혼재된 중첩 이동 네트워크에서의 라우팅 최적화 기법

정회원 조 호 식*, 권 태 경*, 최 양 희*

A Route Optimization Scheme for Heterogeneous Nested Mobile Networks

Hosik Cho*, Taekyoung Kwon*, Yanghee Choi* ***Regular Members***

요 약

단말의 이동을 인터넷 프로토콜 계층에서 지원하기 위하여 사용되는 모바일 아이피는 하나의 단말이 아닌 다수의 단말이 함께 이동할 경우 발생하는 문제를 해결하기 위하여 네트워크 이동성이라는 개념으로 확장되었다. 네트워크 이동성 시나리오에서 이동 라우터들 사이에 계층 구조가 존재할 경우를 특히 중첩 이동 네트워크라고 부르며 이러한 중첩 이동 네트워크에서는 계층의 깊이에 비례하여 비효율적인 라우팅 경로를 따르게 되는 핀볼 라우팅 문제가 발생한다. 본 논문에서는 기존의 이동 네트워크 지원 프로토콜과 호환성을 가지며 이질적인 이동 네트워크 환경을 고려하는 경로 최적화 기법을 제안하고 정량적 정성적 비교 분석을 수행한다.

Key Words : Nested mobile network, Route optimization, Backward compatibility, Heterogeneity

ABSTRACT

Mobile IP is the basic solution to provide host mobility, whereas network mobility refers to the concept of collective mobility of a set of nodes. In a network mobility scenario, mobile networks can be nested in a hierarchical form. That situation is referred to a nested mobile network. Nested mobile networks exhibit the pinball routing problem, which becomes worse in proportion to the number of nested levels in the hierarchy. In this paper, we propose a routing optimization scheme having backward compatibility to the basic network mobility protocol and concerning heterogeneity of nested mobile network, also we perform comparison and analysis of proposed schemes.

Ⅰ. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅 환경이 성숙됨에 따라 더욱더 많은 전자기기들이 무선 통신 기능을 탑재하게 되었으며 이들 기기는 때때로 인터넷 주소를 가지기도 한다. 인터넷 프로토콜 기반의 네트워크에서 단말의 이동을 지원하기 위하여 IETF의 mip4/mip6 워킹그룹에서는 모바일 아이피 프로토콜[1,2]을 제안하였다. 모바일 아이피는 단말의 이동 중에도 인터넷 연결을 유지하기 위하여 홈 주소와 보조 주소라는 두 종류의 주소를 사용하며 이 때 홈 주소는 식별자로 보조 주소는 위치 표시자로 사용된다. 홈 주소와 보조 주소는 홈에이전트의 바인딩 캐시에 저장되어 이동 단말로 향하는 패킷에 대한 터널링을 수행한다. 이러한 접근 방식은 하나의 이동 단말에 대하여는 적절한 방식이지만 차량과 같이 묶음으로

※ 본 연구는 2007년도 두뇌한국21(BK21) 사업의 지원으로 수행되었습니다. 이 연구를 위해 연구 장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터연구소에 감사드립니다.

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부 멀티미디어 및 이동통신 연구실(hscho@mmlab.snu..ac.kr, tkkwon@snu.ac.kr, yhchoi@snu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-11-509, 접수일자 : 2007년 11월 13일, 최종논문접수일자 : 2008년 2월 14일

움직이는 다수의 이동 단말을 지원하기에는 어려움이 있다. 이에 IETF의 nemo 워킹그룹에서는 하나의 단위로 움직이는 네트워크 전체의 이동을 지원하기 위한 네트워크 이동성 프로토콜[3]을 제안하였다. 이동 네트워크는 계층 구조를 가지면서 다른 이동 네트워크 내에 포함되어 존재할 수도 있으며 이러한 상황은 중첩된 이동 네트워크라고 불려진다. 예를 들어 휴대전화와 PDA가 개인영역 네트워크를 구성하고 이 사용자가 차량에 탑승하여 차량 영역 네트워크라는 더 큰 규모의 이동 네트워크에 속하게 되어 차량의 이동에 따라 함께 이동하는 형태가 대표적인 중첩된 이동 네트워크의 모습이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 중첩된 이동 네트워크를 위한 새로운 경로 최적화 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 기법은 투명한 이동성과 위치 숨김 특성을 유지하며, 최적화를 수행할 수 있는 라우터와 일반 라우터가 혼재하는 상황에서도 효율적인 라우팅을 제공한다. Ⅱ절에서는 중첩된 이동 네트워크가 가지는 핀볼 라우팅 문제에 대하여 알아보고 Ⅲ절에서는 본 논문이 제안하고 있는 경로 최적화 기법을 소개한다. Ⅳ절에서 분석적 모델과 시뮬레이션을 통하여 제안하는 기법의 성능을 평가하고 Ⅴ절에서는 이질적인 이동 네트워크 환경에서 라우팅 경로 최적화를 수행하기 위한 고려사항을 알아보고 결론을 맺는다.

Ⅱ. 핀볼 라우팅과 라우팅 경로 최적화

중첩된 이동 네트워크는 핀볼 라우팅 문제를 가진다. 네트워크 이동성 지원 프로토콜에서 각 이동 라우터는 자신의 홈에이전트를 가지고, 대응단말에서 중첩된 이동 네트워크의 최하단에 존재하는 단말로 패킷을 전송 할 경우 이동 네트워크를 구성하는 모든 이동 라우터의 홈에이전트들을 거쳐야만 할 수도 있다. 그림 1은 3단계의 중첩을 가지는 이동 네트워크에서 발생하는 핀볼 라우팅 상황을 나타낸 것이다. 우선 대응 단말에서 고정 단말로 향하는 데이터는 MR3의 홈에이전트인 HA3로 라우팅 되고 HA3에서는 자신의 바인딩 캐시를 검색하여 현재 MR3이 MR2의 내부네트워크에 존재한다는 사실을 알고 MR2까지 터널링을 수행한다. 데이터는 중첩된 IP 헤더를 지니고 이번에는 MR2의 홈에이전트인 HA2에 도달한다. HA2는 MR2가 MR1의 내부네트워크에 존재한다는 사실을 알고 터널링된

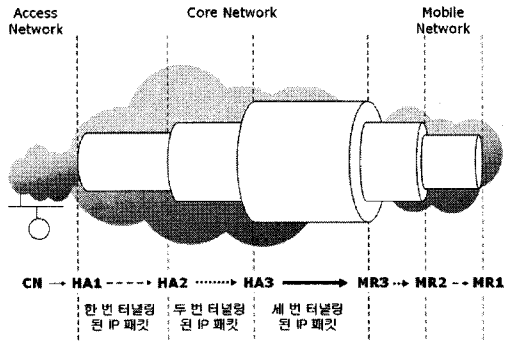

그림 1. 이동 네트워크에서의 중첩된 터널링으로 인한 핀볼 라우팅 문제

패킷에 대해 다시 한 번 터널링을 시도한다. HA1에서 다시 한 번 터널링 되어 총 세 개의 중첩된 IP 헤더를 가지게 된 패킷들은 MR1의 현재 위치로 전달되고 터널링을 한 단계씩 제거하며 MR2, MR3로 차례로 전달된다.

이러한 문제는 중첩의 정도가 깊어지고 홈에이전트 사이의 거리가 멀어질수록 심각하게 나타난다. 2단계의 중첩을 가지는 이동 네트워크는 차량 내의 개인 영역 네트워크와 같은 경우에 쉽게 발생하며, 3단계의 중첩 이동 네트워크의 경우 페리용 선박 내에 존재하는 차량 내의 개인 영역 네트워크와 같은 시나리오도 생각해 볼 수 있다.

중첩 이동 네트워크가 가지는 핀볼 라우팅 문제를 해결하기 위하여 몇몇 논문들[4,5]이 제안되었으며 이러한 경로 최적화 기법들은 중첩 이동 네트워크 내부의 구조를 대응 단말 또는 홈에이전트에 알림으로써 불필요한 중첩 터널링을 감소시키는 방식으로 네트워크 이동성 프로토콜을 확장하고 있다.

Ⅲ. 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화 기법

중첩된 이동 네트워크에서의 핀볼 라우팅 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 최상위 이동 라우터가 내부 이동 네트워크의 구조를 인지하여 이동 네트워크 내부의 라우팅을 관리하도록 하는 방식으로 라우팅 경로 최적화 기법을 설계하였다. 이 때 최상위 이동 라우터가 이동 네트워크 내부 구조를 학습하는 방법은 능동적인 방식과 수동적인 방식으로 나누어지는데 각각 중첩 트리 정보 옵션을 사용하는 방법과 다중으로 터널링 된 패킷으로부터 정보를 획득하는 방법이다. 능동 방식은 이동 네트워크가 모두 최적화 가능한 이동 라우터로 구성되었

을 때 사용할 수 있으며 수동 방식은 이질적인 이동 네트워크 상황에서 활용될 수 있다. 능동 방식의 경로 최적화 기법은 [5]에서도 적용된 바가 있다. 본 절에서는 중첩 트리 정보 옵션을 사용하는 경우를 위주로 라우팅 경로 최적화 기법의 동작을 살펴보고 5절에서 수동적인 방법으로 수행되는 최적화 이동 라우터와 일반 이동 라우터가 혼재하는 상황에서의 라우팅 경로 최적화 기법을 알아본다.

3.1 중첩 트리 정보 옵션

트리 정보 옵션[6]은 중첩된 이동 네트워크에서 이동 라우터 간 계층 정보를 확산시켜 중첩된 이동 네트워크의 내부 구조를 트리 형태로 유지시키고 라우팅 루프를 방지하기 위하여 제안된 옵션 헤더이다. 본 논문에서는 트리 정보 옵션을 확장하여 중첩 트리 정보 옵션이라는 새로운 서브 옵션을 추가하여 계층 구조를 이루는 이동 라우터들의 보조 주소를 기록하도록 한다. 중첩 트리 정보 옵션은 라우터 광고 메시지뿐만 아니라 위치 정보 등록 메시지에도 서브 옵션으로 추가되어 한 이동 라우터로 부터 상위에 존재하는 모든 이동 라우터들에 대한 정보를 최상위 이동 라우터에 알려주는 역할에도 사용된다.

본 기법에서 이동 라우터가 확장 트리 정보 옵션을 포함하지 않은 라우터 광고 메시지를 수신하면 그 이동 라우터는 자신이 이동 네트워크 구조의 최상위에 존재한다는 사실을 인지하고 자신의 홈 주소를 포함하는 트리 정보 옵션을 라우터 광고 메시지에 추가한다. 하위 이동 라우터에서 트리 정보 옵션을 포함한 라우터 광고 메시지를 수신하면 이 이동 라우터들은 자신이 중첩된 이동 라우터의 중간 단계에 존재한다는 사실을 추론할 수 있다. 각 중간 단계의 이동 라우터들은 자신의 보조 주소를 확장 트리 정보 옵션에 추가하고 라우터 광고 메시지를 트리 구조의 하부로 전달한다. 이렇게 확장된 라우터 광고 메시지를 수신함으로써 이동 라우터들은 자신의 상위에 존재하는 모든 이동 라우터의 주소를 알 수 있고 이 주소 목록을 중간단계 이동 라우터 목록으로 유지한다.

3.2 최종 목적지 옵션

중첩 트리 정보 옵션과 함께 이동 네트워크 내부 라우팅 최적화를 위하여 최종 목적지 옵션이라는 새로운 IPv6 이동성 확장 헤더를 도입한다. 최종 목적지 옵션은 타입, 길이, 값 형태의 기본적인 확장 헤더 구조를 따르며 하나의 IPv6 주소를 기록해 두는 역할을 한다. 최종 목적지 옵션은 말단 이동 라우터에서 자신의 홈에이전트로 패킷에 대해 터널링을 수행 한 후에 터널링된 외부 헤더에 대한 확장 헤더로 삽입되며 최상위 이동 라우터에서 최종 목적지 옵션의 존재 여부를 검사한다.

3.3 라우팅 경로 최적화 기법

본 기법에서는 각각의 이동 라우터는 두 종류의 위치 등록 메시지를 보내게 된다. 한 위치 등록 메시지는 일반적으로 사용되는 위치 등록 메시지와 동일하지만 다른 하나의 위치 등록 메시지는 자신의 홈 에이전트가 아닌 최상위 이동 라우터로 보내지며 확장 트리 정보 옵션을 통하여 중간단계 이동 라우터 목록을 최상위 이동 라우터에 보내는 역할을 한다. 최상위 이동 라우터로 보내는 위치 등록 메시지에 포함된 중첩 트리 정보 옵션은 최상위 이동 라우터가 자신이 관장하는 이동 네트워크의 트리 구조를 학습할 수 있도록 한다. 때문에 대응 단말에서 이동 네트워크 단말로 데이터를 전송할 때 말단 이동 라우터의 홈 네트워크에 도달한 패킷은 최상위 이동 라우터의 홈에이전트로 터널링 되고, 최상위 이동 라우터의 홈에이전트에서는 현재 최상위 라우터의 위치로 다시 한 번 터널링을 수행함으로써 어떤 경우이든 두 개의 홈에이전트만을 거쳐 라우팅이 이루어진다.

그림 2는 정방향 라우팅 경로 최적화 과정을 나타낸 것이다. CN에서 LFN으로 보내진 패킷은 우선 LFN의 종단 이동 라우터인 IMR2의 홈에이전트로 라우팅 된다. IMR2의 홈에이전트에는 이미 IMR2가 TLMR 하부에 존재한다는 사실을 알고 있으므

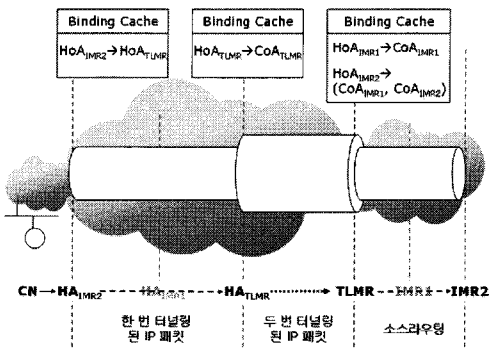

그림 2. 대응단말에서 이동 네트워크 단말로의 정방향 라우팅 경로 최적화

로 이 패킷은 최상위 이동 라우터의 홈에이전트로 터널링 된다. 최상위 이동 라우터의 홈에이전트에서는 현재 최상위 이동 라우터의 위치까지 다시 한 번 터널링하여 패킷을 전달한다. 최상위 이동 라우터에 도달한 패킷은 외부 터널링 헤더를 제거하고 최상위 이동 라우터의 바인딩 캐시를 검색하여 LFN까지 도달하기 위해 IMR1과 IMR2를 순차적으로 거쳐야 하는 라우팅 경로를 찾아낸다. 최상위 이동 라우터는 소스라우팅을 사용하여 패킷을 IMR2까지 전달하고 IMR2는 다시 한 번 패킷의 터널링 헤더를 제거함으로써 LFN까지 성공적으로 패킷을 라우팅하게 된다. 위에 언급한 과정에는 종단 이동 라우터와 그 홈에이전트 사이와 최상위 이동 라우터와 그 홈에이전트 사이의 두 단계의 중첩 터널링이 존재하게 된다. 이러한 방식의 정방향 라우팅 경로 최적화 기법은 매 위치 정보 등록 시점에만 위치 정보 갱신 메시지를 보내게 되므로 투명한 이동성을 제공하고 라우팅 과정에서 두 개의 홈 에이전트를 거치게 되므로 위치 숨김 특성 또한 가지게 된다.

역방향 라우팅 경로 최적화를 위해서는 중간 단계 이동 라우터의 동작에 수정이 필요하다. 정방향 경로 최적화에서 단지 두 단계의 중첩 터널링만을 거친 것처럼 역방향 경로 최적화에서도 두 단계의 중첩 터널링을 수행하도록 한다. 오직 종단 이동라우터만이 자신의 홈에이전트까지 터널링을 수행하고, 다른 중간단계 이동 라우터들은 단순히 최상위 이동 라우터까지 릴레이 한다. 그림 3은 LFN부터 CN까지의 역방향 경로 최적화 과정을 나타낸 것이다. IMR2가 자신의 고정 단말인 LFN으로부터 패킷을 수신하면 IMR2의 홈에이전트로 향하는 터널

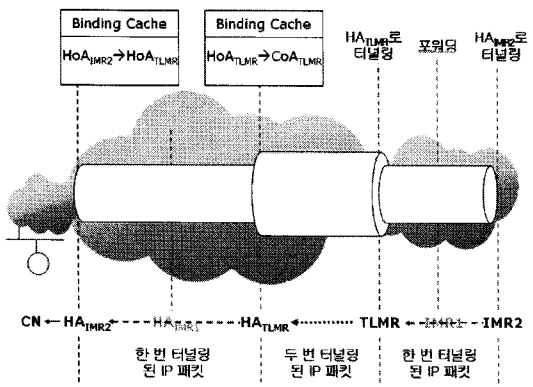

그림 3. 이동 네트워크 단말에서 대응 단말로의 역방향 라우팅 경로 최적화

링 헤더를 덧붙여서 상위 이동 라우터로 전달한다. 이 때 외부 터널링 헤더의 소스 주소에는 트리 정보 옵션으로 부터 얻을 수 있는 최상위 이동 라우터의 홈 주소를 적어야만 최상위 이동 라우터의 홈 네트워크에서 수행되는 ingress filtering을 피할 수 있다. IMR1은 이미 터널링 된 패킷에 대하여 추가적인 터널링을 수행하지 않고 단순히 자신의 상위 이동 라우터인 TLMR로 전달한다. 최상위 이동 라우터에서는 자신의 홈에이전트를 목적지로 터널링을 수행함으로써 총 두 단계의 중첩 터널링을 겪게 된다. 이 패킷은 최상위 이동 라우터의 홈에이전트와 IMR2의 홈에이전트를 차례로 방문한 후에 CN에게 전달됨으로써 단축된 역방향 라우팅 경로를 가지게 된다.

앞서 알아본 정방향 및 역방향 라우팅 경로 최적화 기법에서 최상위 이동 라우터는 모든 이동 라우터들의 서브네트워크 정보를 유지하고 있지만 종단 이동 라우터에서 수행되는 터널링으로 인하여 해당 패킷의 목적지가 이동 네트워크 내부인지 외부인지를 판단할 수 없다. 때문에 최상위 이동 라우터에서 이동 네트워크 내부의 라우팅을 효율적으로 수행하도록 하기 위해 종단 이동 라우터가 터널링 헤더를 추가하는 과정에서 외부 터널링 헤더에 3.2절에서 정의한 최종 목적지 옵션을 추가하도록 한다. 여기서 추가하는 최종 목적지 옵션에는 내부 헤더의 목적지 주소를 적어주며 최상위 이동 라우터는 최종 목적지 옵션에 기록된 주소가 자신의 바인딩 캐시에 존재하는지 검색하여 목적지가 이동 네트워크 내부에 존재하는지 아닌지를 구분한다. 바인딩 캐시에 목적지 주소가 존재한다면 이는 목적지가 이동 네트워크 내부에 존재한다는 의미로 최상위 이동 라우터는 터널링 헤더를 제거하고 소스 라우팅을 이용하여 목적지까지 패킷을 전달해줌으로써 불필요한 라우팅 경로를 최소화하고 이동 네트워크 내부의 트래픽을 자체적으로 처리하도록 한다. 따라서 이동 네트워크 내부 라우팅에 소요되는 지연을 대폭 감소시키는 효과를 나타낸다.

Ⅳ. 성능 평가

4.1 분석적 모델

중첩된 이동 네트워크에서 라우팅 경로 최적화 알고리즘의 성능은 대응단말에서 이동 네트워크 단말까지의 라우팅 딜레이로 정량화 할 수 있다. 네트워크 이동성 프로토콜[3]과 재귀적 위치정보 갱신[4],

표 1. 분석적 모델을 위한 변수 설정

중첩의 깊이	N
i번째 홈에이전트에서 $(i+1)$번째 홈에이전트 사이의 딜레이	D_i
i번째 이동 라우터에서 $(i+1)$번째 이동 라우터 사이의 딜레이	d_i
대응단말에서 액세스 라우터 사이의 최단 경로	D_{Direct}
현재 진행 중인 통신의 개수	A

중첩 트리 정보 옵션을 사용할 경우 각각 라우팅 딜레이와 시그널링 부하가 얼마나 발생하는지를 비교하기 위하여 다음과 같은 분석적 모델을 설정하였다.

네트워크 이동성 프로토콜의 경우 대응단말에서 이동 네트워크 단말로 향하는 패킷은 중첩 이동 네트워크를 구성하는 모든 이동 라우터와 각 이동 라우터의 홈에이전트들을 거치므로 총 딜레이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=0}^{N}(D_i+d_i)$$

네트워크 이동성 프로토콜을 사용하는 중첩 이동 네트워크가 이동할 경우 발생하는 위치 갱신 메시지는 최상위 이동 라우터에서 최상위 이동 라우터의 홈에이전트로만 발생하므로 시그널링 오버헤드는 아래와 같다.

$$M \cdot (D_N+d_N)$$

여기서 오버헤드는 메시지 크기와 그 메시지가 겪게 되는 딜레이의 곱으로 표현한다. 때문에 메시지의 개수가 많아질수록 또 네트워크를 통해 더 오래 전달될수록 오버헤드가 크다고 할 수 있다. 동일한 방식으로 재귀적 위치 갱신 기법에 대한 딜레이와 시그널링 오버헤드는 아래와 같다.

$$D_0+D_{Direct}+\sum_{i=0}^{N}d_i$$
$$A \cdot M \cdot \left(D_0+D_{Direct}+\sum_{i=0}^{N}d_i\right)$$

네트워크 이동성 프로토콜과 비교하였을 때 라우팅 딜레이는 많이 감소하였으나 시그널링 부분에 현재 진행 중인 통신의 개수가 곱해짐으로써 훨씬 더 많은 위치 등록 메시지를 발생시킴을 알 수 있다. 본 논문에서 제안하는 중첩 트리 정보 옵션을 이용한 경로 최적화 기법은 최상위 이동 라우터와 말단 이동 라우터의 홈에이전트들을 거치게 하는 특성을 지니기 때문에 아래와 같은 수식으로 정리될 수 있다.

$$D_0+D_N+D_{Direct}+\sum_{i=0}^{N}d_i$$
$$M \cdot \left(D_N+d_N+\sum_{i=0}^{N-1}d_i\right)$$

위의 수식에서 중첩 트리 정보 옵션을 이용하는 방식은 라우팅 딜레이 측면에서는 재귀적 위치 갱신 기법보다 D_N만큼 손해를 보지만 시그널링 오버헤드에 있어서 A라는 요소가 배제되었기 때문에 제한된 개수의 위치 등록 메시지만을 발생시키게 된다.

4.2 시뮬레이션

이번 절에서는 시뮬레이션을 통하여 본 논문이 제안하는 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화 기법을 기존의 네트워크 이동성 프로토콜 및 재귀적 위치 정보 갱신 기법과 비교하고자 한다. 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화 기법은 이동 라우터의 동작에만 수정이 필요할 뿐 기존의 모바일 아이피나 네트워크 이동성 프로토콜의 동작을 변경할 필요는 없다. 시뮬레이션을 위하여 네트워크 시뮬레이션 툴(NS2)을 이용하여 확장된 기능의 이동 라우터를 구현하고 경로 최적화 기법의 성능을 패킷 전달에 있어서의 왕복시간을 기준으로 비교하였다.

4.2.1 대응 단말과 이동 단말 사이의 경로 최적화

중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화에서의 기본 라우팅 경로 최적화 기법은 이동 네트워크 외부에 존재하는 대응 단말과 이동 네트워크 단말 사이의 통신에 중점을 둔다. 두 단말 사이의 왕복시간을 패킷 전달 비용으로 정의하였다. 이 때 이동 라우터의 개수는 1부터 6까지 변화를 주며 측정하였고 각 홈에이전트까지의 지연은 0.01초에서 0.1초까지 변화시켰다. 유선 링크의 경우 100Mbps, 무선 링크의 경우 11Mbps의 대역폭을 가지며 위치 등록이 이미 완료된 시점에서 대응 단말과 이동 네트워크 단말 사이의 패킷 왕복 시간을 측정하였다. 그림 4는 중첩의 정도에 따른 패킷 왕복 시간의 변화를 나타낸 그래프이다. 중첩의 정도가 1과 2일 경우 네트워크 이동성 프로토콜과 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화는 정확하게 동일한 왕복 시간을 나타내고 있는데, 이는 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화

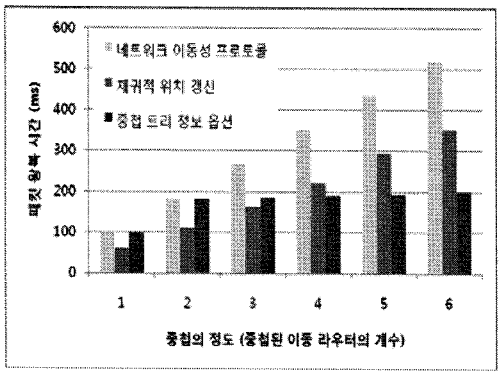

그림 4. 중첩의 정도에 따른 패킷 왕복 시간

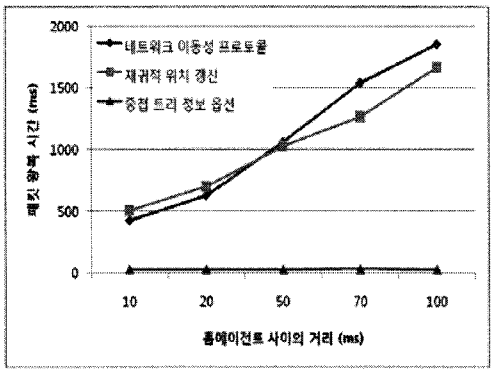

그림 5. 동일한 이동 네트워크에 존재하는 두 이동 네트워크 노드 사이의 라우팅 경로 최적화

기법에서 기본적으로 두 단계의 중첩된 터널링을 수행하기 때문이다. 중첩의 정도에 무관한 두 단계의 중첩 터널링은 3단계 이상의 중첩 이동 네트워크 상황에서 거의 동일한 패킷 왕복시간을 나타내고 있다. 재귀적 위치 정보 갱신 기법에서는 하나의 이동 라우터가 존재하는 상황에서도 네트워크 이동성 프로토콜에 비해 작은 왕복 시간을 나타내는데, 이는 재귀적 위치 정보 갱신 기법이 모바일 아이피 방식의 경로 최적화를 채택하여 홈에이전트 뿐만 아니라 대응 단말까지도 경로 최적화에 참여하고 있기 때문이다. 그러나 중첩의 정도가 심해짐에 따라 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화 기법은 재귀적 위치 정보 갱신 기법보다도 나은 성능을 나타낸다.

4.2.2 이동 네트워크 내의 단말 간 경로 최적화

중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화에서의 확장 라우팅 경로 최적화 기법은 동일한 이동 네트워크 내의 라우팅을 최상위 이동 라우터의 바인딩 캐시 정보를 활용하여 이동 네트워크 내에서 처리할 수 있는 기능을 가진다. 중첩의 정도는 2단계로 고정시켰으며 홈에이전트 사이의 거리는 0.01초에서 0.1초까지 변화시키면서 LFN1과 LFN2사이의 패킷 왕복 시간을 측정하였다. 그림 5는 홈에이전트 사이의 거리 변화에 따른 패킷 왕복 시간의 변화를 나타낸 그래프이다. 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화 기법에서는 홈에이전트 사이의 거리가 변화하는 것에 독립적으로 패킷 왕복시간이 일정하게 유지되는 데 반해 네트워크 이동성 프로토콜 및 재귀적 위치 정보 갱신 기법에서는 홈에이전트 사이의 거리에 비례하여 왕복 시간이 증가하고 있다. 이것은 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화 기법에서 이동 네트워크 내부의 라우팅이 네트워크 내부에서 완료되기 때문이다. LFN1에서 생성된 패킷은 최상위 이동 라우터까지 전달되어 최상위 이동 라우터의 바인딩 캐시 정보를 이용하여 네트워크 외부로 나가지 않고 바로 LFN2까지 소스 라우팅 방식으로 전달되며 그 반대과정도 동일하게 이루어진다.

V. 이질적인 중첩 이동 네트워크에 대한 고려

대부분의 중첩 이동 네트워크를 위한 라우팅 경로 최적화 알고리즘들은 중첩 이동 네트워크를 구성하는 모든 이동 라우터들이 최적화 알고리즘을 사용할 수 있는 동질적인 상황을 상정한다. 그러나 이미 기본 네트워크 이동성 프로토콜이 표준으로 확정 되었고 상용 제품들도 나오는 상황에서 모든 이동 라우터들이 라우팅 최적화 알고리즘을 알고 있다고 가정하기에는 무리가 있다. 이 절에서는 중첩 이동 네트워크에 라우팅 경로 최적화를 수행하는 라우터와 기본적인 동작만을 수행하는 이동 라우터들이 혼재되어 있는 이질적인 네트워크 상황에서 어떻게 최적화를 효율적으로 수행할 수 있을지에 대한 고려사항을 다루도록 한다. 다루고자 하는 문제의 범위는 최상위 이동 라우터가 최적화 가능한 라우터일 경우로 한정하고 최상위 이동 라우터를 제외한 이동 라우터들은 최적화 가능한 라우터와 일반 라우터가 혼재될 수 있다. 이 때 가능한 중첩 이동 네트워크의 구조는 세 가지로 나눠볼 수 있다. 첫 번째 경우는 최상위 이동라우터와 말단 이동라우터가 최적화 가능한 라우터이고 그 중간단계에 임의의 일반 라우터가 존재할 경우이며 두 번째 경우는 최적화 가능한 라우터 아래에 임의의 단계

의 일반 라우터들이 존재할 경우이고 마지막으로 세 번째 경우는 오직 최상위 이동 라우터만이 최적화 가능한 라우터이고 하위의 모든 라우터들이 일반 라우터일 경우이다.

일반 이동 라우터는 항상 자신의 홈에이전트로 터널링을 수행하므로 최상위 이동 라우터가 제안된 최적화 알고리즘을 수행하더라도 중첩의 중간에 존재하는 일반 이동 라우터로 인하여 다시 핀볼 라우팅 문제가 발생하게 된다. 때문에 최상위 이동 라우터의 동작을 이질적인 내부 라우터 구성에 대응되도록 개선할 필요가 있다. 중첩 트리 정보 옵션 기법에서 중첩 트리 정보 옵션을 사용하는 이유는 최상위 이동 라우터가 중첩 이동 네트워크의 구성을 파악할 수 있도록 하기 위해서이다. 그러나 이질적인 이동 네트워크에서는 이러한 중첩 트리 정보가 일반 이동 라우터에 의해서 소실되어 최상위 이동 라우터는 완전한 이동 네트워크의 구조를 파악할 수 없다. 최상위 이동 라우터가 내부 이동 네트워크의 구조를 수동적으로 인지 할 수 있도록 하는 방법이 고려되어야 한다.

최상위 이동 라우터가 내부 인터페이스로 패킷을 수신하였을 때 패킷 헤더가 최종 목적지 옵션을 가지고 있거나 더 이상 터널링을 해제할 수 없을 때까지 패킷에 대해 터널링을 해제하며 각 터널링 헤더의 소스 주소를 리스트에 추가한다. 최종적으로 얻어진 리스트는 다중으로 터널링된 패킷의 원래 소스까지 도달하기 위해 거쳐야 할 라우터들의 보조 주소(CoA) 리스트가 된다. 이러한 방식은 이동 네트워크 단말이 네트워크 외부와 통신을 할 때에만 수집할 수 있는 정보이기 때문에 수동적인 네트워크 구조 파악이라 할 수 있다. 이렇게 수동적으로 수집된 정보는 바인딩 캐시에 기록되어 중첩 트리 정보 옵션을 사용할 때와 동일한 효과를 얻도록 한다. 이 과정에서 중첩된 터널링 헤더를 모두 제거하였기 때문에 다수의 홈에이전트를 거치는 대신 최상위 이동 라우터의 홈에이전트로 전달된다. 이 때 최상위 이동 라우터의 홈 네트워크에서 패킷이 필터링 되는 것을 방지하기 위하여 모바일 IPv6에서 행하는 것과 마찬가지로 홈주소 옵션을 사용하도록 한다. 홈주소 옵션에 원래의 목적지를 기록하고 소스 주소에는 최상위 이동 라우터의 홈 주소를 기록함으로써 필터링을 피하고 대응 단말에서는 홈주소 옵션이 존재할 경우 Type2 라우팅 헤더를 덧붙여 회신하는 방식으로 이질적인 중첩 이동 네트워크에서의 라우팅 경로를 최적화 할 수 있다.

이질적인 중첩 이동 네트워크에서의 동작 또한 4절에서 정의한 모델에 의하여 분석해 볼 수 있다. 이동 네트워크를 구성하는 이동 라우터 중 최적화 가능 이동 라우터가 p%라 할 때 진행 중인 통신 중 $p \cdot A$ 개는 최적화 가능 이동 라우터를 말단 이동 라우터로 하고 $(1-p) \cdot A$개는 일반 이동 라우터를 말단 이동 라우터로 하므로 모든 진행 중인 통신에 대한 평균적인 라우팅 딜레이는 다음과 같다.

$$p \cdot D_0 + D_N + D_{Direct} + \sum_{i=0}^{N} d_i$$

홈에이전트 간의 평균 딜레이($\overline{D}$)를 적용하고 이동 네트워크 내부의 라우팅 딜레이를 무시하면 $(2+p) \cdot \overline{D}$로 동질적인 네트워크 상황을 가정한 $3 \cdot \overline{D}$보다 더 작은 평균 라우팅 딜레이를 보인다. 이러한 경우는 최상위 이동 라우터로부터 말단 이동 라우터에 이르는 경로 중에 최적화 가능한 이동 라우터가 하나도 존재하지 않을 경우에 중첩 트리 정보 옵션에서 수행하는 최소 2단계의 터널링을 수행할 수 없어 최상위 이동 라우터의 홈에이전트까지 한 번만 터널링 되기 때문이다. 그러나 이러한 상황에서는 이동 네트워크의 이동시에 $(1-p) \cdot A$개의 대응 단말에 이동 네트워크의 위치가 변경되었음을 알려야 하기 때문에 추가적인 시그널링 오버헤드를 보이게 될 것이다. 여기서 p가 작을 경우 진행 중인 통신에 대해 모두 위치 정보 갱신 메시지를 보내야 하므로 재귀적 위치 갱신 기법과 유사한 시그널링 오버헤드 특성을 나타내게 된다.

지금까지 살펴본 바와 같이 중첩 트리 정보 옵션 기법은 수동적인 방식으로 최상위 이동 라우터가 내부 네트워크의 구조를 학습하게 함으로써 최적화 가능 이동 라우터와 일반 이동 라우터가 혼재하는 이질적인 이동 네트워크 환경에서도 큰 성능 저하 없이 라우팅 경로 최적화를 수행할 수 있음을 확인할 수 있다.

Ⅵ. 결 론

중첩된 이동 네트워크에는 중첩의 정도가 증가함에 따라 비효율적인 라우팅이 심화되는 핀볼 라우팅 문제가 존재한다. 때문에 기존의 네트워크 이동

성 프로토콜은 적절한 라우팅 경로 최적화 기법과 함께 확장되어야 할 필요가 있다. 핀볼 라우팅 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 라우터 광고와 위치 정보 갱신 메시지에 확장된 중첩 트리 정보 옵션을 이용하는 라우팅 경로 최적화 기법을 제안하였다. 제안하는 경로 최적화 기법은 대응 단말과 이동 단말 사이의 라우팅 경로 최적화 기능을 제공하며 동일 이동 네트워크 내에 존재하는 단말 사이의 라우팅에 대한 최적화 또한 가능하다. 분석적 비교 및 시뮬레이션 결과는 중첩 트리 정보를 이용한 경로 최적화 기법이 중첩의 정도가 심해지고 홈에이전트 사이의 평균 거리가 증가함에도 비교적 효율적인 라우팅 특성을 가짐을 보인다.

대부분의 중첩 이동 네트워크에서의 경로 최적화 기법들은 중첩된 이동 네트워크를 구성하는 모든 이동 라우터들이 최적화 기법을 활용할 수 있는 능력이 있는 이동 라우터라고 가정한다. 그러나 이러한 가정은 현실성이 없고 최적화 기법의 활용에도 제약조건으로 작용하기 때문에 본 논문은 이질적인 이동 라우터들로 구성된 중첩 이동 네트워크 상황을 상정하여 수동적으로 이동 네트워크 내부 구조를 학습하고 일반적인 이동 라우터에게도 효율적인 라우팅을 제공해줄 수 있는 방안을 제안하고 있으며 모바일 아이피에서 사용하는 경로 최적화 기법을 차용함으로써 주어진 환경에서 적은 시그널링 오버헤드와 작은 라우팅 딜레이를 나타내는 기법임을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4," IETF RFC 3344, August 2002.

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

[3] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network Mobility Basic Support Protocol," IETF RFC 3963, January 2005.

[4] H. Cho, E. K. Paik, and Y. Choi, "RBU+: Recursive Binding Update for End-to-End Route Optimization in Nested Mobile Networks," Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 3079, pp.468-478, June 2004.

[5] H. Cho, T. Kwon, and Y. Choi, "Route Optimization using Tree Information Option for Nested Mobile Networks," Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), Vol 24, No 9, September 2006.

[6] P. Thubert and N. Montavont, "Nested Nemo Tree Discovery," Internet draft, October 2004.

조 호 식 (Hosik Cho) 정회원

2002년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업

2002년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박사통합과정 박사과정

<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 무선 이동 통신

권 태 경 (Taekyoung Kwon) 정회원

1993년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업

1995년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사

2000년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 박사

2002년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 센서네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅

최 양 희 (Yanghee Choi) 정회원

1975년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업

1977년 2월 한국과학기술원 석사

1984년 2월 프랑스 ENST 전산학 박사

1991년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 미래 인터넷, 멀티미디어 통신