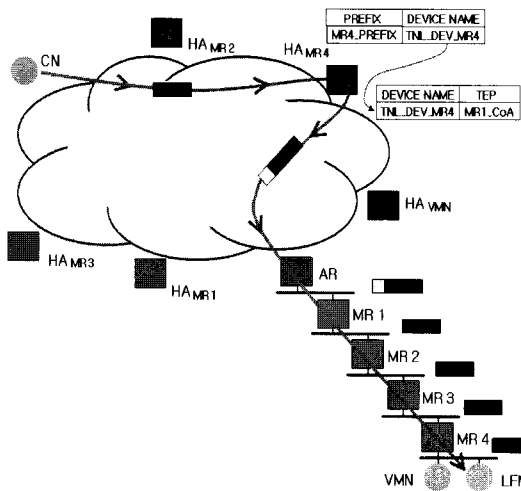


그림 4. 경로 최적화 후의 트래픽 경로 (CN->LFN)
Fig. 4. Traffic Path after the Route Optimization (CN->LFN)

그림 4는 경로 최적화 후, CN으로부터 MR4에 접속되어 있는 LFN으로 패키지가 전송되는 경로를 나타낸 것이다. RA 메시지로부터 root-MR (MR1)의 CoA를 획득한 MR4는 자신의 HA인 HAMR4로 전송되는 라우팅 프로토콜 메시지를 통해 HAMR4에 존재하는 자신의 라우팅 엔트리 정보의 next hop을 root-MR의 CoA로 설정하게 된다. CN에서 HAMR4로 전송된 패키트는 HAMR4가 관리하는 라우팅 테이블에 있는 MR4의 MNP에 대한 next

hop 정보 (root-MR인 MR1의 CoA)를 이용하여 MR1으로 터널링된다. 터널링을 통해 HAMR4에서 MR1으로 전송된 패키트는 MR1에서 디캡슐화 된 후 이동 네트워크 내 MR들의 라우팅 정보를 기반으로 MR4까지 라우팅되어 LFN에 전달된다.

MNN에서 CN으로 전송되는 패키트에 대하여도 경로 최적화가 필요하며 본 논문에서는 MNN에서 CN으로 전송되는 패키지가 CN에서 MNN으로 전송되는 패키지의 최적화된 경로와 동일한 경로로 경로 최적화가 되도록 하기 위하여 IPv6 확장헤더 [18]에 정의된 라우팅 헤더를 사용한다.

그림 5는 MNN에서 CN으로 전송되는 패키지의 전송 경로와 패킷 헤더의 내용을 나타낸 것이다.

그림 5에서 LFN이 CN으로 전송한 패키지를 수신한 MR4는 해당 패키지를 출발지 주소가 자신의 CoA이고 목적지 주소가 MR1의 CoA인 IPv6 헤더로 캡슐화 한 뒤 해당 패키지가 HAMR4로 전송될 수 있도록 HAMR4의 주소가 들어 있는 라우팅 헤더를 삽입하여 MR1으로 전송한다. 해당 패키트는 이동 네트워크 내의 라우팅을 통해 MR1으로 전송되고 MR1은 수신된 패키트의 라우팅 헤더 처리 동작을 수행한 후 패키지를 HAMR4로 전송한다. MR1에서 전송된 패키지를 수신한 HAMR4는 해당 패키지의 헤더를 제거한 후 CN으로 전송함으로써 MNN에서 CN으로 전송되는 패키지의 경로 최적화가 이루어지게 된다.

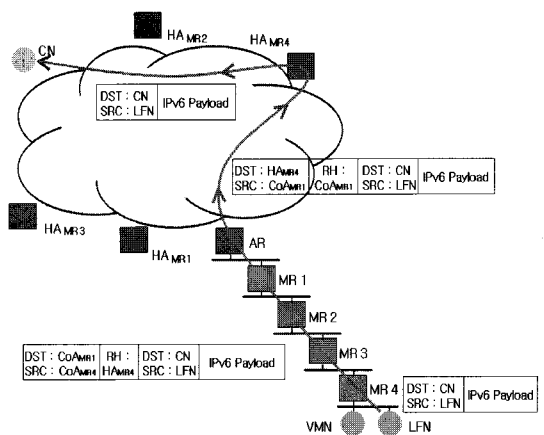


그림 5. 경로 최적화 후의 트래픽 경로 (LFN->CN)
Fig. 5. Traffic Path after the Route Optimization (LFN->CN)

IV. 성능 분석

본 장에서는 이동 네트워크 환경에서 적용 가능한 기존에 발표된 대표적인 경로 최적화 기법들과의 성능 비교를 통해 본 논문에서 제안한 기법이 NEMO 환경에서 적합한 성능을 발휘하는지를 확인하였다. 제안된 기법의 성능 평가를 위해 ns 시뮬레이터를 사용하였으며 ns-2 [19]에서 Mobile IPv6를 구현한 Mobiwan [20]과 여기에 NEMO 관련 기본 기능을 구현한 패치 [21]를 바탕으로 기능을 추가 확장하여 본 논문에서 제안한 경로 최적화 기법을 구현하였다. 경로 최적화를 하지 않은 NEMO Basic Support Protocol과 기존의 대표적인 경로 최적화 메커니즘인 ORC, RRH 및 TIO들과 본 논문에서 제안한 기법의 성능을 비교함으로써 본 논문에서 제안한 경로 최적화 기법의 성능 측면의 우수성을 확인하였다.

시뮬레이션 환경은 그림 6과 같으며 깊이가 4인 중첩된 이동 네트워크 환경을 가정하였다.

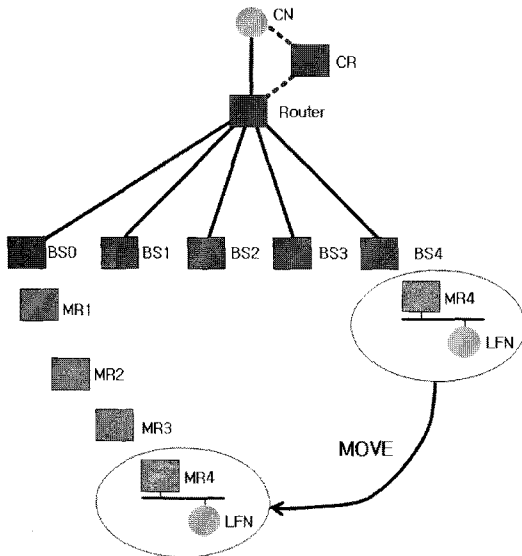


그림 6. 네트워크 토폴로지
Fig. 6. Network Topology

각 BS (Base Station)들은 AR과 HA의 기능을 모두 수행한다. 즉 BS1의 경우 MR1의 HA 역할을 수행하게 된다. 시뮬레이션 시간은 경로 최적화가 충분히 완료되었을 시간인 40초로 설정하였다. CN과 LFN 사이에 전달되

는 패킷 크기는 1000bytes로 고정하였으며 각 유선 링크의 전파 지연은 10msec로 설정하였다. 트래픽 유형은 10Mbps의 FTP (File Transfer Protocol) 트래픽으로 가정하였고 시뮬레이션 시작 1초 후 MR4는 이동을 시작하여 약 7초 후 MR3에 접속하도록 하였다.

시뮬레이션을 통해 CN과 LFN사이에서 전송되는 패킷들의 throughput, 종단간 지연 시간, 패킷 손실률 등을 측정하여 기존의 기법들과 비교하였다.

그림 7은 성능 비교 대상인 각 기법에 대해 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷의 throughput을 나타낸 것이다. 홈 네트워크 내에서의 MR은 일반 라우터와 동일하게 동작하므로 경로 최적화 기법에 상관없이 최대 throughput인 10Mbps에 가까운 성능을 가지게 되지만 MR이 자신의 홈 네트워크로부터 중첩된 이동 네트워크 환경으로 이동했을 때에는 throughput이 감소하게 된다.

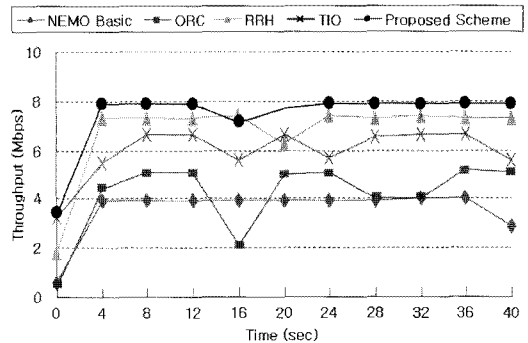


그림 7. Throughput 측면의 성능비교
Fig. 7. Throughput Performance

NEMO Basic Support Protocol의 경우, 핸드오버 이후에는 급격한 성능 저하가 일어나 4Mbps 정도로 50% 이상의 성능 저하가 발생하였다. ORC의 경우는 5Mbps의 throughput을 보이는데 이는 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷이 기존의 경로 외에 CR을 추가로 경유하여 전송되기 때문이다. RRH의 경우는 7.5Mbps 정도의 throughput을 나타내는데 이는 최적 경로로 패킷을 전송하기 위해 각 패킷에 RRH를 추가하여 전송하기 때문이다. TIO를 이용한 경로 최적화 기법의 경우 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷이 MR4의 HA와 MR1의 HA를 거쳐 MR1으로 전송되므로 5.3Mbps 정도의 throughput을 보인다.

마지막으로 본 논문에서 제안된 경로 최적화 기법의 경우는 8Mbps의 throughput을 나타내는데 이는 CN에서

LFN으로 전송된 패킷이 MR4의 HA만을 거쳐 전송될 뿐 아니라 RRH와 같이 사용자 패킷에 정보를 추가할 필요가 없으므로 기존에 제안된 다른 방법들에 비하여 가장 좋은 throughput 성능을 보이고 있다.

그림 8은 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷의 평균 전송 지연 시간을 측정 한 것이다. 평균 전송 지연은 2초 동안 수신한 패킷의 전송 지연의 평균값을 사용하였으며 MR이 이동 네트워크로 이동한 후부터 측정하였다. 전송 지연 역시 throughput과 마찬가지로 MR이 자신의 홈 네트워크에 존재 할 경우 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷의 전송 지연은 12msec이지만 MR이 홈 네트워크 밖으로 이동하게 되면 전송 지연은 증가하게 된다.

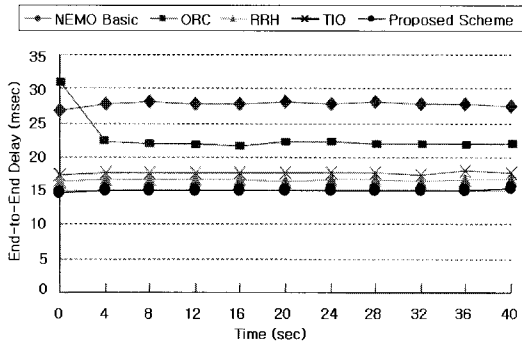


그림 8. 중단간 평균 지연 시간 측면의 성능비교
Fig. 8. End-to-End Delay Performance

MR이 자신의 홈 네트워크에서 외부로 이동했을 때 NEMO Basic Support Protocol의 경우는 평균 전송 지연이 37msec로 MR이 자신의 홈 네트워크 내에 존재하고 있을 경우에 비하여 3배 이상 증가하게 된다. 이는 pinball 라우팅 문제로 인하여 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷이 각 MR의 HA를 경유하기 때문이다. 본 시물레이션 토폴로지에서는 각 링크의 전송 지연을 10msec로 가정하였지만 각 HA들 사이의 거리가 멀어질수록 전송 지연은 더욱 늘어나게 될 것이다. ORC의 경우 21msec 정도의 전송 지연을 나타내는데 이는 앞서 설명한 바와 같이 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷이 최적 경로 외에 CR을 거쳐 전송되기 때문이다. RRH의 경우 본 논문에서 제안된 경로 최적화 기법과 비슷한 전송 지연을 보이고 있지만 각 MR이 RRH를 통해 패킷이 전송될 다음 노드를 정하는 추가적인 과정의 수행으로 인해 본 논문에서 제안된 경로 최적화 기법에 비하여 전송 지연이 길어

짐을 알 수 있다. TIO를 이용한 경로 최적화 기법의 경우는 20msec의 전송지연을 나타내는데 이는 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷이 MR4와 MR1의 HA를 모두 거쳐 게 되기 때문이다.

그러나 본 논문에서 제안된 경로 최적화 기법의 경우는 패킷들이 MR4의 HA만을 거쳐 이동 네트워크로 전달 되므로 전송지연이 15msec정도로 다른 방법들에 비하여 우수한 성능을 나타낼 수 있다.

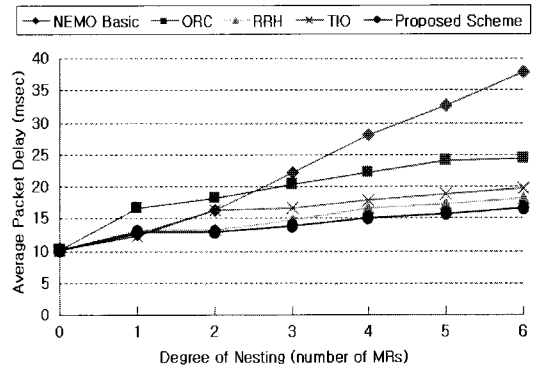


그림 9. 중첩 정도의 변화에 따른 평균 지연 시간
Fig. 9. Average Delay Performance for varying the Degree of the Nested Mobile Network

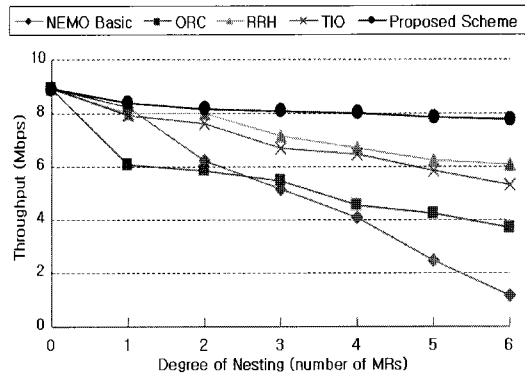


그림 10. 중첩 정도의 변화에 따른 throughput
Fig. 10. Throughput Performance for varying the Degree of the Nested Mobile Network

그림 9와 10은 이동 네트워크의 중첩 정도에 따른 패킷의 평균 전송 지연과 throughput의 변화를 보여준다.

그림 9의 평균 전송 지연의 경우 NEMO Basic Support Protocol을 적용했을 때에는 이동 네트워크의 중첩 정도가 커질수록 패킷의 평균 전송지연이 역시 급격하게 커

점을 알 수 있다. ORC의 경우는 이동 네트워크의 깊이가 2인 경우까지는 NEMO Basic Support Protocol에 비하여 높은 전송 지연을 보이지만 이후 이동 네트워크의 깊이가 증가하더라도 전송 지연의 증가율은 NEMO Basic Support Protocol에 비하여 적음을 알 수 있는데 이는 이동 네트워크의 중첩 정도가 증가하더라도 LFN에서 CN으로 전송되는 패킷의 경로는 CR에서 이동 네트워크의 root-MR로 직접 전송되기 때문이다.

RRH의 경우 다른 경로 최적화 기법에 비하여 비교적 좋은 결과 값을 보이지만 이동 네트워크의 중첩 정도가 클수록 throughput이 소폭 감소하게 되는데 이는 각 MR에서 RRH를 해석하여 패킷의 다음 목적지를 결정하여야 하는 동작이 필요하기 때문이다. TIO를 이용한 경로 최적화 기법의 경우 이동 네트워크의 깊이가 2인 경우까지는 NEMO Basic Support Protocol과 비슷한 평균 전송 지연을 보이지만 그 이후에는 이동 네트워크의 중첩 정도가 증가하더라도 평균 전송 지연이 약간씩 밖에는 증가하지 않음을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안된 경로 최적화 기법의 경우 이동 네트워크의 중첩 정도가 늘어나도 평균 전송 지연의 증가 정도가 거의 없음을 볼 수 있으며 throughput의 경우도 중첩 정도가 증가하는 경우에도 높은 성능을 유지하고 있다.

그림 11은 이동 네트워크의 중첩 정도와 패킷 손실률의 상관관계를 보여준다.

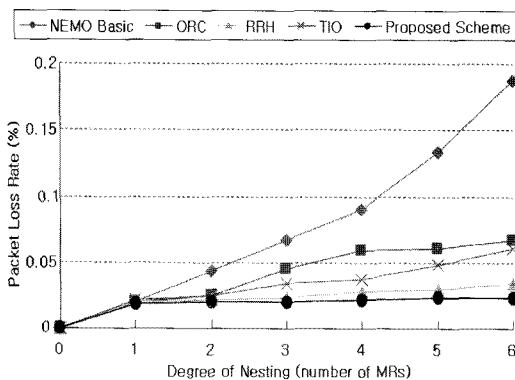


그림 11. 중첩 정도의 변화에 따른 패킷 손실률
Fig. 11. Packet Loss Rate for varying the Degree of the Nested Mobile Network

NEMO Basic Support Protocol의 경우 이동 네트워크의 중첩 정도가 늘어남에 따라 핸드오버에 소요되는 시

간이 늘어나기 때문에 패킷 손실률이 급격하게 증가하지만, 경로 최적화 기법을 적용한 다른 방법들의 경우 NEMO Basic Support Protocol에 비하여 그래프의 기울기가 낮음을 알 수 있다. 이는 경로 최적화를 통해 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷이 경유하는 HA의 개수가 줄었기 때문이다.

본 논문에서 제안된 경로 최적화 기법의 경우 이동 네트워크의 중첩 정도가 증가하더라도 패킷 손실률은 크게 변하지 않음을 알 수 있는데 이는 이동 네트워크의 중첩 정도가 증가하더라도 CN에서 LFN으로 전송되는 패킷은 가장 하위 MR의 HA에서 이동 네트워크의 root-MR로 직접 전송되므로 비교적 일정한 패킷 손실률을 가지게 되기 때문이다.

본 논문에서 제안한 기법을 포함하여 다양한 메커니즘들의 성능을 분석 한 결과, 본 논문에서 제안한 경로 최적화 기법은 기존의 다른 경로 최적화 기법들에 비하여 경로 최적화 이후의 전송 지연, throughput 및 패킷 손실률 측면에서 그 성능이 뛰어난 것을 확인하였을 뿐만 아니라 이동 네트워크의 중첩 정도에도 덜 민감함을 볼 수 있었다.

V. 결론

무선통신 기술의 발전과 통신 패러다임의 변화로 인해 휴대 가능한 통신기기의 수가 늘어남에 따라 이동 중에도 끊임없이 통신을 하고자 하는 요구가 늘어나게 되었으며 이를 만족시키기 위해 IETF에서는 MIP [22]와 MIPv6와 같은 단일 노드의 이동성을 지원하는 표준을 재정하였다. 하지만 무선 네트워크의 형태가 단일 노드의 이동형태에서 PAN (Personal Area Network)의 형태와 같이 사람의 몸에 있는 기기들이 사람의 이동과 함께 이동하는 형태 또는 기차나 비행기, 여객선 내의 네트워크를 구성하는 여러 노드가 이들 이동 수단과 함께 이동하는 네트워크 자체의 이동 형태로 발전하게 되었으며 이에 따라 여러 노드가 함께 이동할 경우에도 이동성을 지원할 수 있는 표준이 필요하게 되었다. 이에 IETF에서는 네트워크의 이동성 지원을 위해 NEMO Basic Support Protocol을 표준화하였으나 이 프로토콜에서는 경로 최적화 과정이 정의되어 있지 않기 때문에 이동 네트워크가 중첩되어 있는 환경에서는 비효율적인 경로로 인해

전송 지연과 증첩된 터널에 의한 오버헤드가 더욱 심각해지는 문제가 있어왔다.

본 논문에서는 MR과 HA 뿐 아니라 증첩된 이동 네트워크 내에서도 동적 라우팅 프로토콜을 활용하고 root-MR의 CoA를 하위 MR들에게 알려줄 수 있는 root-MR CoA 옵션을 이용하여 경로 상의 HA 개수를 최소화함으로써 이동 네트워크에 접속한 MR들이 효율적인 경로 최적화를 수행하는 새로운 방법을 제시하였다. 다양한 성능 지표들에 대한 시뮬레이션 분석을 통해 본 논문에서 제시된 방법이 기존의 방법들에 비해 경로 최적화 이후의 모든 패킷 전달 성능 지표에서 우수함을 보여 주었다. 향후에는 이동 네트워크에서 패킷 성능을 높이기 위한 방법 이외에도 이동된 네트워크에 대한 보안 문제와 관련된 연구도 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network mobility (NEMO) Basic Support Protocol," IETF, RFC 3963, Jan. 2005.
- [2] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, June 2004.
- [3] T. Ernst and H. Lach, "Network Mobility Support Terminology," draft-ietf-nemo-terminology-05, March 2006.
- [4] C. Ng, P. Thubert, M. Watari, and F. Zhao, "Network mobility route optimization problem statement," IETF, draft-ietf-nemo-ro-problemstatement-02.txt, Dec. 2005.
- [5] C. J. Bernardos, M. Bagnulo, and M. Calderon, "MIRON: mobile IPv6 route optimization for NEMO," in Proc. 4th Workshop on Appl. Services in Wireless Netw., pp.189 - 197, Aug. 2004.
- [6] Hosik Cho, Eun Kyoung Paik, and Yanghee Choi, "R-BU: recursive binding update for route optimization in nested mobile networks," VTC 2003-Fall, Vol.3, pp.2063-2067, Oct. 2003.
- [7] C. Hosik, P. Eun Kyoung, and C. Yanghee, "RBU+: Recursive Binding Update for End-to-End Route Optimization in Nested Mobile Networks," HSNMC 2004, LNCS 3079, pp.468-478, 2004.
- [8] R. Wakikawa, S. Koshiba, K. Uehara, and J. Murai, "ORC: optimized route cache management protocol for network mobility," ICT 2003, Vol.2, pp.1194-1200, Feb. 2003.
- [9] R. Wakikawa and M. Watari, "Optimized Route Cache Protocol (ORC)," draft-wakikawa-nemo-orc -01, November 2004.
- [10] P. Thubert and M. Molteni, "IPv6 Reverse Routing Header and its application to Mobile Networks," draft-thubert-nemo-reverse-routing -header-07, Feb. 2007.
- [11] H. Cho, T. Kwon, and Y. Choi, "Route Optimization Using Tree Information Option for Nested Mobile Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.24, No.9, pp.1717-1724, Sep. 2006.
- [12] Dongkeun Lee, Keecheon Kim, Moonhae Kim, "Hierarchical Route Optimization for Nested Mobile Network," AINA'04, Vol.1, pp.225-229, 2004.
- [13] C.-M. Huang, C.-H. Lee, J.-R. Zheng, "A Novel SIP-Based Route Optimization for Network Mobility," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.24, Issue 9, pp.1682-1691, Sep. 2006.
- [14] Sung Hei Kim, Yoon Young Ahn, Sang Ha Kim, Tae Il Kim, "Route Optimization Using RIPng Protocol in Nested Network Mobility," ICACT 2006. Vol.3, pp.1985-1988, Feb. 2006.
- [15] H. Ohnishi, K. Sakitani, Y. Tagagi, "HMIP based Route Optimization method in a mobile network," draft-ohnishi-nemo-ro-hmip-00.txt
- [16] M. Calderon, C. J. Bernardos, M. Bagnulo, I. Soto, A. De La Oliva, "Design and Experimental Evaluation of a Route Optimization Solution for NEMO," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.24, Issue.9, pp.1702-1716, Sep. 2006.
- [17] B. Haberman, Jhu Apl, and R. Hinden, "IPv6 Router Advertisement Flags Option," RFC 5075, Nov. 2007.
- [18] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," RFC 2460, Dec. 1998.
- [19] Network Simulator 2 (NS2) www.isi.edu/nsnam/ns/
- [20] MobiWan: NS-2 extension to study mobility in wide-

area IPv6 networks, www.inrialpes.fr/planete/mobiwan
[21] Simulation for Network Mobility (NEMO) based on NS2, www.arcst.wvu.edu.cn/center/kongrs/nemo_sim.htm
[22] C. Perkins, "IP mobility support for IPv4", IETF, RFC 3344, Aug. 2002.

저자소개

김 의 국 (Euikook Kim)



2006년 2월 인제대학교 전자정보통신공학부 (공학사)

2008년 2월 인제대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)

2008년 2월 ~ 현재 (주)넷비전텔레콤 연구원

※ 관심분야 : Network Mobility, Network Protocols, Embedded Programming

이 종 협 (Jong Hyup Lee)



1984년 2월 고려대학교 산업공학과 (공학사)

1986년 2월 한국과학기술원(KAIST) 산업공학과 (공학석사)

1996년 8월 한국과학기술원 산업공학과 (공학박사)

1986년 2월 ~ 2004년 2월 한국전자통신연구원 책임연구원 (팀장)

2004년 3월 ~ 현재 인제대학교 정보통신공학과 조교수

※ 관심분야 : High-speed Network Design and Routing, Switch and Router Technology, Advanced Network Protocols, Sensor and Mobile Network