

이동 IPv6 환경에서 지역성에 기반한 효율적인 멀티캐스트 전송 메커니즘

성 수 련[†] · 김 기 영^{††} · 신 용 태^{†††}

요 약

본 논문은 이동 IPv6 환경에서 지역성에 기반한 효율적인 멀티캐스트 전송 방식을 제안한다. 본 논문은 멀티캐스트 그룹에 가입하는 전체 횟수를 줄이기 위해 이동 노드의 반복적인 이동 성향을 이용한다. 이동 노드의 이동 성향을 이용하여 지역성 범위를 정의한다. 외부 네트워크는 지역성 범위에 속하는 동안 멀티캐스트 트리를 계속 유지하게 된다. 이동 노드가 일정 시간 후에 지역성 범위에 포함된 외부 네트워크로 돌아왔을 때, 이동 노드는 멀티캐스트 그룹에 가입 절차로 인한 지연 없이 멀티캐스트 서비스를 받을 수 있다. 본 논문은 비용 분석을 위해 이산 분석 모델을 이용하여 산출된 전체 처리 시간과 서비스 지연 시간을 기반으로 제안한 방식과 기존의 방식을 비교한다. 분석 결과는 제안한 방식이 전체 처리 시간과 서비스 지연시간을 효과적으로 줄일 수 있음을 보여준다.

키워드 : 이동 IPv6, 멀티캐스트, 지역성

An efficient Multicast Delivery Mechanism Based on Locality in Mobile IPv6 Networks

Sulyun Sung[†] · Kiyong Kim^{††} · Yongtae Shin^{†††}

ABSTRACT

This paper presents an efficient multicast method based on a locality in mobile IPv6 networks. We exploit the repetitive movement pattern of mobile node to reduce the total number of experience of graft and join procedure. We defined the locality scope by a movement pattern. While the network is included in the locality scope, the network should maintain a multicast tree even when the mobile node moves to the other network. In this way, the mobile host can receive a multicast service without a delay when it moves to the network in the locality scope later. We compare our scheme with existing schemes under the total signaling cost and the service delay time by using a discrete analytical model for cost analysis. Analytical results demonstrated that the total signaling cost and service delay time was significantly reduced through our proposed scheme.

Key Words : Mobile Ipv6, Multicast, Locality

1. 서 론

최근 인터넷의 사용자가 증가함과 동시에 무선 통신 기술의 전례 없는 발전에 의해 무선 인터넷 서비스와 IP 이동성에 대한 사용자의 요구가 증가하고 있다. 그러나, 현재의 인터넷은 사용자 이동성을 지원하지 않는다. 이러한 인터넷의 한계를 극복하기 위해 특별한 메커니즘이 필요하다. 이에 IETF는 이동 IP를 사용하여 이와 같은 이동성 문제를 해결하고자 하였다[1, 11]. 한편, 멀티캐스트는 네트워크를 통해 송신 노드가 동일한 패킷을 다수의 수신 노드들에게 동시에

전달함에 의해 대역폭과 패킷 전달의 효율을 높인다[2]. 차세대 인터넷은 유무선이 혼합된 초고속의 네트워크 구조와 실시간 멀티미디어 중심의 서비스를 지향할 것으로 예상된다. 이러한 서비스 환경을 조성하기 위해서는 인터넷상에서의 이동 컴퓨팅 기술과 더불어 위의 멀티캐스트 서비스의 지원이 요구된다. 그러므로, 이동 컴퓨팅 환경에서의 멀티캐스트 지원을 위해서는 이러한 기술의 연동 및 확장이 요구되며, 최근에 주목 받고 있는 분야이다[7, 8, 9].

그 동안 이러한 서비스를 제공하기 위하여 많은 기법들이 연구되고 있다. 그 중 대표적인 기법이 IETF에서 제시한 양방향 터널링과 원격가입 방법이다[1]. 단순히 이동 컴퓨팅 환경에서 멀티캐스트를 제공하기 위해서는 호환성을 고려하여 양방향 터널링 기법이 요구되지만, 라우팅 효율을 고려

[†] 준 회원 : 숭실대학교 컴퓨터학부 박사과정

^{††} 정 회원 : 서울대학 전임강사

^{†††} 종신회원 : 숭실대학교 컴퓨터학부 부교수

논문접수 : 2004년 10월 20일, 심사완료 : 2005년 4월 6일

한다면 원격가입 방법이 더 효과적이다. 본 논문은 이 두 가지 방법을 모두 포용하여, 그들의 장점을 이용하고, 지역성이라는 새로운 개념을 적용하여 원격가입 방법의 한계점을 해결하여, 이동 환경에서 효율적으로 멀티캐스트를 제공할 수 있는 방안을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 관련 연구로써 양방향 터널링 기법과 원격 가입 방법을 자세히 설명하고, 3장에서는 이동 IPv6 네트워크 환경에서 지역성을 이용한 새로운 멀티캐스트 전달 방식을 소개한다. 4장은 제안한 기법의 성능을 수학적 모델을 이용하여 평가한다. 5장은 전체 처리 시간과 서비스 지연 시간을 기반으로 제안한 방식과 기존의 방식을 비교하며, 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

이동 환경에서 멀티캐스트를 전송하기 위한 기존의 방안들은 크게 멀티캐스트 서비스를 홈에이전트가 담당하는 경우, 양방향 터널링 기법과 외부 에이전트가 담당하는 경우, 원격 가입 기법으로 크게 나눌 수 있다.

양방향 터널링 기법에서는 홈 에이전트를 기준으로 멀티캐스트 전송 트리가 구성되며, 이동 호스트가 다른 네트워크로 이동할 경우 모든 멀티캐스트 서비스는 홈 에이전트에 의해 수행된다[11]. 이와 같은 기법은 이동 노드가 이동한 외부 네트워크 라우터의 멀티캐스트 지원 여부와 상관없이 멀티캐스트 서비스를 받을 수 있다. 또한, 외부 네트워크로 이동 시 새롭게 멀티캐스트 그룹에 가입할 필요 없이 즉시 멀티캐스트 서비스를 받을 수 있기 때문에 멀티캐스트 그룹의 가입에 따른 지연이 발생하지 않는다. 그러나, 항상 홈 에이전트를 경유하여 라우팅 하게 되므로 최적의 경로를 가질 수 없으며, 유니캐스트에 기반하므로 효율적으로 대역폭을 사용하지 못한다는 단점을 가진다.

원격 가입 방법에서는 외부 에이전트가 멀티캐스트 라우터의 기능을 담당하며, 외부 에이전트를 기준으로 멀티캐스트 전송 트리가 구성된다[11, 12]. 즉, 멀티캐스트 패킷은 홈 에이전트를 경유하지 않고, 접속 라우터를 통해 이동 노드에게 직접 전달된다. 이 때, 접속 라우터는 항상 멀티캐스트 라우터의 역할을 수행할 수 있어야 한다. 이동 노드는 홈 에이전트의 도움 없이 멀티캐스트 서비스를 받을 수 있다. 이 방법의 장점은 외부 에이전트를 기준으로 항상 최적의 멀티캐스트 전송 트리가 설정된다는 점과 홈 에이전트를 기반의 기법에 비해 네트워크 자원의 이용 효율이 높다는 점이다. 그러나, 이동 노드의 이동이 빈번한 경우, 멀티캐스트 수신 그룹으로의 가입/탈퇴가 반복되어 처리 비용이 증가하고, 지연으로 인하여 연결의 지속성이 떨어지는 단점이 있다. 또한, 이동 호스트가 멀티캐스트를 지원하지 못하는 외부 에이전트로 이동한 경우, 멀티캐스트를 제공할 수 없게 되어 확장성에 문제가 발생한다.

3. 이동 IPv6 환경에서의 새로운 멀티캐스트 전송 기법

3.1 개요

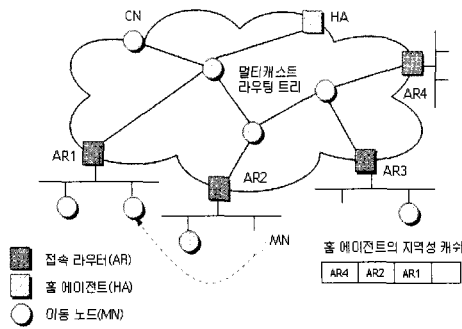
본 논문은 이동 IPv6 네트워크 환경에서 지역성에 기반한 효과적인 멀티캐스트 전달 기법을 제안한다. 이동 IPv6 네트워크 환경에서 효율적으로 멀티캐스트를 전송하기 위해서는 접속 라우터가 멀티캐스트 서비스를 담당하는 것이 홈에이전트가 담당하는 것보다 라우팅 최적화와 대역폭의 효율적으로 사용할 수 있다는 점에서 훨씬 더 효과적이다. 그러나, 서비스 받고자 하는 멀티캐스트 그룹에 가입되어 있지 않은 외부 네트워크로 이동했을 때는 멀티캐스트 그룹에 재가입으로 인한 조인과 접합에 따른 지연을 피할 수 없다. 이와 같은 조인과 접합에 따른 지연을 해결할 수 있다면, 어느 기법보다도 효과적으로 이동 환경에서 멀티캐스트를 제공할 수 있을 것이다. 조인과 접합에 따른 지연 시간은 기존의 정의된 멀티캐스트 프로토콜을 따르기 때문에, 자의적으로 줄이는 것은 불가능하다.

따라서, 본 논문에서는 멀티캐스트 가입으로 인한 지연을 경험하게 되는 전체 경우 수를 줄여 전체적인 지연 시간을 줄이고자 한다. 또한, 멀티캐스트 그룹에 가입되어 있지 않은 외부 네트워크로 이동하는 경우의 수를 줄이기 위해 본 논문은 지역성을 이용한다.

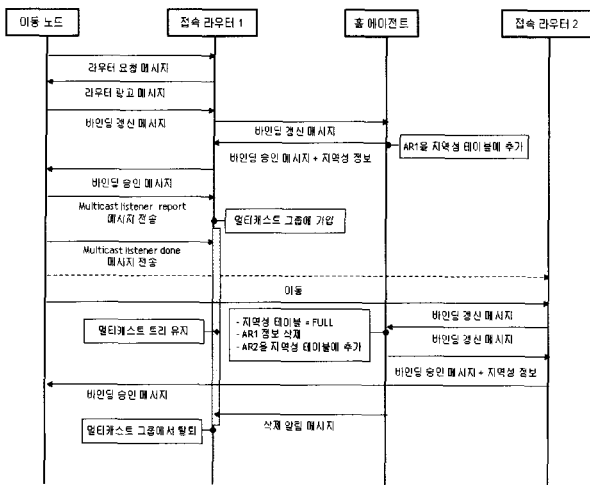
지역성은 이동 노드의 반복적인 행동 양상으로 정의된다 [5, 6]. 이 지역성은 한 학생의 행동 양상으로 설명될 수 있다. 학생의 활동 범위는 학교, 집, 버스로 제한적인 것이다. 즉, 이동 노드의 행동은 제한된 범위에서 반복적 양상을 나타낸다. 따라서, 이동 노드가 한번 방문한 지역은 다시 방문할 확률이 높다. 이와 같은 특징을 이용하여, 본 논문은 사용자의 활동 패턴을 정제된 형식, 지역성 범위로 정의한다. Δn 을 네트워크의 수로 가정한다면, 지역성의 범위는 "For Δn , $G = \{n_1, n_2, n_3, n_4\}$ "가 된다. 즉, Δn 내에서, 지역성 범위에 속하는 네트워크 집합은 n_1, n_2, n_3, n_4 가 된다.

홈 에이전트는 이동 양상에 따라 지역성 범위를 정의한다. 지역성 범위내의 원소는 최근에 이동 노드가 방문한 네트워크의 접속 라우터(Access Router) 그룹이다. HMIPv6 [14]에서 사용한 AR의 개념을 본 논문의 메커니즘에 적용한다. AR은 이동 노드가 방문한 네트워크 내에 위치한 라우터이다. AR은 이동 노드의 디폴트 라우터가 되며 멀티캐스트 서비스를 제공한다. 이동 노드는 AR을 통해 MLDv2 메시지를 이용하여 멀티캐스트 그룹에 가입하게 된다[3]. 홈 에이전트는 정의된 범위 내에서 지역성 정보를 관리하게 되며, AR의 지역성내 포함 여부를 AR에게 알려준다. AR은 지역성 범위에 속하는 동안 멀티캐스트 트리를 계속해서 유지하기 때문에, 이동 노드는 해당 AR로 이동 했을 경우 지연 없이 멀티캐스트 패킷을 받을 수 있다. 이와 같은 방식으로, 제안한 기법은 멀티캐스트 트리에 새로이 가입하는

1) IPv6 환경에서 주어진 멀티캐스트 그룹에 속한 호스트 존재 여부 판단하기 위해 사용되는 인터넷프로토콜서 IPv4에서의 IGMIPv4와 상용한다. MLDv1과 비교하여, 소스 필터링 기능이 추가되었다.



(그림 1) 네트워크 토폴로지



(그림 2) 전체 동작 절차

전체 횟수를 줄여 전체 서비스 지연을 효과적으로 감소시킬 수 있다. (그림 1)은 본 논문이 가정한 네트워크 토폴로지를 보여준다.

3.2 제안한 방안의 세부 동작

제안한 방안에서 지역성 범위는 명시된 네트워크 수 내의 AR의 집합으로 정의된다. 즉, Δn에 대해서, 지역성 범위의 집합은 G = {AR1, AR2, AR3, AR4}로 설명될 수 있다. G의 크기는 Δn으로 결정되며, 홈 에이전트가 이 값을 정한다. 홈 에이전트는 테이블의 형태로 그룹 G에 관한 정보를 가진다. 홈 에이전트는 바인딩 승인 메시지를 처리한 후, 지역성 정보를 이용하여 테이블을 갱신한다. (그림 2)는 제안한 방안의 전체 동작 절차를 보여준다.

3.2.1 이동 노드 동작

이동 노드는 이동 후에 (그림 2)와 같이 AR로부터 라우터 광고 메시지를 받게 된다. 이동 노드는 주소 자동 설정 방식으로 COA를 생성하게 된다. 이동 노드는 생성된 COA를 이용하여 바인딩 갱신 메시지를 통하여 AR에 등록한다. 등록 절차 후, 이동 노드는 주기적으로 AR로부터 멀티캐스트 수신자 질의 메시지를 받게 된다. 이동 노드가 가입하고

자 하는 멀티캐스트 그룹이 있다면, AR에게 멀티캐스트 수신자 보고 메시지를 보내게 된다. 이동 노드는 제안된 메커니즘에 상관 없이 투명하게 동작할 수 있다.

3.2.2 홈 에이전트 동작

홈 에이전트는 바인딩 갱신 메시지를 받은 후, 이동 노드에게 지역성 정보를 포함한 바인딩 승인 메시지를 전송한다. 바인딩 승인 메시지를 전송한 후, 홈 에이전트는 지역성 테이블에 저장된 접속 라우터 목록을 갱신한다. 이때, 지역성 테이블이 포화상태라면, 홈 에이전트는 테이블에서 기존의 AR를 삭제하고, 새로운 AR를 추가한다. 홈 에이전트는 지역성 테이블로부터 특정 AR 목록을 삭제한 후, 삭제된 AR에게 삭제 알림 메시지(Delete notification message) 전송한다. 이를 받은 AR은 해당 멀티캐스트 그룹의 수신자를 가지지 않는다면, 멀티캐스트 그룹에서 탈퇴한다. 또한, 홈 에이전트는 지역성 테이블내 각각의 엔트리와 바인딩된 타이머를 유지한다. 접속 라우터는 지역성 테이블에 속해 있는 동안 계속 멀티캐스트 트리를 유지해야 하기 때문에, 이동 노드의 이동률이 낮을수록 이에 따른 오버헤드가 클 것이다. 이와 같은 오버헤드를 줄이기 위해서, 지역성 테이블의 엔트리와 바인딩된 타이머를 사용한다. 각 엔트리마다 이동 노드의 평균 이동률을 고려하여 타이머를 설정한다. 타이머가 완료되면 완료된 접속 라우터를 지역성 테이블에서 삭제한 후, 삭제 알림 메시지를 전송하는 방법으로 접속 라우터의 오버헤드를 줄일 수 있다.

또한, 지역성 테이블의 크기가 작을 경우, 이동 노드의 이동이 빈번한 경우 지역성 테이블에서 삭제되고 포함되는 작업이 계속 반복될 수 있다. 이와 같은 핑퐁(pingpong) 현상에 따른 오버헤드를 해결하기 위해, 홈 에이전트는 추가적으로 이동 노드의 해당 접속 라우터에 방문 횟수를 유지할 수 있다. 바인딩 업데이트를 받을 때마다 해당 접속 라우터의 접속 횟수를 1씩 증가시킨다. 이를 반영하여, 홈 에이전트는 지역성 테이블의 각각의 엔트리와 바인딩 되어 있는 타이머 값을 $T_i = T + a \cdot visit_num_j$ 식을 이용하여 조절할 수 있다. 여기에서 T는 전체 이동 노드에 적용될 타이머 값으로 정의되며, visit_num은 이동 노드가 접속 라우터 j에 방문한 횟수로 정의된다. T_i는 접속 라우터 i가 갖게 되는 최종 타이머 값이 되며, a는 방문한 횟수에 주게 되는 가중치 값이다.

또한, 지역성 테이블이 포화 상태가 되었을 때, 접속 라우터 삭제 시 작은 방문 횟수 값을 갖는 접속 라우터를 우선으로 삭제하는 방법을 선택할 수 있을 것이다. <표 1>은 친숙한 홈 에이전트의 동작을 의사 코드로 작성한 것이다.

3.2.3 접속 라우터 동작

AR이 바인딩 승인 메시지를 받았을 때, 메시지 내 포함된 지역성 정보 부분을 처리한다. AR은 지역성 정보 테이블을 유지하며, 지역성 테이블 내에 이동 노드 목록과 그 이동 노드가 가입하고 있는 멀티캐스트 그룹 정보를 관리한다. 바인딩 승인 메시지를 처리한 후, AR은 지역성 정보 테

<표 1> 홈 에이전트의 동작 방식

```

Algorithm operation_by_HA

Variables
bindingi = 이동 노드 i에 대한 바인딩 정보
locality_info = 이동 노드가 ΔN 동안 방문한 AR의 집합
ΔN = 지역성 테이블의 크기
ARk = 이동 노드가 방문한 네트워크의 접속 라우터 k
visit_numi = 이동 노드가 접속 라우터 i에 방문한 횟수

Initially binding = nil
upon receiving binding_updatej from MNi :
    update bindingi ; /* create bindingi */
update visit_numi ;
    if locality_info = Full then
        remove ARk from locality_info ;
        send delete_notification to ARk ;
    add ARj to locality_info and set timer ;
    else
    add ARi to locality_info and set timer ;
        send binding_ack to ARi
    upon timer of locality_info is expired
    remove ARi from locality_info ;
        send delete_notification to ARi ;
    
```

<표 2> 접속 라우터의 동작 방식

```

Algorithm operation_by_AR

Variables
visitor_list = AR에 방문한 이동 노드의 집합
locality_table = 지역성 기법을 사용하는 이동 노드의 집합
membersj = 멀티캐스트 그룹 j에 가입되어 있는 노드의 id 집합
ARj = 이동 노드가 위치한 접속 라우터의 상위 접속 라우터 j
pending_visitor_list = 바인딩 갱신 메시지를 전달하고, 승인 메시지를 전달 받기 전의 이동 노드 집합

Initially visitor_list = nil, members = nil
upon receiving binding_updatei from MN ;
update pending_visitor_list ;
send binding_updatei to HA ;
upon receiving binding_acki from HA ;
update visitor_list ;
if exists locality_info_extension then
    add MNi to locality_table ;
    upon receiving multicast_listener_reportj from MNi
        if membersj = nil then
            send Graft to ARj ;
            add MNi to membersj ;
upon receiving multicast_listener_donej from MNi
    if MNi ∈ locality_table then
        hold Multicast tree until receive delete_notification ;
    else
send Prune to ARj ;
        update membersj ;
upon receiving delete_notification from HA
    remove MNi from membersj
if membersj \ MNi = nil
    send Graft to ARj ;
    
```

이블에 이동 노드에 관한 정보를 추가시킨다. 만약, 이동 노드가 가입하고자 하는 멀티캐스트 그룹이

있다면, 이동 노드는 AR에 멀티캐스트 수신자 보고메시지를 보낸다. 또한 이동 노드가 다른 네트워크로 이동했을 때, 이동 노드는 AR에게 multicast listener done 메시지를 전송하게 된다. 이때, AR은 multicast listener done 메시지를 수신하여도, 삭제 알림 메시지를 받을 때까지 멀티캐스트 그룹에서 탈퇴하지 않는다. 대신, 지역성을 유지하기 위해, AR은 이동 노드 대신 스스로 Multicast Listener report 메시지를 전송하게 된다. AR이 홈 에이전트로부터 삭제 알림 메시지를 받았을 때, 더 이상 해당 멀티캐스트 서비스의 수신자가 없다면 멀티캐스트 그룹에서 탈퇴한다.

이와 같은 방법으로, 이동 노드가 멀티캐스트 라우팅 트리를 유지하고 있는 네트워크로 다시 이동했을 때, 지연 없이 멀티캐스트 서비스를 받을 수 있다. 일반적으로, 이동 노드는 지역성을 가지며 제한된 지역 내에서 움직이기 때문에, 제안한 방식으로 전체 지연 수를 효과적으로 줄일 수 있다. <표 2>는 전문한 접속 라우터의 동작을 의사 코드로 작성한 것이다.

4. 성능 평가

본 절에서는, 제안한 방식과, 원격가입 방식, 양방향 터널링 방식의 등록 비용과 멀티캐스트 패킷 전송 비용을 측정하기 위한 비용 함수를 유도한다. 등록 비용은 바인딩 갱신 메시지와 바인딩 승인 메시지의 전송 비용과 각 접속 라우터, 홈 에이전트에서 각 메시지를 처리하기 위한 처리 비용을 포함한다. 전체 처리 비용은 등록 비용과 멀티캐스트 패킷 전송 비용으로 구성되며, 이 값은 성능 평가를 위한 척도로 사용된다. 또한, 본 논문은 세가지 방식의 서비스 지연 시간을 계산한다. 본 논문은 이동 노드가 지역성 테이블을 갱신하기 위해 홈 에이전트나 접속 라우터에게 보내는 주기적인 바인딩 갱신 메시지는 고려하지 않는다.

4.1 전체 처리 비용

전체 처리비용은 등록 비용과 패킷 전달 비용으로 구성된다. 이 절에서는 다양한 환경적 변수를 반영하여 각 비용을 정의한다.

4.1.1 등록 비용

등록 비용은 AR, HA에 등록하기 위한 비용과, 멀티캐스트 그룹에 가입, 접합하기 위한 비용으로 구성된다. 등록 비용을 계산하기 위해 <표 3>과 같이 변수들을 정의한다.

이동 노드가 멀티캐스트 그룹에 가입되어 있지 않은 네트워크로 이동할 경우, 이동 노드의 등록비용은 다음과 같다.

$$C_{not,m} = 4C_{am} + 2a_a + 2C_{ah} + 2a_h + C_{jam} + M_g + a_j \quad (1)$$

이동 노드가 이미 멀티캐스트 그룹에 가입되어 있는 네트워크로 이동한다면, 이동 노드는 새로운 멀티캐스트 가입 절차 없이 멀티캐스트 서비스를 받을 수 있다. 이러한 경우의 등록비용은 다음과 같다.

$$C_m = 4C_{am} + 2a_a + 2 C_{ah} + 2 a_h \quad (2)$$

또한, 양방향 터널링의 등록비용은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$C_h = a_h + 2 C_{hm} + M_g + a_j + 2C_{jmh} \quad (3)$$

l_{ah} 는 AR과 HA사이의 평균 거리이다. 전송 비용은 거리에 비례하므로 이때 비례 상수 값을 δ_u 라고 정의한다. 일반적으로, 무선 링크의 전송비용은 유선링크 보다 높기 때문에, 무선 환경에서 전송 비용은 유선 환경에서의 전송 비용의 p 배이며, multicast listener report 메시지의 전송 비용은 등록 갱신 메시지보다 q 배 낮음을 가정한다. 따라서, C_{jmh} , C_{ah} 는 $t \cdot (p \cdot q + l_{ah}) \delta_u$, $l_{ah} \delta_u$ 가 된다. τ 는 터널링을 위해 소요되는 비용이다.

이에, 위의 세 방식의 등록 비용은 다음과 같이 재정의 될 수 있다.

$$C_{not,m} = 2a_a + 2a_h + M_g + a_j + (2l_{ah} + 4 \rho + pq) \delta_u \quad (4)$$

$$C_m = 2a_a + 2 a_h + (2l_{ah} + 4 \rho) \delta_u \quad (5)$$

$$C_h = a_h + 2 (l_{ah} \delta_u + \rho \delta_u) + M_g + 2 t \cdot a_j + t \cdot (p \cdot q + l_{ah}) \delta_u \quad (6)$$

각 이동 노드는 N 개의 서브넷 내에서 이동할 수 있으며, 지역성 테이블은 k 개의 서브넷을 포함한다. 본 논문은 이동 노드의 움직임에 이산 시스템을 이용하여 모델링한다. 각 이동 노드가 m 번째 이동에서 지역성의 그룹을 벗어날 때의 랜덤 변수 M 을 정의한다. 첫 번째 이동에서, 이동 노드는 서브넷 1, 2, ... N 으로 이동할 것이다. 두 번째 이동에서 이동 노드는 다른 $N-1$ 서브넷 중 한 곳으로 이동할 것이다.

본 논문은 이동 노드가 $N-1$ 개의 서브넷에 같은 확률 $\frac{1}{N-1}$ 로 이동한다고 가정한다. 이동 시, $m < k$ 일 때, 이동 노드는 이미 지역성 테이블에 존재하는 AR로 이동할 경우에는 재가입이 필요하지 않지만, 새로운 AR로 이동 시에는 멀티캐

스트 그룹에 재가입 해야 한다. $m < k$ 의 경우, 이동 노드가 이미 멀티캐스트 그룹에 가입되어 있는 서브넷으로 이동이 발생할 수 있는 전체 수는 m 개이며, $m > k$ 의 경우, 이동이 발생할 수 있는 전체 수는 k 이다. 그렇기 때문에, 두 경우의 확률은 독립적으로 계산 되어 한다. $m > k$ 의 경우, 지역성 집합을 벗어날 확률, 즉, m 번째 이동에서 멀티캐스트 가입 과정을 수행할 확률은 식 (7)과 같다.

$$P^m = \frac{N-5}{N-1} \cdot \left(\frac{k-1}{N-1} \right)^{m-2}, \text{ where } k < m < \infty \quad (7)$$

이때, M 의 기대값 $E[M]_c$ 는 식 (8)과 같다.

$$E[M]_c = \sum_{m=k}^{\infty} m \cdot P^m = 1 + \frac{N-1}{N-k} \quad (8)$$

$m < k$ 의 경우, 지역성 테이블을 이용하기 때문에, 기대값을 계산하기 위해서는 추가적인 사항들을 고려해야 한다. 이동 노드가 m 번째 이동에서 지역성 범위를 벗어났을 때, 이동 노드가 이동 1~ $m-1$ 까지 거처간 경로는 k 개이며, 이는 다른 k 개의 노드로만 구성된다. 그렇기 때문에 이동 시 지역성 범위를 벗어날 때의 m 의 기대값은 이동 노드가 다른 k 개의 서브넷을 방문했을 때의 기대값에 k 개의 지역성 범위 내에서 이동 시의 기대값을 더한 값이 된다. 이에 본 논문은 다음과 같이 각각의 이동시의 기대값을 정의한다. $E[M]_{1 \rightarrow 2}$ 는 이동 노드가 첫 번째 서브넷에서 두 번째 서브넷으로 이동 했을 때 이동 수에 대한 기대값으로 정의된다. 이동 m 에서 이동 노드는 두 개의 다른 서브넷을 방문하게 되기 때문에 $E[M]_{1 \rightarrow 2}$ 의 기대값은 다음과 같다.

$$E[M]_{1 \rightarrow 2} = 1 \quad (9)$$

이동 노드가 두개의 다른 서브넷을 방문했을 때, $E[M]_{2 \rightarrow 3}$ 는 이동 노드가 세 번째 새로운 서브넷으로 이동 하기 위해 이동 노드가 가지는 이동의 수에 대한 기대값은 다음과 같이 정의될 수 있다.

<표 3> 등록 비용 계산을 위한 변수들

C_{am}	AR과 MN간의 바인딩 업데이트 전송 비용		$= \rho \cdot \delta_u$
C_{ah}	AR과 HA간의 바인딩 업데이트 전송 비용		$= l_{ah} \cdot \delta_u$
C_{hm}	HA와 MN간의 바인딩 업데이트 전송 비용		$= l_{ah} \cdot \delta_u + \rho \cdot \delta_u$
C_{jam}	AR과 MN간의 MLDv2 메시지 전송 비용		$= p \cdot q \cdot \delta_u$
C_{jah}	AR과 HA간의 MLDv2 메시지 전송 비용		$= l_{ah} \cdot \delta_u$
C_{jmh}	MN과 HA간의 MLDv2 메시지 전송 비용		$= t \cdot (p \cdot q + l_{ah}) \delta_u$
a_h	HA의 등록 처리 비용		$= a_h$
a_a	AR의 등록 처리 비용		$= a_a$
a_j	AR과 HA에서 멀티캐스트 수신자 보고메시지 처리 비용		$= a_j$
a_g	AR과 HA에서 집합 메시지 처리 비용		$= a_g$
δ_u	거리 비례 상수값	q	MLDv2 메시지 전송을 위한 가중치
l_{ah}	AR과 HA사이의 평균 거리	t	터널링에 대한 소요 비용
p	무선 환경 상수		

<표 4> 패킷 전송 비용 계산을 위한 변수들

T_{ha}	HA와 AR간의 멀티캐스트 패킷 전송 비용	$= t \cdot l_{ah} \cdot \delta_D + \rho \delta_D$	
T_{am}	AR와 MN간의 멀티캐스트 패킷 전송 비용	$= \rho \delta_D$	
T_{hm}	HA와 MN간의 멀티캐스트 패킷 전송 비용	$= t \cdot l_{ah} \cdot \delta_D + \rho \delta_D$	
U_h	HA에서의 멀티캐스트 패킷 처리비용	$= \lambda_a(\alpha\omega + \beta \log(w))$	
U_a	AR에서의 멀티캐스트 패킷 처리비용	$= \lambda_a(\alpha\omega + \beta \log(w))$	
t	터널링을 위한 소요 비용	λ_a	평균 패킷 도착률
l_{ah}	AR과 HA사이의 평균 거리	ω	한 서브넷에 위치한 이동 노드의 평균 수
δ_D	거리 비례 상수값	α, β	방문객 목록, 라우팅 테이블 검색을 위한 가중치

$$E[M]_{2 \rightarrow 3} = \sum_{m=1}^{\infty} n \cdot \left(\frac{1}{N-1}\right)^{n-1} \frac{N-2}{N-1} = \frac{N-1}{N-2} \quad (10)$$

$$C_{HA-R} = \frac{(E[M]+1)C_h}{E[M]T_f} \quad (15)$$

이동 노드가 (k-1)번째 서브넷에서 k번째 새로운 서브넷으로 이동할 때 가지는 전체 이동 수는 식 (10)과 같다.

$$E[M]_{2 \rightarrow 3} = \sum_{m=1}^{\infty} n \cdot \left(\frac{k-2}{N-1}\right)^{n-1} \frac{N-K+1}{N-1} = \frac{N-1}{N-k+1} \quad (11)$$

결과적으로 이동 노드가 지역성 범위를 벗어날 때 이동 노드가 가지는 전체 이동 수에 대한 기대값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[M] &= E[M]_{1 \rightarrow 2} + E[M]_{2 \rightarrow 3} + \dots + E[M]_{k-1 \rightarrow k} + E[M]_c \\ &= 1 + \frac{N-1}{N-2} + \dots + \frac{N-1}{N-K+1} + \frac{N-1}{N-k} + 1 \\ &= 1 + (N-1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{N-i} \end{aligned} \quad (12)$$

각 서브넷에서 이동 노드의 평균 체류 시간은 T_f 로 가정한다. 제안한 방식에서 이동 노드는 지역성 집합에 속하는 네트워크로 이동할 경우, 멀티캐스트 가입 절차 없이 멀티캐스트 서비스를 받을 수 있다. 본 논문은 이동 노드가 처음 방문한 AR이 이미 특정 멀티캐스트 그룹에 가입되어 있는 경우는 고려사항에서 제외시킨다. 이를 토대로, 본 논문에서 제안한 방식의 평균 등록비용은 식 (13)과 같다.

$$C_{Ours-R} = \frac{(E[M]-1)C_m + C_{not-m}}{E[M]T_f} \quad (13)$$

원격가입 방식에서는 이동 노드가 다른 서브넷으로 이동할 때 마다 멀티캐스트 그룹에 재가입해야 한다. 따라서, 원격가입 방식의 평균 등록 비용은 식 (14)과 같다.

$$C_{RA-R} = \frac{(E[M]+1)C_{not-m}}{E[M]T_f} \quad (14)$$

양방향 터널링에서는 이동 노드는 홈 에이전트를 통하여 멀티캐스트 그룹에 가입해야 한다. 따라서, 양방향 터널링의 등록 비용은 식 (15)과 같다.

4.1.2 패킷 전송 비용

패킷 전송 비용은 멀티캐스트 패킷의 처리 비용과 전송 비용을 포함한다. 패킷 전송 비용을 계산하기 위해 <표 4>과 같이 변수들을 정의한다.

본 논문에서 제안한 방식과 원격 가입 방식, 양방향 터널링 방식의 패킷 전송을 위한 비용은 다음 식 (16), (17), (18)와 같다.

$$C_{ours-PD} = T_{am} + U_a \quad (16)$$

$$C_{RA-PD} = T_{am} + U_a \quad (17)$$

$$C_{HA-PD} = T_{ha} + U_h \quad (18)$$

데이터 패킷의 전송 비용은 수신 이동 에이전트와 송신 이동 에이전트간의 거리에 비례 상수값 δ_D 로 비례한다. 비례 상수값 δ_D 를 이용하여, t_{ha} , t_{am} 는 δ_D , $t \cdot l_{ah} \cdot \delta_D + \rho \delta_D$ 로 표현될 수 있다. 하나의 서브넷에 평균 ω 개의 이동 노드가 있다고 가정한다. 따라서, 홈 에이전트의 등록 리스트 검색 복잡도와 접속 라우터의 방문자 목록 검색 복잡도는 ω 에 비례한다.

외부 에이전트와 접속 라우터에서의 멀티캐스트 패킷 처리비용은 식 (19)와 같다.

$$U_h = U_a = \lambda_a(\alpha\omega + \beta \log(w)) \quad (19)$$

λ_a 는 각 이동 노드가 받는 평균 패킷 비율이며, α 와 β 는 방문객 리스트와 등록 리스트, 라우팅 테이블 검색 하기 위해 소요되는 가중치 값이다[15]. 이 경우에, 세 가지 방식의 패킷 전달 비용은 (20), (21)과 같다.

$$C_{ours-PD} = C_{RA-PD} = \lambda_a(\alpha\omega + \beta \log(w)) + \rho \delta_D \quad (20)$$

$$C_{HA-PD} = 2\lambda_a(\alpha\omega + \beta \log(w)) + 2t \cdot l_{ah} \cdot \delta_D + \rho \delta_D \quad (21)$$

4.1.3 전체 처리 비용

전체 처리 비용은 등록 비용과 패킷 전달 비용으로 구성된다. 4.1.1절과 4.2.2절의 분석을 토대로, 식 (22)과 같이 전체 처리 비용 함수를 구할 수 있다. (22)의 식에서 $C_{(.)-TOT}$ 에서 (.)은 ours, HA RA를 대표한다. 즉, $C_{(ours)-TOT}$ 는 제안한 기법의 전체 처리 비용을, $C_{(HA)-TOT}$ 는 양방향 터널링 기법의 전체 처리 비용을, $C_{(FA)-TOT}$ 은 원격 가입 방식의 전체 처리 비용을 나타낸다. 같은 방식으로 $C_{(.)-R}$ 은 세 기법의 등록 비용을 나타내며, $C_{(.)-PD}$ 는 세 기법의 패킷 전송 비용을 나타낸다. 전체 처리 비용 $C_{ours-TOT}$, C_{HA-TOT} , C_{RA-TOT} 는 3.1.1절과 3.1.2절에서 산출된 (13), (14), (15)과 (20), (21)식을 이용하여 식 (22)와 같이 계산된다.

$$C_{(.)-TOT}(k, \lambda_a, T_f) = C_{(.)-R} + C_{(.)-PD} \quad (22)$$

4.2 서비스 지연 시간

이동 노드는 다른 네트워크로 이동 후, 등록에서부터 멀티캐스트 서비스를 받기 까지 지연을 갖는다. 총 지연 시간 D 는 새로운 접속 라우터를 찾기 위해 소요되는 시간 τ_s , 등록에 소요되는 시간 τ_R , 멀티캐스트 라우팅 트리에 가입하기 위해 소요되는 시간 δ_m , 터널링 처리를 위한 시간 δ_T , 멀티캐스트 패킷의 전송시간 T_m 으로 구성된다. 본 논문은 이동 노드가 m 번 이동했을 때 소요되는 총 지연 시간을 구한다. 패킷은 각 서브넷에 λ 의 비율로 전송됨을 가정한다. 이와 같은 변수를 통하여, 제안한 기법, 양방향 터널링, 원격 가입 방식의 지연 시간을 (23), (24), (25)처럼 정의한다.

$$D_{ours} = (k+1)(\lambda \cdot T_m + \tau_s + \tau_R + \delta_m) + E[M](\lambda \cdot T_m + \tau_s + \tau_R) \quad (23)$$

$$D_{RA} = (E[M] + k+1)(\lambda \cdot T_m + \tau_s + \tau_R + \delta_m) \quad (24)$$

$$D_{HA} = (E[M] + k+1)(\tau_R + \lambda \delta_T) \quad (25)$$

5. 분석 결과

본 절은 앞서 정의한 전체 처리 비용과 서비스 지연 시간을 기반으로 제안한 방식의 성능과 양방향 터널링 방식과 원격 가입 방식의 성능을 비교한다.

이에 앞서 지역성 테이블의 최적의 값을 구하기 위한 방식을 설명한다. 지역성 테이블 크기의 최적의 값은 3장에서 구한 전체 처리 비용 $C_{(.)-TOT}(k, \lambda_a, T_a)$ 을 최소화 시킬 수 있는 값으로 결정된다. K 는 정수만 될 수 있기 때문에, 비용 함수는 k 의 연속함수가 될 수 없다. 즉, 최소의 전체 처리 비용을 얻기 위한 최적의 k 값을 구하기 위해 비용 함수의 k 의 도함수를 취하는 것은 적절한 방법이 될 수 없다. 따라서, 본 논문은 최적의 k 값을 구하기 위해 반복적 알고

리즘을 사용한다. [13]에서 제안한 알고리즘에서 사용한 방식을 이용하여, 본 논문은 k 의 테이블 크기를 가진 시스템과 $k-1(k \geq 2)$ 의 테이블 크기를 가진 시스템 간의 비용 차 함수를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta_{ours}(k, \tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) = C_{oursTOT}(k, \tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) - C_{oursTOT}(k-1, \tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) \quad (26)$$

식 (26)에서 $\tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f$ 는 각각의 이동 노드에 대해서 평균 패킷 도착률과 평균 서브넷 체류 시간을 의미한다. Δ_{ours} 가 주어 진다면, 최적의 k 값을 찾기 위한 알고리즘은 식 (27)과 같다.

$$k_{opt-ours}(\tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta_{ours}(2, \tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) > 0 \\ \max\{k : \Delta_{ours}(k, \tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) \leq 0\}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (27)$$

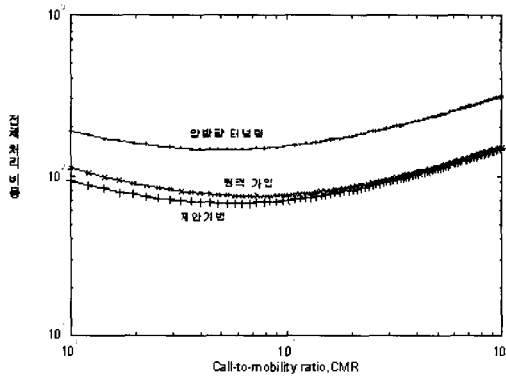
패킷 도착률을 구하기 위한 방식은 [13]에서의 방식을 따른다. 각 이동 노드는 각 네트워크에서 보낸 시간을 구하기 위해 타이머를 사용할 수 있다. 이동 노드 체류 시간의 확률 밀도 함수를 알 수 있다면 T_f 는 계산될 수 있다. 예를 들어, 이동 노드 체류시간 $f_r(t)$ 의 확률 밀도 함수가 라플라스 변환 $F_r(s) = (\frac{u\gamma}{s + u\gamma})^\gamma$ (평균값: $\frac{1}{\mu}$, 분산: $v, \gamma = \frac{1}{V\mu^2}$)을 가지는 감마 분포를 따른다면, $T_f = \frac{1}{\mu}$ 가 된다.

또한, 본 논문에서 이동 노드는 무선 채널을 통하여 보통 제한된 수의 서브 네트워크로 이동 하기 때문에, 서브네트워크 수 ω 를 30으로 가정한다. 각 시그널링 패킷은 이동성 에이전트의 트래픽 부하와 라우팅 알고리즘에 상관없이 같은 경로를 갖는다고 가정한다. 이에, l_{ah} 는 상수로 정의한다. IP 헤더의 TTL 값은 보통 32나 64로 사용되기 때문에, 본 논문 또한 패킷이 전달될 수 있는 홉의 수에 대한 경계값을 34 또는 64로 제한한다[14]. 성능 평가를 위해 $l_{ah}=20$ 로 가정하며, <표 4>는 성능 분석을 위한 변수들이다.

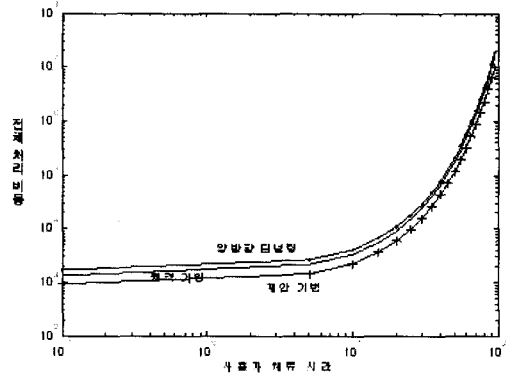
첫째, 본 논문은 Call-to-mobility ratio(CMR)를 이용하여 제안한 기법과 기존의 기법의 전체 성능을 비교한다. CMR은 패킷 도착률과 이동률의 비율로 정의하며 이에 따라 $CMR = \lambda_a T_f$ 이다. 또한, 모든 이동 노드의 각 서브넷 내의 평균 체류 시간은 같으며, 모든 이동 노드들은 같은 비율로 패킷을 받는다고 가정한다. (그림 3)는 패킷 도착률과 체류 시간이 동시에 증가할 때, CMR에 따른 세가지 방식의 전체

<표 4> 성능 분석을 위한 변수

패킷 처리 비용	a_h	20.0	거리 비용 단위	δ_U	0.1
	a_a	15.0		δ_D	0.05
	a_f	5.0	가중치	α	0.4
	M_g	13.0		β	0.6
메시지 상수	q	0.7	이동 노드 수	w	30
터널링 비용	t	10	무선 환경 상수	ρ	10



(그림 3) CMR에 따른 전체 처리 비용 비교



(그림 4) 지수 분포의 사용자 체류 시간에 따른 전체 처리 비용 비교

처리 비용을 나타낸다. 이때 사용된 지역성 테이블 크기는 4.1절에서 도출한 최적의 k 값이다. CMR이 낮은 값을 가질 때, 이동률은 패킷 도착률 보다 높기 때문에 등록 갱신 비용이 전체 처리 비용에서 높은 비중을 차지하게 된다. 그렇기 때문에, CMR이 낮을수록 제안한 방식은 기존의 방식보다 더 낮은 등록 갱신 비용이 소요되기 때문에, (그림 3)과 같이 원격 가입보다는 최대 약 11%, 양방향 터널링 방식보다는 50%이상의 총 처리 비용에서의 절감을 얻을 수 있다. 하지만, CMR이 높은 값을 가질 때는 전체 처리 비용에서 등록 비용보다 패킷 전송 비용이 더 큰 비중을 가진다. 패킷 전송을 위해서는 제안한 방식과 기존의 원격 가입 방식은 거의 같은 비용을 필요로 하기 때문에, CMR 값이 클수록 제안한 방식은 기존의 방식에 비해 잇점이 없다.

이번 실험은 사용자의 체류 시간이 식 (28)과 같은 지수 분포를 따른다고 가정한다.

$$f_1(T_f) = \frac{1}{T_f} e^{-T_f/T_f}, \quad T_f \geq 0 \quad (28)$$

패킷 도착률 λ_a 는 10으로 고정되며 이동 노드의 평균 체류 시간 $\bar{T}_f=10$ 이다. 따라서, 기존 기법과 제안한 기법의 전체 처리 비용은 식 (29)와 같다.

$$C_{TOT} = \int_0^{\infty} f_1(T_f) C_{(-)TOT}(k_{opt-ours}(\lambda_a, \bar{T}_f), \lambda_a, T_f) dT_f \quad (29)$$

(그림 4)은 이동 노드의 이동 패턴이 지수 분포를 따를 때 세 기법의 전체 처리 비용을 비교한 결과이다. (그림 4)와 같이, 사용자 체류 시간이 더 적으면 적을수록 제안한 기법이 기존의 기법보다 더 적은 전체 처리 비용을 갖는다. 사용자 체류 시간이 10sec일 때, 제안 기법은 원격 가입 방식보다 약 15% 정도의 비용 절감을 얻을 수 있었으며, 양방향 터널링 방식보다 약 26%의 비용 절감을 얻을 수 있었다. 사용자 체류 시간이 크다는 것은 한 서브넷에서 이동 노드의 체류 시간이 길다는 것을 의미한다. 이와 같은 상황에서는 등록 처리 비용이 패킷 전송 비용보다 더 작은 비중을 차지할 것이며, 이에 따라 제안한 방식은 큰 효율을 얻을 수 없다. 그

렇기 때문에, 사용자 체류 시간이 약 10^1 까지의 시간을 가질 때, 제안한 방식은 전체 처리 비용에서 이득을 얻을 수 있다.

다음으로, 사용자 체류시간이 (30)과 같은 정규 분포를 따른다고 가정한다.

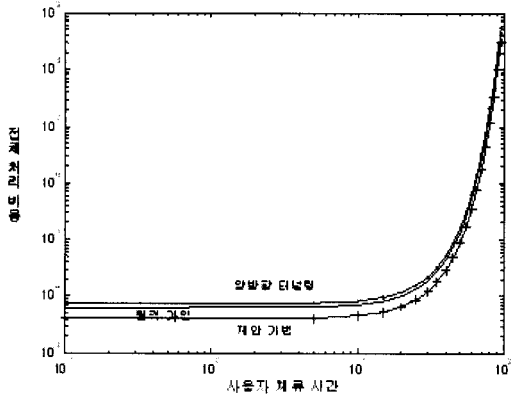
$$f_2(T_f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(T_f - \bar{T}_f)^2}{2\sigma^2}}, \quad T_f \geq 0 \quad (30)$$

$$C_{TOT} = \int_0^{\infty} f_2(T_f) C_{(-)TOT}(k_{opt-ours}(\lambda_a, \bar{T}_f), \lambda_a, T_f) dT_f \quad (31)$$

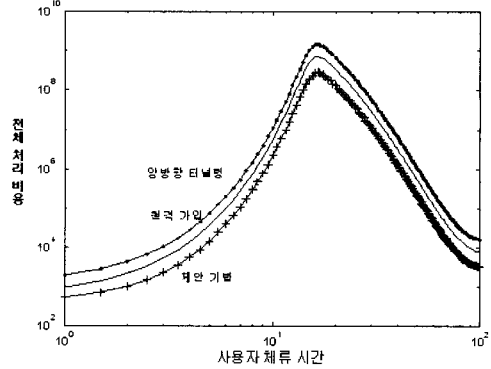
패킷 도착률 λ_a 는 10으로 고정되며 이동 노드의 평균 체류 시간 $\bar{T}_f=10$ 이다. 따라서, 기존 기법과 제안한 기법의 전체 처리 비용은 식 (31)과 같다. (그림 5)는 사용자의 체류 시간이 정규 분포를 따를 때 세 기법의 전체 처리 비용을 비교한 결과이다. 제안 기법은 사용자 체류 시간이 50sec가 될 때까지 원격 가입 방식보다는 13.8%의 전체 처리 비용 절감을 얻을 수 있었으며, 양방향 터널링 방식보다는 평균적으로 21.3%의 비용 절감을 얻을 수 있었다. (그림 5)에서와 같이 긴 체류 시간은 패킷 전송 비용을 높이기 때문에, 사용자 체류 시간이 크면 클수록 제안한 기법은 이득을 얻지 못한다. 하지만, 전반적인 사용자 체류 시간에 제안한 기법은 기존의 기법보다 훨씬 적은 전체 처리 비용을 가짐을 볼 수 있었다.

이번 실험에서는 사용자들의 다양한 이동성을 반영하여 기존의 기법에 비하여 제안한 기법의 성능 향상을 살펴보기로 한다. 패킷 도착률 λ_a 는 고정값이며, $\lambda_a = \bar{\lambda}_a =$ 상수값이 된다. 이동 노드의 이동성을 바탕으로, 본 논문은 이동 노드들을 두 그룹으로 나눈다. 한 그룹은 이동성이 많은 이동 노드의 그룹이며, 각 서브넷에서의 평균 체류 시간은 $\bar{T}_f=1.0$ 이다. 다른 그룹의 이동 노드들은 이동성이 거의 없으며, 각 서브넷에서의 평균 체류 시간은 $\bar{T}_f=100$ 이다. 그룹 1에 속한 노드들의 체류 시간은 식 (32)과 같은 지수 분포를 따른다.

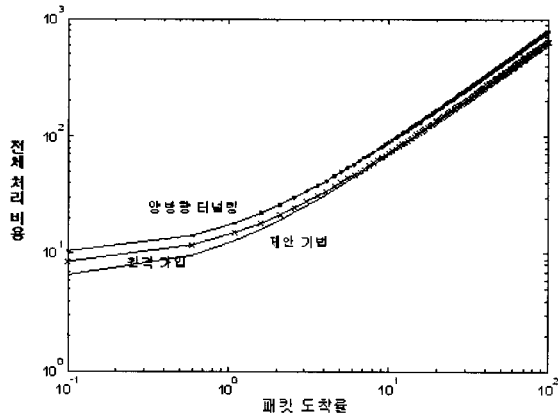
$$f_1(T_f) = \frac{1}{T_f} e^{-T_f/T_f}, \quad T_f \geq 0 \quad (32)$$



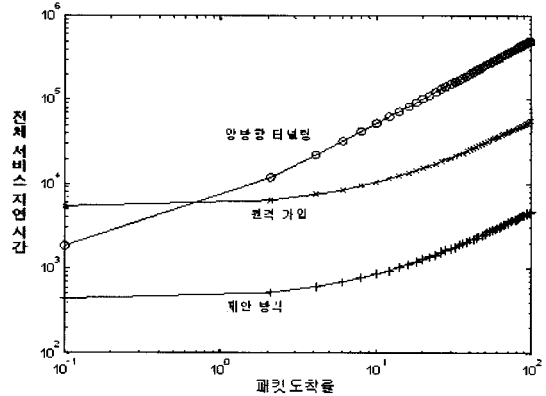
(그림 5) 정규 분포의 사용자 체류 시간에 따른 전체 처리 비용 비교



(그림 6) 다양한 이동성을 가진 사용자 체류 시간에 따른 전체 처리 비용 비교



(그림 7) 패킷 도착률에 따른 전체 처리 비용 비교



(그림 8) 패킷 도달 속도에서 총 서비스 지연의 비교

그림 2에 속한 노드들의 체류 시간은 식 (33)과 같은 정규 분포를 따른다.

$$f_2(T_f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(T_f - \bar{T}_{f2})^2 / 2\sigma^2}, \quad T_f \geq 0 \quad (33)$$

$\sigma=10$ 이며, 각 그룹은 전체 이동 노드의 50%를 포함한다고 가정한다. 임의로 선택된 사용자의 체류 시간 T_f 는 식 (34)와 같은 pdf를 가진다.

$$f(T_f) = 0.5(f_1(T_f) + f_2(T_f)) \quad (34)$$

식 (34)의 pdf를 이용하여 전체 체류 평균 체류 시간을 계산하면, 식 (35)과 같다.

$$\bar{T}_f = 0.5\bar{T}_{f1} + 0.5\bar{T}_{f2} \quad (35)$$

따라서, 전체 처리 비용은 식 (35)와 같다.

$$C_{TOT} = 0.5 \int_0^\infty f_1(T_f) C_{(-)TOT}(k_{opt-ours}(\lambda_a, \bar{T}_f), \lambda_a, T_f) dT + 0.5 \int_0^\infty f_2(T_f) C_{(-)TOT}(k_{opt-ours}(\lambda_a, \bar{T}_f), \lambda_a, T_f) dT \quad (36)$$

다양한 이동성을 가진 사용자 환경에서, 제안한 방식은 대부분의 경우에 기존의 기법 보다 더 낮은 처리 비용을 가진다. 패킷 도착률은 일정하고, 사용자 체류 시간이 길어질 경우, 이때는 등록 비용은 거의 소요되지 않고 처리 비용 대부분을 패킷 처리 비용이 차지하기 때문에, 결과로서 (그림 6)과 같은 결과가 나온다. 전반적으로, 제안한 기법은 원격가입보다 약 11.5% 정도 더 낮은 처리 비용을 가지며, 양방향 터널링 방식보다는 25.7% 정도 더 낮은 전체 처리 비용을 보여주었다.

이번 실험에서는 사용자의 체류시간을 $T_f=1$ 로 고정시켰으며, 패킷 도착률을 변화시켰다. (그림 7)는 1의 평균 체류 시간을 가질 때, 패킷 도착률에 따른 세 기법의 전체 처리 비용을 보여준다. 패킷 도착률이 높을 때, 제안한 기법의 전체 처리 비용은 기존 방식과 거의 같다. 이는 패킷 처리 비용이 등록 비용을 초과했기 때문이다. 하지만, 패킷 도착률이 낮을 때 제안한 기법은 기존의 기법보다 약 13%의 비용 절감을 얻을 수 있다.

평균 패킷 도착률 $\bar{\lambda}=10$ 이라 가정한다. 패킷 도착률은 식 (37)의 정규 분포를 따른다.

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(\lambda - \bar{\lambda})^2 / 2\sigma^2}, \quad \lambda \geq 0 \quad (37)$$

(그림 8)은 정규 분포의 패킷 도착률에 따른 총 서비스

지연 시간을 보여준다.

양방향 터널링에서는 이동 후 멀티캐스트 재가입으로 인한 추가적인 지연이 발생하지 않으며, 단지 홈에이전트에서 유니캐스트 패킷으로 터널링하기 위한 지연 시간만을 가지기 때문에, 패킷 도착률이 낮을 때, 다른 두 기법보다 훨씬 더 효과적이다. 하지만, 패킷 도착률이 증가하면, 한번의 멀티캐스트 재가입 이후에 지연 없이 멀티캐스트 패킷을 전송 받을 수 있기 때문에 (그림 8)처럼 원격 가입 방식과 제안한 방식은 양방향 터널링 방식보다 훨씬 적은 전체 서비스 지연 시간을 가진다. 제안한 기법은 지역성 테이블 내에서 이동 하는 동안 멀티캐스트 재가입으로 인한 지연도 제거하므로, 원격 가입 방식보다 약 17%, 양방향 터널링 보다 약 64% 더 적은 지연 시간을 가짐을 볼 수 있었다.

6. 결 론

IETF 이동 IPv6[11]는 이동 환경에서 멀티캐스트를 제공하기 위해, 원격 가입과 양방향 터널링의 두 가지 방안을 제시하고 있다. 원격 가입 방식은 항상 최적의 경로를 제공하나 멀티캐스트 가입으로 인한 지연을 가진다. 양방향 터널링 방식은 이동 에이전트에 투명성을 제공하나, 최적의 경로를 가지지 않는다. 본 논문은 기본적으로 라우팅 효율의 측면에서 원격 가입 방식을 채택한다. 또한, 멀티캐스트 그룹에 가입하는 전체 횟수를 줄이기 위해 이동 노드의 반복적인 이동 성향을 이용한다. 이동 노드의 이동 패턴을 이용하여 지역성 범위를 정의한다. 외부 네트워크는 지역성 범위에 속하는 동안 멀티캐스트 트리를 계속 유지하게 된다. 이와 같은 방식으로, 이동 노드는 후에 지역성 범위에 속하는 외부 네트워크로 돌아왔을 때, 지연 없이 멀티캐스트 서비스를 받을 수 있다. 본 논문은 비용 분석을 위해 이산 분석 모델을 이용하여 전체 처리 시간과 서비스 지연 시간을 기반으로 제안한 방식과 기존의 방식을 비교하였다. 분석 결과는 제안한 방식이 전체 처리 시간과 서비스 지연시간을 현격히 줄일 수 있음을 증명하였다.

참 고 문 헌

[1] C. Perkins, "IP Mobility support," *Internet RFC 2002*, Oct., 1996.
 [2] G. Xylomenos and G. Polyzos, "IP Multicast for Mobile Hosts," *IEEE Communications Magazine*, Jan., 1997.
 [3] R. Vida, L. Costa, "Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6", *Internet Draft*, 2002
 [4] Fenner, W., "Internet group management protocol, Version 2," *RFC 2236*.
 [5] G. Cho, L.F. Marshall, An efficient location and routing scheme for mobile computing environment, *IEEE J. Select. Areas Commun.* 13 (5) (1995) 868-879.
 [6] R. Jain, et al., A caching strategy to reduce network impacts of PCS, *IEEE J. Select. Areas Commun.* 12 (8) (1994)

1434-1444.

[7] V. Chikamane and C. L. Williamson, "Multicast Support for Mobile Host using Mobile IP: Design Issues and Proposed Architecture," *ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications*, pp.365-379, 1998.
 [8] S. Deering, "Host Extensions for IP Multicasting," *Internet RFC 1112*, Aug, 1989.
 [9] Kuang-Hwei Chi, Chien Tseng and Ting-Lu Huang, "A framework for Mobile Multicast using Dynamic Route Reconstructions," *the computer journal*, Vol.42, No.6, 1999.
 [10] Hesham Soliman, Claude Catelluccia, Karm El Malki, "Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)," *Internet Draft*, 2004.
 [11] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", *RFC 3775*.
 [12] Sun Limin, Liao Yong, Zheng Jianping, "An efficient multicast protocol in Mobile IPv6 Networks", *WCNC 2004*
 [13] H. Xie, S. Tabbane, and D.J.Goodman, "Dynamic location area management and performance analysis," *Proc 43rd IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 536-539, 1993.
 [14] W.R. Stevens, *TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols*, Addison Wesley Longman, Inc., 1994
 [15] B. Lampson, V. Srinivasan, and G. Varghese, "IP lookups using multiway and multicolumn search," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.7, June, 1999.

성 수 련

e-mail : ssl@cherry.ssu.ac.kr

2000년 숭실대학교 컴퓨터학부(학사)

2002년 숭실대학교 컴퓨터학부(석사)

2002년~현재 숭실대학교 컴퓨터학부

박사과정

관심분야 : 멀티캐스팅, 애드혹, 이동컴퓨팅 등



김 기 영

e-mail : ganet89@seoil.ac.kr

2003년 숭실대학교 컴퓨터학부(박사)

2003년~현재 서일대학교 전임강사

관심분야 : 실시간 통신, 멀티캐스팅, 이동 컴퓨팅, QoS, DRM 등



신 용 태

e-mail : shin@comp.ssu.ac.kr

1985년 한양대학교 산업공학과(학사)

1990년 Univ. of Iowa 전산학과(석사)

1994년 Univ. of Iowa 전산학과(박사)

1994년~1995년 Michigan State Univ.

전산학과 객원교수

1995년~현재 숭실대학교 컴퓨터학부

부교수



관심분야 : 멀티캐스팅, 실시간 통신, 이동통신, DRM 등