

중첩된 이동 네트워크 환경에서 빠른 경로 최적화를 지원하는 핸드오프 방안

이 일 호*, 이 준 호**

Network Mobility Handoff Scheme to Support Fast Route Optimization in Nested Network Mobility

Ilho Lee *, Junho Lee **

요 약

기존 경로 최적화 방안들은 최적화된 경로가 형성되기까지 경로 최적화 소요시간 이외에 3계층 핸드오프 소요시간도 포함되어 이동 라우터(Mobile Router:MR)의 이동이 빈번한 환경에서는 빠른 경로 최적화가 어렵다는 단점을 가진다. 본 논문에서는 MR이 중첩된 이동 네트워크 환경으로 이동하더라도 별도의 경로 최적화 과정이 없어도 즉시 경로 최적화를 지원하는 3계층 핸드오프 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 제안한 방안에서는 MR과 액세스 라우터(Access Router:AR)간의 위치등록과정을 통해 AR로 하여금 MR들의 주소정보를 획득하는 과정을 갖도록 하였다. 이 후 AR은 MR이 수행해야할 홈 에이전트(Home Agent:HA)와의 위치등록과정을 대신 수행해줌으로써 AR과 MR의 HA들 사이에 양방향 터널이 형성되고, 패킷들은 해당 목적지 MR의 HA만 경유한 후 AR로 전송된다. 성능평가 결과, 본 논문에서 제안한 3계층 핸드오프 방식은 Reverse Routing Header(RRH), Optimization NEMO(ONEMO) 방안보다 약 0.6~1.5[s] 감소된 소요시간으로 경로 최적화를 지원할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract

Existing proposals on route optimization for nested Network Mobility(NEMO) have a problem that it is difficult to optimize a route promptly in an environment where a MR moves frequently. Also, they have L3 handoff latency as well as route optimization latency until an optimized route is formed. In this paper, we propose a L3 handoff scheme that supports fast route optimization for nested NEMO without any additional optimization procedure. To achieve this, our proposed scheme is designed to include a procedure that an AR acquires address informations of a MR. After receiving binding update message from the MR, the AR performs the binding update procedure with the MR's HA on behalf of the MR. Packets are delivered to the AR only passing by the MR's HA after a bi-directional tunnel is formed between the AR and the HA. The result of our

• 제1저자 : 이일호 교신저자 : 이준호

• 투고일 : 2009. 03. 30, 심사일 : 2009. 05. 04, 게재확정일 : 2009. 05. 14.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정 ** 서울산업대학교 전자정보공학과 부교수

performance evaluation has shown that the proposed scheme could provide excellent performance compared with the RRH and the ONEMO.

▶ Keyword : 3계층 핸드오프, 경로최적화(Route Optimization), Nested NEMO

I. 서론

Internet Engineering Task Force Working Group (IETF WG)에서는 하나의 단위로 움직이는 네트워크 이동을 지원하기 위해 네트워크 이동성 프로토콜(Network Mobility Basic Support Protocol: NEMO Basic)을 제안하였다[1,2]. 이동 네트워크는 계층구조를 이룰 수 있는데 그와 같은 중첩된 이동 네트워크(Nested NEMO)[3] 환경에서는 Correspondent Node (CN)가 전송한 패킷이 상위 MR의 모든 Home Agent (HA)를 경유한 후 목적지로 전달되므로 이에 따라 Pinball Routing을 야기 시키는 문제가 발생한다[4].

최근에는 Pinball Routing을 해결하고자 다양한 경로 최적화 방안들[5~9]이 발표되고 있다. 기존의 경로 최적화 방안에서는, 기본적으로 3계층 핸드오프 과정을 수행한 후 패킷 경로를 최적화하기 때문에 최적화된 패킷 경로 형성 시간에는 경로 최적화 소요시간 이외에 3계층 핸드오프 소요시간도 포함된다. 따라서 MR 이동이 빈번한 환경에서는 3계층 핸드오프 과정과 경로 최적화 과정이 반복 수행되므로 최적화된 경로가 형성되기까지 상당한 지연시간이 발생하는 문제를 가진다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 AR가 MR의 주소정보를 획득한 후 MR이 수행해야 할 위치등록과정을 대신 수행하는 새로운 3계층 핸드오프 방안을 제시한다. 제안된 방안에서 AR은 MR의 HA와 위치등록을 대신 수행할 때 MR로부터 획득한 Care of Address(CoA)를 등록하지 않고, AR 자신의 주소정보를 등록하여 AR과 MR의 HA 사이에 양방향 터널이 형성되도록 하였다. 제안한 3계층 핸드오프를 마치면, MR은 별도의 경로 최적화 과정이 없어도 즉시 경로를 최적화할 수 있게 되고, CN이 전송한 패킷들은 해당 MR의 HA만 경유한 후 목적지로 전달되므로 기존경로 최적화 방안보다 적은 소요시간으로 패킷 경로를 최적화할 수 있게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존 경로 최적화 방안들의 문제점을 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 방안을 설명한다. 4장에서 제안한 방안을 성능 평가 후 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

여기서는 기존에 제시된 경로 최적화 방안들 중 특히, ONEMO 방안[5]과 RRH 방안[6]의 동작과정을 분석하여 그 문제점을 살펴보고자 한다.

ONEMO 방안에서는 MR과 Correspondent Router (CR)이 경로 최적화 과정을 수행한 후에는, CN이 전송한 패킷들이 모든 상위 MR들의 HA를 경유하지 않고 일정한 오버헤드 크기를 유지하며 목적지까지 전송이 될 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 경로 최적화에 필요한 주소정보를 획득하기 위해 다수의 메시지를 사용하기 때문에 다소 복잡한 절차를 가진다. 즉, MR은 CR의 주소정보를 획득하기 위해 해당 CR과 CR Discovery Request 메시지, CR Discovery Reply 메시지, Reflective Binding Update(BU) 메시지 등 다수의 메시지들을 서로 송수신하며 양방향 터널을 형성하는 절차를 가진다. MR이 새로운 중첩된 이동 네트워크로 이동할 때마다 이러한 절차가 반복적으로 수행되어야만 최적화된 경로가 형성된다고 할 수 있다. 여기에 MR의 3계층 핸드오프 소요시간을 고려하면, 최적화된 경로가 형성되기까지는 상당한 지연시간이 발생하게 된다고 할 수 있다.

RRH 방안은 ONEMO 방안과 달리 중첩된 이동 네트워크의 경로를 최적화하기 위해 별도의 메시지를 사용하지 않는다. 다만, MR이 전송한 패킷에 상위 MR들의 주소정보들이 포함되어서 MR의 HA로 등록된다. 이후 CN이 전송한 패킷은 MR의 HA만 경유하게 되고, 패킷은 그 HA로부터 필요한 패킷 경로 주소정보를 얻어 목적지까지 도달하게 된다. 이와 같이 RRH 방안은 경로 최적화를 위해 다수의 메시지를 사용하지 않으므로 경로 최적화 과정이 단순하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 MR이 새로운 중첩된 이동 네트워크 환경으로 이동하면, 자신보다 상위 MR 주소정보들을 획득하여 자신의 HA에게 다시 알려야만 최적화된 경로를 통해 목적지까지 도달하게 된다. 이에 따라 MR과 HA 사이의 거리가 증가할수록 경로 최적화 소요시간도 증가하는 문제가 발생한다. 또한, ONEMO 방안과 마찬가지로 MR이 경로 최적화 과정을 수행하기에 앞서 3계층 핸드오프 과정을 수행해야하므로 최적화된 경

로가 형성되기까지 상당한 시간이 소요된다. 이상에서 살펴본 것처럼 기존 경로 최적화 방안들은 경로 최적화에 필요한 주소정보를 CR 혹은 HA로 등록하기 위해 다수의 메시지와 주소정보 등록과정이 필요하다. 게다가, 경로 최적화 과정을 수행하기에 앞서 3계층 핸드오프 과정을 기본적으로 수행해야하므로 최적화된 패킷 경로가 형성되기까지 상당한 지연시간이 발생하는 문제를 가진다.

III. 빠른 경로 최적화를 지원하는 3계층 핸드오프 방안

본 장에서는 먼저, MR과 AR의 위치등록과정을 설명하고 다음에 AR과 해당 MR의 HA와의 위치등록과정을 설명하도록 한다.

3.1 MR의 위치등록과정

본 논문에서는 중첩된 이동 네트워크 환경에서의 MR 이동을 크게 Non Local 이동과 Local 이동으로 분류한다. Non Local 이동은 MR이 이전 AR 영역에서 새로운 AR 영역으로 이동하는 것을 의미하며, 각 AR에는 여러

중첩된 이동 네트워크가 접속될 수 있다. Local 이동은 MR이 동일한 AR 영역 내에서 수평적 혹은 수직적 이동을 하는 것을 의미한다.

그림 1은 중첩된 이동 네트워크 환경에서 상위 MR로부터 네트워크 프리픽스와 AR 주소를 획득한 MR의 위치등록과정을 나타낸다. MR은 획득한 네트워크 프리픽스와 AR 주소를 현재 네트워크 프리픽스와 현재 AR 주소로 설정하여 저장한다. 먼저, MR이 상위 MR로부터 Router Advertisement(RA) 메시지를 수신 받으면, 이 메시지에 포함된 네트워크 프리픽스가 MR에 저장된 현재 네트워크 프리픽스와 동일한 주소정보인지 확인한 후 새로운 서브 넷으로 이동했는지를 판단하게 된다(그림 1의 1). 이 방식은 ICMPv6[10]에서 제시된 방식과 동일하다고 할 수 있다.

MR이 RA 메시지를 수신 받으면 RA 메시지 안에 AR 주소 옵션이 포함되어 있는지 확인한다(그림 1의 2,3). 이 절차는 MR이 AR로 위치등록을 수행할 지를 판단하기 위한 것이다. 만일, AR 주소 옵션이 포함되어 있지 않으면, 동일한 서브 넷에서 수신한 RA 메시지는 ICMPv6 절차대로 처리되고(그림 1의 4), 동일하지 않은 서브 넷에서 RA 메시지를 수신한 MR은 CoA를 구성한 후 자신

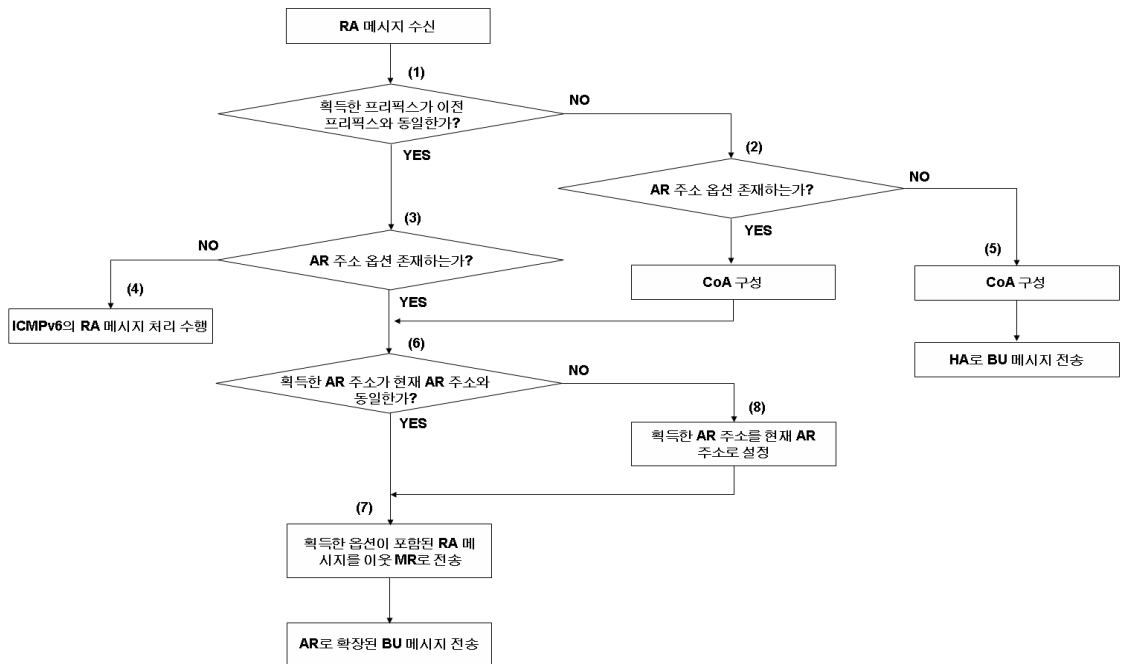


그림 1. MR의 위치등록과정
Fig 1. MR's Binding Update Procedure

의 HA로 위치등록을 수행한다(그림 1의 5). 동일한 서브넷에서 수신한 RA 메시지 안에 AR 주소 옵션이 포함되어 있으면, AR 주소 옵션으로부터 획득한 AR 주소가 저장된 현재 AR 주소와 동일한지 확인한다. 단, 동일하지 않은 서브넷에서는 먼저, CoA를 구성한 후에 획득한 AR 주소가 저장된 현재 AR 주소와 동일한지 확인한다(그림 1의 6).

만일, 획득한 AR 주소가 저장된 현재 AR 주소와 동일하면 Local 이동으로 판단하여, 획득한 AR 주소 옵션을 RA 메시지에 포함시켜 이웃 MR로 멀티캐스트한 후 AR로 확장된 BU 메시지를 전송한다(그림 1의 7). 그러나 획득한 AR 주소가 현재 AR 주소와 동일하지 않은 경우에는 Non Local 이동으로 판단해서, 획득한 AR 주소를 현재 AR 주소로 설정하여 저장한다(그림 1의 8). 그 후 MR은 그림 1의 7의 절차를 수행한다.

본 논문에서는 MR과 AR 그리고 AR과 각 MR의 HA들과의 위치등록을 위해 그림 2와 같은 확장된 BU 메시지를 사용한다. 확장된 BU 메시지에는 MR의 Home of Address(HoA), CoA 그리고 Mobile Router Identification(MRID) 옵션이 포함되며, 각 AR은 MR이 전송한 확장된 BU 메시지로부터 MRID, CoA 그리고 HoA를 자신의 바인딩 캐시에 등록해야 한다. RFC2461 [11]에서는, RA 메시지를 수신한 MR은 자신의 HA로 위치등록을 수행하도록 명시하고 있다. 하지만 제안한 방안에서의 MR은 CoA를 구성한 후 자신의 HA 대신 AR로 위치등록을 수행하도록 하여 특히, 빈번한 이동성을 가진 MR의 위치등록 소요시간을 감소하도록 하였다. AR이나 상위 MR이 제안한 프로토콜을 지원하지 않는 경우에는 MR은 NEMO Basic에 따라서 동작하게 된다.

본 논문에서의 AR은 바인딩 캐시에 MR의 주소정보가 등록된 이 후에도 자신에게 접속된 MR에게 AR 주소 옵션이 포함된 RA 메시지를 주기적으로 전송해야 한다. 그리고 AR 혹은 이웃 MR로부터 이 RA 메시지를 수신한 MR은 그림 1의 절차대로 확장된 BU 메시지를 AR로 재차 전송함으로써 자신의 존재를 알려야 한다.

여기서 AR 바인딩 캐시에 등록된 MR의 주소정보들은 MRID, HoA 그리고 CoA이다. 만일, AR이 RA 메시지를 전송한 후 다음 RA 메시지를 전송하기 전 까지 해당 MR로부터 확장된 BU 메시지를 수신하지 못하면, AR은 해당 MR이 자신의 내부 영역에서 벗어난 것으로 판단하고, 자신의 바인딩 캐시에 등록된 해당 MR의 주소정보들을 삭제시킨다.

만일, 해당 MR로부터 확장된 BU 메시지에서 획득한 MRID가 자신의 바인딩 캐시에 등록된 MRID와 동일하면, AR은 수신한 세 개의 주소정보들을 해당 MR 주소영역에 덮어쓰기로 저장한다. 만일, 등록된 MRID와 동일하지 않거나 등록되지 않은 경우에는, 획득한 주소정보들을 자신의 바인딩 캐시에 추가 등록한다. 이러한 과정을 마치면, AR은 MR의 HA와 위치등록을 수행할 수 있게 된다.

							Sequence #
A	H	L	K	M	R	Reserved	Lifetime
Option = HoA							
Option code (32)				Option length			
Option = CoA							
Option code (30)				Option length			
Option = MRID							

그림 2. 확장된 BU 메시지 구조
Fig 2. Extended BU Message Format

3.2 AR의 위치등록과정

제한한 방안에서의 AR은 MR의 이동이 Local 이동이나 Non Local 이동이냐를 판단해서 해당 MR의 HA와의 위치등록과정을 수행할 지를 결정한다. 그림 3에서, 최초 MR3이 Old_AR에 접속되었다가 New_AR로 이동하면, MR3은 New_AR 영역에 속한 MR1, MR2 혹은 New_AR로 직접 접속될 수 있다. 그림에서는 MR3이 MR2에 접속된 것으로 가정하였지만, 어떤 MR로 접속되든지 3.1절의 MR 위치등록과정에 따라 MR3은 자신의 CoA, MRID 그리고 HoA 주소정보를 확장된 BU 메시지에 포함시켜 New_AR로 전송하게 된다. MR3 이외에도 MR1, MR2, MR4 모두 동일한 과정을 수행하였다고 가정하면, 그림 4에서처럼 New_AR 바인딩 캐시에 그들의 주소정보가 등록된다. 이 바인딩 캐시는 AR이 MR들의 주소정보를 관리하는데 사용될 뿐만 아니라 MR의 HA와 위치등록과정을 수행할 수 있도록 지원한다.

그림 5는 MR로부터 확장된 BU 메시지를 수신한 AR의 동작과정을 나타낸 그림이다. 제안한 방식에서 AR은 자신의 바인딩 캐시에 확장된 BU 메시지를 전송한 MR의 MRID가 등록되어있지 않은 경우에만 해당 MR의 HA로 위치등록과정을 수행한다. 예를 들어, MR3으로부터 확장된 BU 메시지를 수신한 New_AR는 매번 확장된 BU 메시지에 포함된 MRID와 동일한 MRID가 자신의 바인딩 캐시에 등록되어 있는지 확인한다. 만일, 자신의 바인딩 캐시 안에 등록된 MRID와 동일한 MRID가 존재하지 않

으면, New_AR은 MR3과의 위치등록과정을 처음 수행하는 것으로 인지하고, MR3의 CoA, MRID 그리고 HoA를 자신의 바인딩 캐시에 등록한다.

이 후 그림 6과 같은 과정에 따라 MR3의 HA와 위치등록과정을 수행하기 위해 확장된 BU 메시지 안에 자신의 주소정보인 New_AR 주소를 포함시켜 MR3의 HA로 전송한다. 확장된 BU 메시지를 수신한 MR3의 HA는 자신의 바인딩 캐시에 New_AR 주소를 등록하고 그의 응답인 BU Acknowledgment(Ack) 메시지를 AR로 전송하면, AR과 MR3의 HA간에 양방향 터널이 형성된다. 만일, MR3의 확장된 BU 메시지로부터 획득한 MRID와 동일한 MRID가 자신의 바인딩 캐시에 존재하면, New_AR은 MR3과 위치등록과정을 이미 수행한 것으로 인지하고, 획득한 주소정보 전체를 자신의 바인딩 캐시에 재등록한다. 획득한 주소정보들 중 CoA는 MR이 새로운 서브 넷으로 이동할 때 새로운 네트워크 프리픽스에 따라 구성되기 때문에 MR로 패킷 전송을 하기 위해서는 이와 같이 새로운 CoA를 다시 저장해 두어야 한다. New_AR은 획득한 MRID가 자신의 바인딩 캐시에 이미 등록되었음을 확인하면, MR3의 HA와의 위치등록과정을 이미 수행했다고 판단하고, MR3의 HA와의 위치등록을 생략한 그림 7의 과정을 수행한다. MR과 New_AR 사이에서 BU나 바인딩 업데이트 응답(Binding Update Acknowledgment: BU Ack) 메시지를 송수신하는 과정에서 오류가 발생하면, MRID가 New_AR에 미등록되는 상황이 발생할 수 있다. 이런 경우 New_AR은 그림 5와 같이 해당 MR와의 위치등록과정을 다시 수행함으로써 그 MR로부터 주소정보를 획득하고, MR의 HA로 위치등록과정을 수행하게 된다.

제안한 방식에서는 이와 같은 3계층 핸드오프 절차를 수행한 후, 별도의 경로 최적화 절차를 수행하지 않는다. 그러나 3계층 핸드오프 절차를 통해서 경로 최적화가 이루어지므로 기존 경로 최적화 방안보다 빠른 경로 최적화를 기대할 수 있다. 특히, AR 바인딩 캐시에 해당 MR의 MRID가 등록되어 있는 상황에서는 HA로의 위치등록과정이 생략되므로 3계층 핸드오프 소요시간이 감소되고, 아울러 MR과 HA간 거리가 증가하더라도 위치등록으로 인한 지연시간이 발생하지 않는 장점을 가진다.

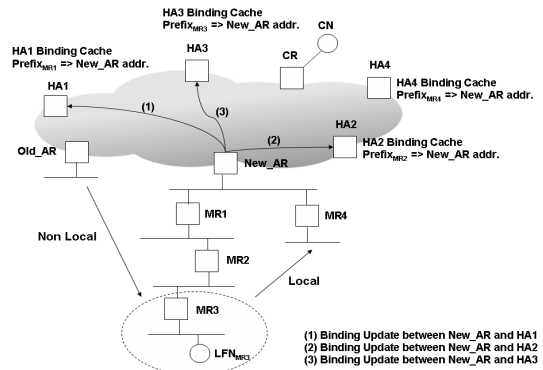


그림 3. AR의 위치등록과정
Fig 3. AR's Binding Update Procedure

New_AR	
MR1	HoA1, MRID1 => CoA _{MR1}
MR2	HoA2, MRID2 => CoA _{MR2}
MR3	HoA3, MRID3 => CoA _{MR3}
MR4	HoA4, MRID4 => CoA _{MR4}

그림 4. New_AR의 바인딩 캐시
Fig 4. New_AR's Binding Cache

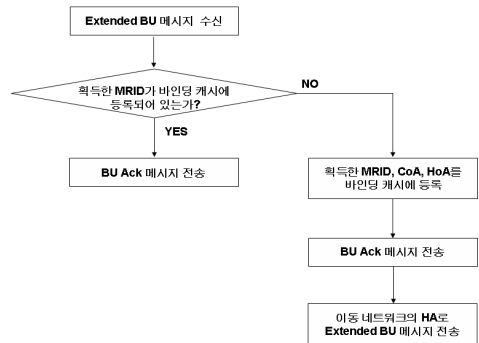


그림 5. 확장된 BU 메시지를 수신한 AR의 동작과정
Fig 5. AR's Operation after Receiving the Extended BU Message

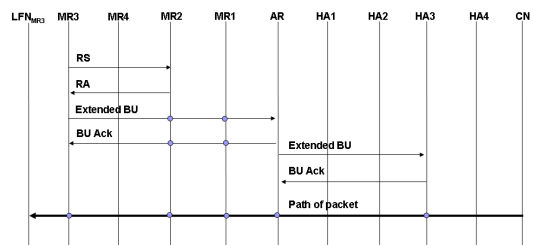


그림 6. AR 바인딩 캐시에 MR3 MRID가 등록되어 있지 않은 경우의 3계층 핸드오프 과정
Fig 6. L3 Handoff Procedure when MR3's MRID is not registered in the AR's binding cache

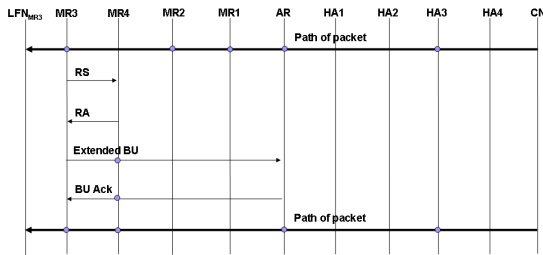


그림 7. AR 바인딩 캐시에 MR3 MRID가 등록되어 있는 경우의 3계층 핸드오프 과정
 Fig 7. L3 Handoff Procedure when MR3's MRID is registered in the AR's binding cache

3.3 패킷 전송과정

본 절에서는 제안한 방안의 핸드오프 과정 후 CN이 전송한 패킷이 어떻게 목적지 주소로 전달되는지 살펴보도록 하겠다.

그림 8은 CN이 MR3의 Local Fixed Node(LFN)으로 패킷을 전송하고 있는 그림이다. 제안한 3계층 핸드오프 과정에서는 AR이 MR3의 CoA로 위치등록하지 않고, 자신의 주소정보로 위치를 등록하기 때문에 MR3의 HA 바인딩 캐시에는 New_AR의 주소가 등록된다. 따라서 CN에서 MR3의 LFN으로 전달되는 모든 패킷들은 MR3의 HA, MR2의 HA, MR1의 HA의 순서대로 경유하지 않고, MR3의 HA만을 경유하여(그림 8의 1) New_AR로 전달된다. 이것은 MR3뿐만 아니라 AR 영역에 속한 모든 MR들에게 비슷하게 적용된다. 패킷을 수신한 MR3의 HA는 자신의 바인딩 캐시에 등록된 주소정보에 따라 패킷의 목적지 주소를 New_AR 주소정보로 터널링하여 AR로 전송한다(그림 8의 2.).

이 패킷을 수신한 AR은 패킷의 목적지 주소가 AR 자신의 바인딩 캐시에 등록되어 있다면, MR3의 CoA 주소정보로 패킷을 터널링하여 MR3으로 전달한다(그림 8의 3.). 그러나 수신된 패킷의 목적지 주소가 바인딩 캐시에 등록되어 있지 않으면, 패킷은 일반적인 방식으로 포워딩된다.

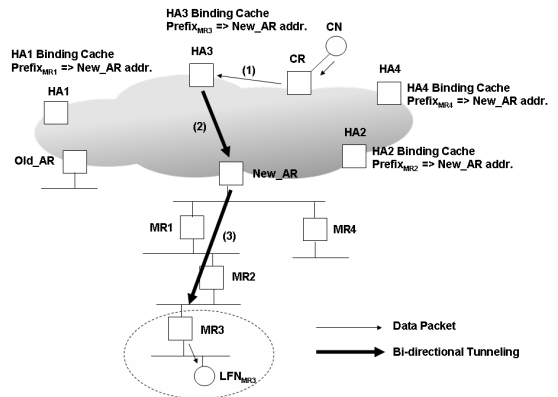


그림 8. 3계층 핸드오프 후 경로 최적화
 Fig. 8 Route Optimization after L3 Handoff Procedure

이와 같이 제안한 방안에서는 MR이 Non Local 이동이든 Local 이동이든 새로운 중첩된 네트워크로 이동하여 제안한 3계층 핸드오프를 수행하면, MR의 HA와 AR 사이에 양방향 터널이 형성되어 별도의 경로 최적화 절차가 없어도 즉시 최적화된 경로를 통해 패킷을 송수신할 수 있게 된다.

IV. 성능평가

여기서는 제안한 방식과 기존의 경로 최적화 방안의 핸드오프 소요시간과 경로 최적화 소요시간을 정량적으로 분석한 후, 3계층 핸드오프 발생부터 최적화된 경로가 형성되기까지의 총 소요 시간 T_{H-RO} 를 비교 분석하고자 한다.

4.1 핸드오프 소요시간

MR의 핸드오프 과정은 그림 9와 같이 2계층(L2) 핸드오프 과정과 3계층(L3) 핸드오프 과정으로 이루어진다.

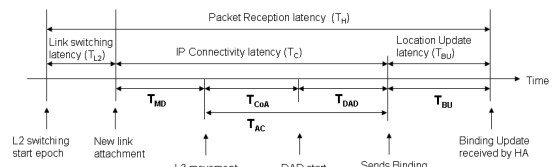


그림 9. NEMO Basic의 핸드오프과정
 Fig 9. NEMO Basic's Handoff Procedure

기존 경로 최적화 방안들은 MR의 3계층 핸드오프 방안 에 대한 구체적인 언급이 없다. 따라서 본 논문에서는 기존 경로 최적화 방안들의 MR은 모두 NEMO Basic 방안의 3계층 핸드오프 과정[1]을 수행한 후 경로 최적화를 수행한 것으로 가정하였다. 따라서 기존 경로 최적화 방안들의 핸드오프 소요시간 T_H 는 식(1)과 같이 Layer 2(L2) 핸드오프 소요시간 T_{L2} 와 이동검출 및 CoA 구성 시간 T_C 와 위치등록 소요시간 T_{BU} 를 합한 시간으로 나타낼 수 있다.

$$T_H = T_{L2} + T_C + T_{BU} \dots\dots\dots (1)$$

본 논문에서는 이동검출 및 CoA 구성시간인 식(2)의 T_C 를 분석하기 위해 [12]에서 사용된 수식을 사용하였다.

$$T_C = T_{MD} + T_{AC} \dots\dots\dots (2)$$

T_{MD} 는 MR의 이동을 검출하는 소요시간이다, MR은 상위 MR로부터 RA 메시지에 포함된 네트워크 프리픽스를 전송받음으로써 CoA 구성을 시작할 수 있다. CoA 구성 소요시간은 대부분 상위 MR의 RA 메시지 전송 주기에 따라 달라질 수 있으며, RA 메시지의 전송 주기는 RA 메시지에 포함된 RA 주기 옵션인 $T_{RtrAdvInterval}$ 에 의해 결정되므로 MR의 이동 검출 소요 시간 T_{MD} 는 식(3)과 같이 RA 메시지의 전송 주기 $T_{RtrAdvInterval}$ 과 근사적으로 같다고 볼 수 있다.

$$T_{MD} \approx T_{RtrAdvInterval} \dots\dots\dots (3)$$

식(4)의 T_{AC} 는 CoA 구성시간 T_{CoA} 와 DAD (Duplicate Address Detection)[13]에 소요되는 시간 T_{DAD} 를 합한 것과 같다. 이때, $T_{DAD} \gg T_{CoA}$ 라고 가정할 수 있다.

$$T_{AC} = T_{CoA} + T_{DAD} \approx T_{DAD} \dots\dots\dots (4)$$

T_{DAD} 는 이웃 발견 요청(Neighbor Solicitation: NS) 메시지를 보내기 전에 가져야 하는 랜덤 지연시간 $Max_Rtr_Solicitation_Delay$ 와 주소충돌확인 여부를 통보 받기 위해 기다려야 하는 지연시간 $RetransTimer$ 을 합한 것으로 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{DAD} = Max_Rtr_Solicitation_Delay + RetransTimer \dots\dots\dots (5)$$

따라서, 식(6)을 식(2)에 대입하여 정리하면, T_C 는 최종적으로 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{AC} \approx T_{DAD} \dots\dots\dots (6)$$

$$T_C = T_{RtrAdvInterval} + Max_Rtr_Solicitation_Delay + RetransTimer \dots\dots\dots (7)$$

표 1. RFC2461에서 제시한 파라미터 값
Table 1. Parameters from the RFC2461

RFC2461	
<i>RtrAdvInterval</i>	Min : > 0.75s, < 3s Max : > 4s, < 1,800s
<i>Max_Rtr_Solicitation_Delay</i>	Min : 0, Max : 1s
<i>RetransTimer</i>	1s

RFC2461은 RA 메시지 전송 주기 값과 NS 메시지를 전송하기 전의 랜덤지연시간 및 주소충돌확인을 위한 지연 시간을 정의한 표준화된 문서이다. 따라서 본 논문에서는 표 1의 RFC2461에서 제시한 변수 값을 사용하여 T_C 를 구하고자 한다. 제시한 파라미터 값 범위 내에서 $T_{RtrAdvInterval}$ 과 $RetransTimer$ 는 각각 1[s]로 설정하였으며, $Max_Rtr_Solicitation_Delay$ 는 0.5 [s]로 설정하였다. 이렇게 구해진 T_C 값은 기존 방안과 제안한 방안 모두 동일하게 사용된다.

표 2. 파라미터 값
Table 2. Parameters and Values

Para.	Meaning	Value	Unit
<i>l</i>	Nesting Level	10	
<i>h</i>	The number of hops in wired network	10	
$D_{MD-(i-1)}$	Hop latency in a wired network between $D_{MD-(i-1)}$ and D_{MD-i}	20×10^{-3}	sec
$D_{ML-(i-1)}$	Hop latency in a wireless network between $D_{ML-(i-1)}$ and D_{ML-i}	5×10^{-3}	sec
B_{WD}	Wired bandwidth	100×10^6	bit/sec
B_{WL}	Wireless bandwidth	11×10^6	bit/sec
<i>S</i>	Size of normal packet	1500×8	bit
$S_{U[n]}$	Size of tunnel header that has n address	$320n$	bit
$S_{R[n]}$	Size of routing header that has n address	$64 + 128n$	bit
$S_{BU[n]}$	Size of BU message with mobility Option that has n address	$48 + 128n$	bit
S_{BUAck}	Size of BU Ack message	48	bit
S_{DRt}	Size of Discovery request message with mobility header that has n address	$64 + 128n$	bit
S_{DRy}	Size of Discovery reply message	64	bit
T_S	Cache searching time	10^{-4}	sec
T_{R+i}	Hop latency to processing routing header between $T_{R+(i-1)}$ and T_{R+i}	5×10^{-4}	sec

위치등록 소요시간 T_{BU} 를 분석하기 위해 표 2의 파라미터(14)를 사용한다. 표 2의 파라미터는 유, 무선 구간에서의 홉 지연시간과 패킷 크기 및 패킷의 헤더크기를 명시하고 있으며, 기존 경로 최적화 방안에서 사용한 메시지들의 크기를 정의하고 있다.

식(8)의 메시지 위치등록 소요시간 T_{BU} 는 식(9)와 식(10)과 같이 유선구간에서의 BU 메시지 전송시간 T_{BU-WD} 와 무선구간에서의 BU 메시지 전송시간 T_{BU-WL} 로 나누어 분석할 수 있다.

$$T_{BU} = T_{BU-WD} + T_{BU-WL} \dots\dots\dots (8)$$

$$T_{BU-WD} = \frac{S_{BU}[n] + S_{BU-ACK}}{B_{WD}} + 2 \sum_{i=1}^h D_{WD-i} + T_{s-HA} \dots\dots\dots (9)$$

$$T_{BU-WL} = \frac{S_{BU}[n] + S_{BU-ACK}}{B_{WL}} + 2 \sum_{i=1}^l D_{WL-i} \dots\dots\dots (10)$$

먼저, T_{BU-WD} 는 BU 메시지와 BU Ack 메시지 전송시간과 AR과 MR의 HA 사이의 링크지연시간, HA의 Binding Cache search time인 T_{S-HA} 의 합으로 계산될 수 있다. 여기서, AR과 HA간 링크지연시간은 AR과 HA 사이의 홉 수 h 만큼 BU, BU Ack 두 메시지의 홉 지연시간 $2D_{WD-i}$ 를 합한 것으로 근사화할 수 있다. 이때, D_{WD-i} 는 각 홉마다 발생하는 링크지연시간으로 D_{WD-i} 값은 각 홉마다 동일한 값으로 가정한다.

BU 메시지에는 기본적으로 HoA와 CoA 두 개의 주소 정보가 포함되므로 n 값은 2로 설정된다(15). 무선 구간에서의 메시지 전송시간 T_{BU-WL} 은 MR과 AR 사이에서의 메시지 전송시간으로, BU 메시지와 BU Ack 메시지의 전송시간과 중첩레벨 값 l 만큼 두 메시지의 홉 지연시간 $2D_{WL-i}$ 를 합한 것으로 계산될 수 있다. 여기서, D_{WL-i} 는 무선 구간의 각 홉마다 발생하는 링크지연시간으로 D_{WL-i} 값은 각 홉마다 동일한 값으로 가정한다.

AR의 바인딩 캐시에 MR의 MRID가 등록되어 있지 않으면, 제안한 방안의 무선구간 위치등록 소요시간 $T_{BU-WL-Proposed}$ 는 기존 방안의 위치등록 소요시간 T_{BU-WL} 과 동일하다. 이에 반해, 유선구간에서는 AR과 MR의 HA 사이에 BU, BU Ack 메시지 전송시간 외에 AR에서 수행되는 Binding search time T_{S-AR} 이라는 지연시간이 추가된다. 이때 BU 메시지 안에는 HoA와 CoA 그리고 MRID 세 개의 주소정보가 포함되므로 n 값은 3으로 설정된다. 따라서 제안한 방안의 유선구간 위치등록 소요시

간 $T_{BU-WD-Proposed}$ 는 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{BU-WD-Proposed} = \frac{S_{BU}[n] + S_{BU-ACK}}{B_{WD}} + 2 \sum_{i=1}^h D_{WD-i} + T_{s-AR} + T_{s-HA} \dots\dots\dots (11)$$

AR의 바인딩 캐시에 MR의 MRID가 등록되어 있는 경우, AR은 MR HA와의 위치등록과정을 생략할 수 있으므로 무선구간 위치등록 소요시간 $T_{BU-WL-Proposed}$ 는 기존방안의 위치등록 소요시간 T_{BU-WL} 과 AR의 Binding search time T_{S-AR} 을 합한 시간과 동일하다고 할 수 있다. 따라서 제안된 방식의 위치등록 소요시간 $T_{BU-WL-Proposed}$ 는 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{BU-WL-Proposed} = T_{BU-WL} + T_{S-AR} \dots\dots\dots (12)$$

제한한 핸드오프 소요시간 $T_{H-Proposed}$ 는 식(13), 식(14)와 같이 정리된다.

- AR의 바인딩 캐시에 MRID가 등록되어 있지 않은 경우

$$T_{H-Proposed} = T_{L2} + T_c + T_{BU-WD-Proposed} + T_{BU-WL-Proposed} \dots\dots\dots (13)$$

- AR의 바인딩 캐시에 MRID가 등록되어 있는 경우

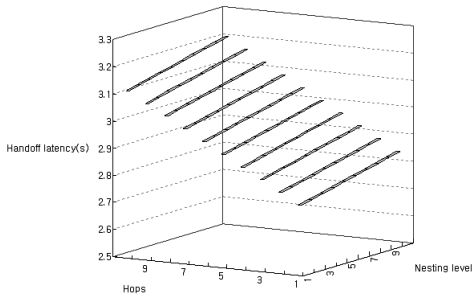
$$T_{H-Proposed} = T_{L2} + T_c + T_{BU-WL-Proposed} \dots\dots\dots (14)$$

RRH 방안의 핸드오프 소요시간 T_{H-RRH} 와 ONEMO 방안의 핸드오프 소요시간 $T_{H-ONEMO}$ 는 각 방안이 NEMO Basic에서 제시된 3계층 핸드오프 방안을 따른다고 가정하였으므로 식(15)와 식(16)으로 나타낼 수 있다.

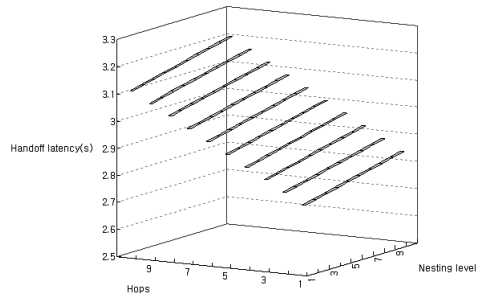
$$T_{H-RRH} = T_{L2} + T_c + T_{BU} \dots\dots\dots (15)$$

$$T_{H-ONEMO} = T_{L2} + T_c + T_{BU} \dots\dots\dots (16)$$

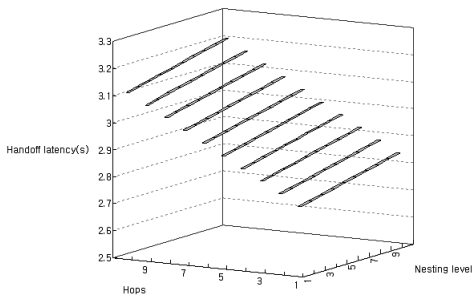
여기서, T_{L2} 의 값은 200[ms]로 가정하였다.



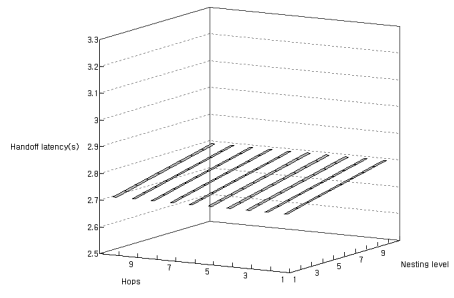
(a) RRH



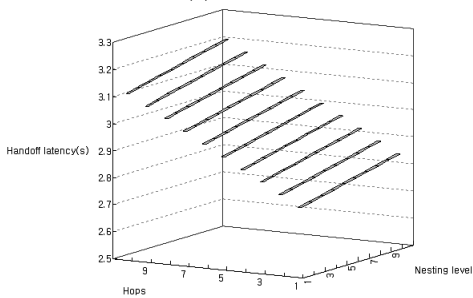
(b) ONEMO



(b) ONEMO

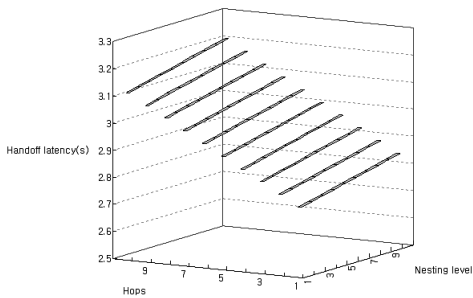


(c) Proposed



(c) Proposed

그림 10. Non Local 핸드오프 소요시간 비교
Fig 10. Comparison of the Non Local Handoff Latency



(a) RRH

그림 11. Local 핸드오프 소요시간 비교
Fig 11. Comparison of the Local Handoff Latency

그림 10과 그림 11은 MR이 Non Local 이동을 할 때와 Local 이동을 할 때, 각 방안의 핸드오프 소요시간을 나타낸 그래프이다. MR이 Non Local 이동을 할 때, 각 방안의 홉 수를 1~10까지, 중첩레벨도 1~10까지 1씩 증가시키며 그에 따른 소요시간을 분석하였다. 그 결과, 두 방안 모두 핸드오프 소요시간이 최소 2.75[s], 최대 3.2[s]로 나타났다. 이는 두 방안 모두 NEMO Basic에서 제시된 3계층 핸드오프를 수행한다고 가정하였기 때문으로 분석된다.

제안한 방안에서는 Non Local 이동의 경우 기존 3계층 핸드오프와 다르게 HA의 Binding search time 이외에 AR의 Binding search time T_{S-AR} 가 소요되므로 홉 수와 중첩레벨 증가에 따라 2.752~3.202[s]의 시간이 소요되는 것으로 나타났으며 기존 경로 최적화 방안의 핸드오프 소요시간보다 약 2[ms] 더 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다.

RRH 방안과 ONEMO 방안에서는 Local 이동인 상황에 대해 별도의 방안이 고려되어 있지 않으므로 Non Local 이동일 때와 동일한 핸드오프 과정을 갖는다고 할 수 있다. 따라서 홉 수와 중첩레벨의 증가에 따른 핸드오프 소요시간이 Non Local 이동일 때의 소요시간과 동일

하다. 하지만 제안한 방안에서는 AR의 바인딩 캐시에 MRID가 이미 등록된 상태이므로 AR은 해당 MR의 HA와 위치등록과정을 수행하지 않는다. 다만, MR은 AR과의 위치등록절차를 가지므로 중첩레벨이 증가할수록 핸드오프 소요시간은 최소 2.71 [s]에서 최대 2.8[s]까지 증가하는 것으로 나타났다. 이는 기존 3계층 핸드오프 방안보다 약 40~400(ms) 감소한 것으로 Local 이동 일 때 제안한 방안의 성능이 보다 우수함을 확인할 수 있다.

4.2 경로 최적화 소요시간

기존 경로 최적화 방안들은 경로 최적화 시작시점에 대해 언급된 바가 없어 본 논문에서는 제안한 방안과 기존 경로 최적화 방안 모두 MR이 3계층 핸드오프를 마치는 시점, 즉 자신의 HA로부터 BU Ack 메시지를 수신할 때 경로 최적화 과정을 시작하는 것으로 가정하였다.

RRH 방안에서, MR이 CN으로 전송한 패킷은 상위 MR을 경유하며 경로 최적화에 필요한 주소정보를 획득하는 절차를 가진다. 이와 같은 주소정보 획득과정은 무선 구간에서만 이루어지기 때문에 MR에서 AR로 전송하는데 필요한 소요시간은 패킷 전송시간과 T_{RH-i} 와 D_{WL-i} 를 중첩레벨 l 만큼 더한 것으로 식(17)과 같이 계산될 수 있다. 여기서, T_{RH-i} 는 한 홉을 지날 때 발생하는 라우팅 헤더 처리시간을 의미한다. $S_{RH}(n)$ 에서 n 값은 중첩레벨 l 에 따라 라우팅 헤더에 포함되는 주소의 개수이며, $S_{TU}(n)$ 의 n 값은 중첩레벨 l 에 따른 터널링 처리시간을 의미한다.

$$T_{RO-RRH-WL} = \sum_{n=1}^l \frac{S+S_{RH}[n]+S_{TU}[n]}{B_{WL}} + \sum_{i=1}^l (D_{WL-i} + T_{RH-i}) \dots\dots\dots (17)$$

유선구간에서의 패킷 전송지연시간은 AR과 HA사이에 설정된 경로의 홉 수에 따라 정해지므로 중첩레벨 변화에는 영향을 받지 않는다. 따라서 D_{WD-i} 를 홉 수 h 만큼 합한 것과 HA의 Binding search time T_{S-HA} 의 합으로 계산할 수 있다. 유선구간에서의 $S_{RH}(n)$ 의 n 값은 무선구간에서 설정한 n 값을 유지한 채 HA로 전송되므로 유선구간에서의 $S_{RH}(n)$ 의 n 값은 무선구간에서 설정한 값과 동일하게 설정된다. 따라서 유선구간에서의 경로 최적화 소요시간 $T_{RO-RRH-WD}$ 는 식 (18)과 같이 나타낼 수 있으며, RRH 방안의 유무선 총 경로 최적화 소요시간 T_{RO-RRH} 는 식(19)와 같이 정리된다.

$$T_{RO-RRH-WD} = \frac{S+S_{RH}[n]}{B_{WD}} + \sum_{i=1}^h D_{WD-i} + T_{S-HA} \quad (18)$$

$$T_{RO-RRH} = T_{RO-RRH-WL} + T_{RO-RRH-WD} \dots\dots\dots (19)$$

ONEMO 방안에서, MR은 CR과의 경로최적화를 위해서 CR의 주소정보를 찾기 위한 메시지들을 사용한다. 이 방안에서 제안한 CR 발견 메시지인 CR Discovery Request 메시지와 CR Discovery reply 메시지의 크기에 대해서는 해당 논문에 언급된 바가 없어 그 메시지와 유사한 기능을 가진 홈 에이전트 주소 발견 요청(Home Agent Address Discovery Request) / 홈 에이전트 주소 발견 응답(Home Agent Address Discovery Reply) 메시지[15]의 크기로 대체하여 분석하였다. MR은 CR과 위치등록을 수행하기 위해 CR 발견 요청, CR 발견 응답, BU, BU Ack라는 4개의 메시지를 사용하므로 무선구간에서는 각 홉마다 $4D_{WL-i}$ 라는 링크지연시간이 발생한다. 최상위 MR은 해당 HA와 BU와 BU Ack 메시지를 송수신 하게 된다. 최상위 MR이므로 중첩레벨 크기 변화에 상관없이 AR과는 항상 한 홉만큼의 무선구간을 통해서 이 두 메시지를 전송하게 되므로 무선구간에서는 한 홉만큼의 링크지연시간을 발생시킨다. D_{WL-i} 의 값을 모두 동일하다고 가정하고 그 값을 D_{WL} 이라고 하면 무선구간에서의 경로 최적화 소요시간 $T_{RO-ONEMO-WL}$ 은 식 (20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{RO-ONEMO-WL} = \frac{S_{DRT}+S_{DRY}+2(S_{BU}[n]+S_{BU-ACK})}{B_{WL}} + 4 \sum_{i=1}^l D_{WL-i} + 2D_{WL} \dots\dots\dots (20)$$

AR과 CR 구간에서의 경로 최적화 소요시간은 중첩레벨 증가에 영향을 받지 않는다. BU / BU Ack 메시지와 CR 발견 요청, CR 발견 응답 메시지 전송에 따라 홉마다 $4D_{WD-i}$ 의 링크지연시간이 소요되고, MR의 HA 바인딩 캐시 처리시간 T_{S-HA} 와 CR Binding search time T_{S-CR} 도 필요하므로 유선구간에서의 경로 최적화 소요시간 $T_{RO-ONEMO-WD}$ 은 식(21)로 정리된다.

$$T_{RO-ONEMO-WD} = \frac{S_{DRT}+S_{DRY}+2(S_{BU}[n]+S_{BU-ACK})}{B_{WD}} + 4 \sum_{i=1}^h D_{WD-i} + T_{S-HA} + T_{S-CR} \dots\dots\dots (21)$$

따라서, ONEMO 방안의 총 경로 최적화 소요시간 $T_{RO-ONEMO}$ 는 식(22)와 같이 정리된다.

$$T_{RO-ONEMO} = T_{RO-ONEMO-WL} + T_{RO-ONEMO-WD} \dots\dots (22)$$

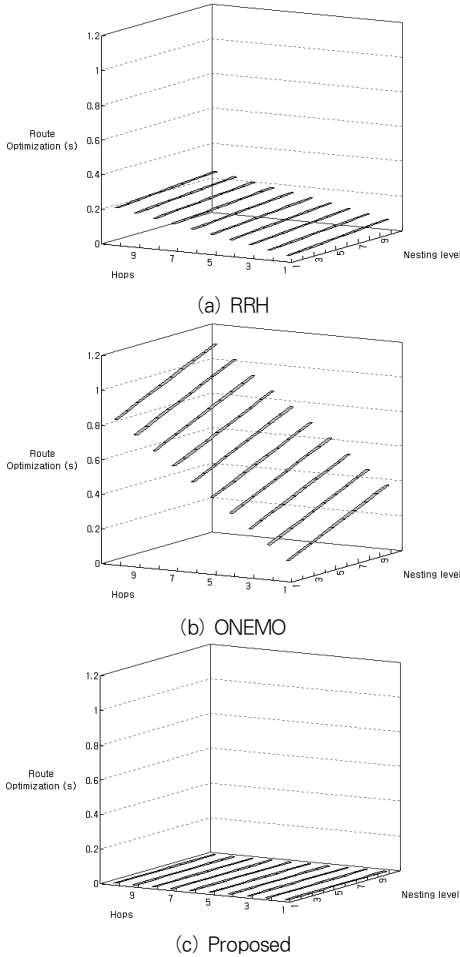


그림 12. 경로 최적화 소요시간 비교
 Fig 12. Comparison of the Route Optimization Latency

그림 12는 각 방안의 경로 최적화 소요시간 T_{RO} 을 분석한 그림이다. ONEMO 방안의 경로 최적화 소요시간은 MR의 중첩레벨이 증가할수록 약 30[ms]씩 전송지연이 발생하고, 홉 수가 증가할 때는 약 80[ms]씩 전송지연이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 다수의 위치등록 메시지들이 상대적으로 전송지연시간이 큰 유선구간을 통해 목적지까지 전송되므로 무선구간에서의 지연시간보다 유선구간에서의 지연시간이 더 증가한 것으로 분석된다.

RRH 방안은 ONEMO 방안과 달리 다수의 메시지를 사용하지 않으므로 경로 최적화 소요시간은 중첩레벨이 증

가할수록 약 5[ms], 홉 수가 증가할수록 약 20[ms]씩 증가하여 ONEMO 방안보다 적은 경로 최적화 소요시간을 가진 것으로 나타났다. 하지만, 홉 수와 중첩레벨 증가에 따라 경로 최적화 소요시간이 어느 정도 영향을 받고 있으므로 중첩레벨이 큰 이동 네트워크 구조에서는 경로 최적화 소요시간이 증가할 수 있는 여지를 가지고 있다.

그림 12의 (c)는 제안한 방안의 경로 최적화 소요시간을 나타낸 그림으로 제안한 방안은 기존 경로 최적화 방안과 달리 핸드오프 과정 이후 경로 최적화 과정을 수행하지 않기 때문에 별도의 시간이 소요되지 않는다. 이는 3계층 핸드오프 과정 속에 경로 최적화 과정이 포함되어 있으므로 Non Local 이동이든 Local 이동이든 홉 수와 중첩레벨의 증가와 상관없이 경로 최적화 소요시간이 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

4.3 T_{H-RO} 분석

본 절에서는 각 방안의 핸드오프 소요시간과 경로 최적화 소요시간을 기반으로 MR의 3계층 핸드오프 발생부터 최적화된 경로가 형성되기까지의 총 소요시간 T_{H-RO} 를 분석하였다. 각 방안의 T_{H-RO} 는 핸드오프 소요시간과 경로 최적화 소요시간을 합한 소요시간으로 다음과 같이 정리된다.

$$T_{H-RO-RRH} = T_{H-RRH} + T_{RO-RRH} \dots\dots\dots (23)$$

$$T_{H-RO-ONEMO} = T_{H-ONEMO} + T_{RO-ONEMO} \dots\dots\dots (24)$$

$$T_{H-RO-Proposed} = T_{H-proposed} \dots\dots\dots (25)$$

그림 13은 MR이 Non Local 이동을 할 때 각 방안의 T_{H-RO} 을 비교 분석한 그림이다. 홉 수와 중첩레벨이 증가한 경우, RRH 방안은 2.775~3.45[s], ONEMO 방안은 2.86~4.3[s], 제안한 방안은 2.752~ 3.202[s]로 나타나 제안한 방안의 T_{H-RO} 값이 기존 경로 최적화 방안들의 T_{H-RO} 보다 감소된 것으로 나타났다. 특히, ONEMO 방안은 제안한 방안보다 약 0.1~1.1[s]까지 큰 폭으로 증가된 결과로 나타났는데, 이는 최적화된 경로를 형성하기 위해 다수의 메시지들을 사용하기 때문으로 분석된다. 따라서 홉 수와 중첩레벨이 증가한 Non Local 이동인 상황에서 제안한 방안은 기존 경로 최적화 방안에 비해 최대 0.25~ 1.1[s] 빠르게 최적화된 경로를 형성할 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 14는 MR이 Local 이동을 한 경우, 각 방안의 T_{H-RO} 을 비교 분석한 그림이다. 홉 수와 중첩레벨이 증가할 때 제안한 방안은 Non Local 이동일 때 보다 더 낮은 소요시간을 나타내고 있다.

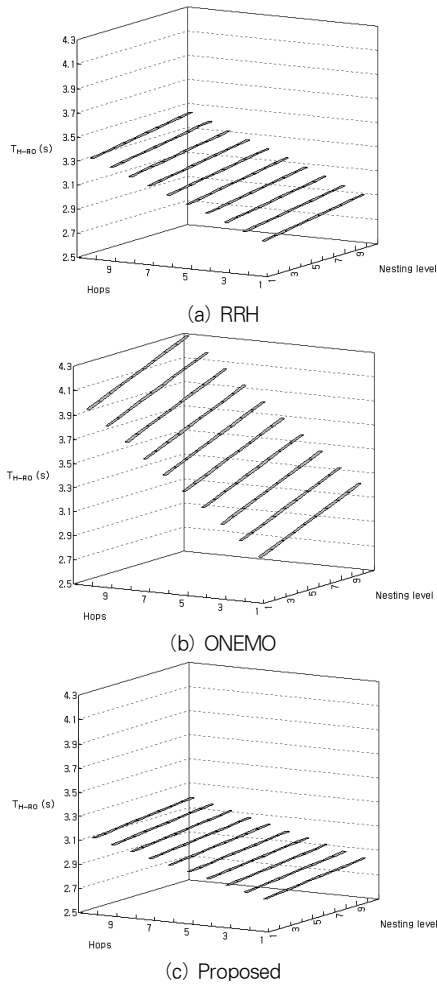


그림 13. Non Local TH-RO 비교
Fig 13. Comparison of the Non Local TH-RO

이는 제안한 3계층 핸드오프 과정 중 위치등록시간이 소요되지 않을 뿐만 아니라 별도의 경로 최적화 과정을 수행하지 않으므로 Non Local 이동일 때의 결과 값보다 더 감소된 값을 얻게 된 것이다. 특히, 홵 수가 최대치로 증가한 10일 때 제안한 방안이 RRH 방안보다 최대 약 0.6(s), ONEMO 방안보다 1.5(s) 감소한 결과를 얻었는데, 이는 기존 경로 최적화 방안들은 Local 이동과 상관없이 동일한 핸드오프 과정과 경로 최적화 과정을 수행하여 Non Local 이동일 때의 결과 값과 동일한 값을 가진 반면, 제안한 방안에서는 유선구간을 사용하지 않는 핸드오프 과정을 수행하기 때문에 홵 수 증가와 상관없이 항상 일정한 값을 유지한 것으로 분석된다.

만일, MR이 Local 이동 인 상황에서 AR의 바인딩 캐

시의 오류로 인해 해당 MR의 MRID가 미처 등록되지 않아 Non Local 핸드오프가 수행되더라도 Non Local T_{H-RO} 값이 기존 경로 최적화 방안의 T_{H-RO} 값 보다 감소된 결과를 가지므로 MR의 이동이 어떠한 형태이든 제안한 방안의 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

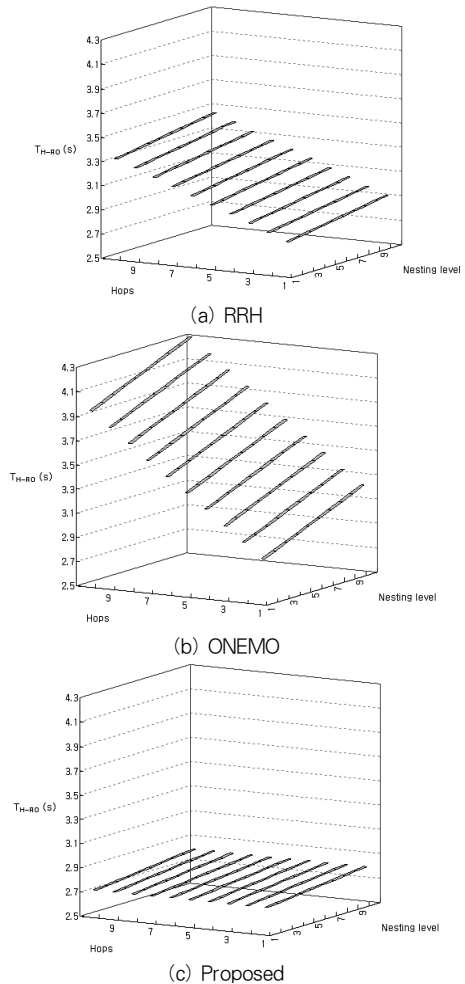


그림 14. Local TH-RO 비교
Fig 14. Comparison of the Local TH-RO

V. 결론

기존 경로 최적화 방안들은 Local 이동, Non Local 이동 모두 3계층 핸드오프를 수행한 후 경로 최적화 절차를 가지므로 빠른 경로 최적화를 지원하기가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 경로 최적

화 방안보다 빠른 경로 최적화를 지원하는 3계층 핸드오프 방안을 제안하였다.

제안한 방안에서 AR은 내부 MR들의 주소정보를 획득하는 절차를 가진 후 MR이 수행해야 할 3계층 핸드오프 과정 중 일부인 MR의 HA와의 위치등록을 대신 수행한다. 제안한 3계층 핸드오프 과정이 끝나면, 제안한 방안은 기존 경로 최적화 방안과 다르게 별도의 경로 최적화 과정이 없어도 즉시 최적화된 패킷 경로가 형성된다.

성능분석 결과, 제안한 방안은 모든 이동 상황에서 기존 경로 최적화 방안보다 빠른 경로 최적화가 가능함을 확인할 수 있었다. 특히, Local 이동일 때는 위치등록과정이 생략되므로 RRH 방안보다 약 0.6[s], ONEMO 방안보다 약 1.5[s] 감소된 결과를 얻었다. AR의 바인딩 캐시에 해당 MR의 MRID가 미처 등록되지 않아 Non Local 핸드오프 절차가 수행되더라도 Non Local T_{H-RO} 가 기존 방안의 Local T_{H-RO} 보다 최대 1[s] 감소된 결과를 얻었다. 따라서 제안한 방안은 중첩된 이동 네트워크 환경에서 어떠한 형태로의 이동이든 기존 경로 최적화 방안보다 빠른 경로 최적화를 지원할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "NEMO Basic Support Protocol," RFC 3963, IETF, Jan. 2005.

[2] Ernst, T. and H. Lach, "Network Mobility Support Terminology," draft-ietf-nemo-terminology-06, Nov. 2006.

[3] P. Thubert and N. Montavont, "Nested Nemo Tree Discovery," IETF, Internet Draft, draft-thubert-tree-discovery-03.txt, Apr. 2006.

[4] C. Ng, P. Thubert, M. Watari and F. Zhao, "Network Mobility Route Optimization Problem Statement," IETF, Internet Draft, draft-ietf-nemo-ro-problem-statement-03.txt, Sept. 2006.

[5] M. Watari, T. Ernst, R. Wakikawa, and J. Murai, "Routing optimization for nested mobile networks," IEICE TRANS. COMMUN., E89-B(10), Oct. 2006.

[6] P. Thubert, M. Molteni, "IPv6 Reverse Routing Header and its application to Mobile Networks," draft-thubert-nemo-reverse-routing-header-07, Feb. 14, 2007.

[7] Hosik Cho, Taekyung Kwon and Yanghee Choi, "Route Optimization Using Tree Information Option for Nsted Mobile Networks" IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 24, no.9, Sept. 2006.

[8] T. Ernst, T. Noel, "Multihoming in Nested Mobile Networks with Route Optimization," IEEE International symposium, 2007.

[9] Ilho Lee, Junho Lee, "Route Optimization scheme for Nested NEMO" ITC-CSCC, July 2007.

[10] "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6)," RFC2463, IETF, Dec. 1998.

[11] "Neighbor Discovery for IPv6," RFC2461, IETF, December 1998.

[12] 이일호, 이준호, "철도차량의 이동 특성을 고려한 네트워크 이동성 지원을 위한 효율적인 Care of Address 구성방안," 한국철도학회논문지, 제19권, 제3호, 2006년 3월.

[13] S.Thomson and T.Narten, "IPv6 stateless address auto configuration," RFC 2462, IETF, Dec. 1998.

[14] Jeonghoon Park, "Route Optimization Methods in Network Mobility", The Graduate School Sungkyunkwan University, Dec. 2007.

[15] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support for IPv6," RFC 3775, IETF, June 2004.

저자 소개



이 일 호 (Ilho Lee)

2004년 2월 : 서울산업대학교 전자정보공학과 (공학사)

2006년 2월 : 서울산업대학교 철도전기신호공학과 (공학석사)

2008년 8월 : 서울산업대학교 철도전기신호공학과 (박사과정수료)



이 준 호 (Junho Lee)

1990년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1996년 3월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1998년 4월 - 현재 : 서울산업대학교 전자정보공학과 부교수