

무선 호스트 에이전트 기반 IP 멀티캐스트 그룹 관리 기법

정회원 이 지 훈*, 준회원 서 준 호*, 정회원 권 태 경*, 종신회원 최 양 희*

Wireless Host Agent (WHA)-based IP Multicast Group Management Scheme

Ji Hoon Lee* *Regular Member*, Junho Suh* *Associate Member*,
Ted "Taekyoung" Kwon* *Regular Member*, Yanghee Choi* *Lifelong Member*

요 약

다양한 무선 네트워크상에서 멀티미디어 멀티캐스트 서비스에 대한 기대가 날로 높아지고 있는데, 이는 IP 멀티캐스트 그룹 관리가 무선 환경에서도 효과적이면서 효율적으로 동작하여야 함을 가정하고 있다. 하지만, IGMPv3/MLDv2는 무선상에서 신뢰성이 없는 시그널링, 느린 상태의 전환, 낮은 주파수당 전송 효율, Bulk Report, Dormant 모드를 방해하는 등의 문제가 있어 무선 환경에서 그대로 사용하기에 비효율적이다. 본 논문에서는 무선 호스트 에이전트(Wireless Host Agent; WHA)를 도입하여 무선 링크 사이에서의 시그널링을 줄이고 그룹 관리의 효율성과 신뢰성을 높이는 기법을 소개한다. 또한 시그널링 비용 모델을 제시하고, 그 성능을 비교하였다.

Key Words : IP Multicast, Group Management, Wireless Networks, IGMP, MLD

ABSTRACT

Although it is raising expectation of multimedia multicast services in various wireless networks, it requires an efficient IP multicast group membership management in wireless environment. However, the existing IGMPv3/MLDv2 protocols are too heavy; they are not suitable for wireless environment. Moreover they suffer from a number of problems, such as unreliable signaling, slow state transition, low spectral efficiency, bulk report, and interrupting dormant receivers. In this paper, we propose a wireless host agent (WHA)-based IP multicast group management scheme that requires a reduced number of signaling, which also solves such problems effectively. We develop an analytic model to quantify costs of bandwidth usage and signaling overhead, and perform comparison and analysis of the proposed scheme.

I. 서 론

데이터를 하나의 호스트에게 전송하는 유니캐스트나 모든 호스트들에게 전송하는 브로드캐스트와 달리, 멀티캐스트는 해당 데이터를 수신하겠다는 의

도를 표명한 특정 다수에게 데이터를 전달하는 방법이다. 멀티캐스트에서는 복수의 수신자들이 있다고 하더라도 멀티캐스트 소스는 한번만 전송하고, 이것이 서로 다른 링크로 분배될 필요가 있을 때만 복사가 일어나기 때문에, 대역폭을 효율적으로 사용

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업[2007-F-038-03, 미래 인터넷 핵심기술 연구]과 기초기술연구회의 NAP과제 지원으로 수행되었으며, 서울대학교 컴퓨터연구소로부터 연구 장비와 공간을 지원 받아 수행되었습니다.

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

논문번호 : KICS2009-07-294, 접수일자 : 2009년 7월 16일, 최종논문접수일자 : 2009년 9월 17일

할 수 있는 장점이 있다. 이는 무선랜 (WLAN), 와이맥스 (WiMAX), 3G 네트워크 등의 등장과 더불어, 이러한 다양한 무선 네트워크 상에서 멀티미디어 멀티캐스트 서비스에 대한 기대를 날로 높이고 있다^{[1],[2]}.

멀티캐스트 세션이 만들어지기 위해서는, 해당 멀티캐스트 데이터에 대하여 관심을 보이는 수신자들로 구성된 그룹이 필요하다. 하나의 멀티캐스트 그룹은 하나의 멀티캐스트 그룹 주소를 가진다. 멀티캐스트 소스 입장에서는 해당 그룹 주소로 데이터를 전송할 뿐, 누가 실제 수신자인지 여부를 먼저 알고 있지 못하며, 알 필요도 없다. 멀티캐스트 수신자 입장에서는 반드시 해당 그룹에 참여 의사를 표시(Join)해야 한다. 멀티캐스트 라우터(Multicast Router; MR)는 IPv4를 위해 Internet Group Management Protocol Version 3 (IGMPv3)^[3] 혹은 IPv6를 위해 Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2)^[4]를 사용하여 주기적으로 Membership Query 메시지를 보낸다. 멀티캐스트를 수신하기 원하는 호스트는 이것에 Membership Report 메시지로 응답한다. 멀티캐스트 라우터는 주기적으로 이러한 Report 메시지를 수집하고 관리하며, 다시 Join 메시지를 상위의 라우터에게 전달방식으로 멀티캐스트 분배 트리를 구성할 수 있다.

한편 라스트 마일(last-mile)로서의 다양한 무선 네트워크의 등장은, 앞서 언급한 IGMPv3/MLDv2가 무선 상에서도 효과적이면서 효율적으로 동작하여야 함을 뜻한다. 하지만 불행히도 우리의 관찰에 의하면 IGMPv3/MLDv2는 무선상에서 Membership의 상태를 알아내고 유지하는데 필요한 시그널링이 빈번하고, 이에 따라 무선 자원의 낭비가 심하며, 그럼에도 불구하고 여전히 그 정보를 신뢰하기 어려우며, 가입자의 수에 대해서도 확장성이 떨어지는 등의 큰 단점이 있다 (2.3절에 실험 결과를 포함하고 있다). IGMPv3/MLDv2는 대표적인 ‘soft-state’ 프로토콜로서^[5], 그 설계 철학에는 (1) 어떤 플로우에 대해서 연관된 서비스에 대한 상태 정보가 크게 치명적이지는 않은 경우, (2) 대신, 어떤 중단 노드가 해당 플로우에 연관된 서비스에 대한 상태를 주기적으로 새로 알려주는 것이 적절한 경우, (3) 영구적인 불능은 방지하되, 순간적인 상태 정보의 손실은 감수 할 수 있는 경우와 같은 가정에 기반하고 있다. 링크 어러가 적고 호스트의 이동이 없는 유선 네트워크에서는 이러한 IGMPv3/MLDv2의 깔끔한 동작이 여러 복잡성을 없애며 효과적으로 동

작해 왔으나, 무선 네트워크의 링크 특성과 호스트의 이동성 등으로 인해 더 이상 효율적인 프로토콜이 아닌 것으로 판단된다. 이와같은 동기에서 출발하여 MMGP 프로토콜을 제안한 바 있었으나^[6], 이는 IGMPv3/MLDv2와는 상관없이 셀룰러 네트워크에 초점을 맞추어 완전히 별개로 동작하는 프로토콜로서 임의의 무선 네트워크에 적용할 수 있는 범용 해결책이 아니며, 실제 구현되어 망에 적용하려면 단말기 쪽에도 새로운 프로토콜을 필요로 하기 때문에 실제 구현되어 망에 적용되기가 어려울 것으로 생각된다.

본 논문에서는 기존의 IGMPv3/MLDv2의 IP 그룹 관리 기법을 그대로 유지하면서 (즉, 멀티캐스트 라우터와 호스트의 IGMPv3/MLDv2에는 아무런 수정 없이) 무선 네트워크에서 대역폭을 효율적으로 사용하고, 확장성도 크며, 신뢰성 또한 높일 수 있는 그룹 관리 기법을 제시한다. 먼저 II장에서는 무선 네트워크에서 IGMPv3/MLDv2 동작을 보이고 이에 따르는 문제들을 제기한다. III장에서는 제안한 기법과 각 상태의 동작 및 알고리즘을 소개하고, IV장에서 시그널링 비용 모델을 제시하고 성능을 평가하였다. 끝으로 V장에서 본 논문의 결론을 기술한다.

II. 무선 네트워크에서의 IGMP와 MLD

2.1 IGMPv3와 MLDv2의 동작

MLDv2는 IPv6를 위한 IGMPv3 프로토콜 (RFC 3376) 이기 때문에 IGMPv3와 동작 과정이 유사하다. 따라서 IGMPv3를 위주로 MLDv2와 함께 기술한다.

그림 1은 IGMPv3/MLDv2의 Join/Query/Leave 메시지 교환 과정을 보여준다. 멀티캐스트 라우터는 IGMPv3 혹은 MLDv2가 동작하는 순간부터 미리 정해진 Query Interval 마다 주기적으로 자신의 네트워크 인터페이스로 General Query를 전송한다. General Query는 한 물리적 네트워크에 존재하는 모든 호스트들이 수신해야 함으로 멀티캐스트 그룹 주소인 224.0.0.1 (또는 FF02::1)을 사용한다.

그림 1(a)에서와 같이 General Query를 수신한 호스트는 각각의 자신이 속한 멀티캐스트 그룹에 대해 (0, Max Response Time] 사이에서 무작위로 타이머를 설정하고 이것이 만료될 때 Membership Report를 전송한다. 특정한 그룹을 지정해서 물어보는 Group-Specific Query의 경우도 이와 동일한 과

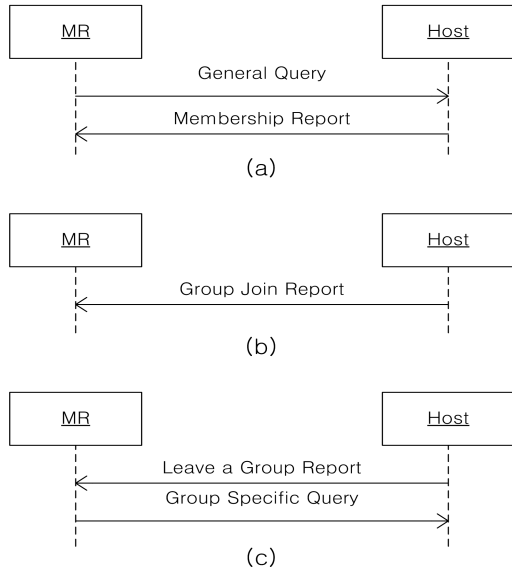


그림 1. IGMP/MLD 동작 과정: (a) Membership Query/Report 과정; (b) Join 과정; (c) Leave 과정

정을 거친다 (만약 타이머가 작동되는 동안 General Query 또는 Group-Specific Query를 수신하는 경우 타이머를 (0, Max Response Time] 사이에서 무작위로 재설정 한다.). 이전 버전과는 달리, IGMPv3/MLDv2에서는 Report 메시지에 대한 Suppression Mechanism¹⁾이 사라져 Query를 수신한 모든 호스트들은 Membership Report를 전송해야 함에 유의해야 한다.

MR이 Membership Report를 수신하게 되면, 해당 네트워크 인터페이스의 멀티캐스트 그룹 목록에 Report가 포함하고 있는 멀티캐스트 그룹을 추가하고 Group Membership Interval 타이머를 설정한다. 이미 해당 그룹의 목록이 있으면, 타이머만 재설정하면 된다. 만약 이 타이머가 만료되기 전에 Membership Report가 새롭게 수신되지 않는다면, 라우터는 멀티캐스트 그룹에 멤버가 없다고 가정하고 더 이상 해당 그룹의 멀티캐스트 데이터를 전송하지 않는다.

호스트가 특정 멀티캐스트 그룹에 참가(Join)를 원하는 경우 (그림 1(b)), 즉시 Group Join Report (Unsolicited Membership Report)를 보낼 수 있다. 이와 같이 상태가 변하는 경우에, 신뢰성이 없는 IGMP/MLD 시그널링을 보완하기 위해 Unsolicited

Report Interval 이후에 추가로 재전송한다. 이때 총 재전송을 얼마나 할지는 Robustness Variable (RV)에 의해 결정이 된다.

호스트가 멀티캐스트 그룹으로부터 떠날 경우 (Leave) (그림 1(c)), 만약 호스트가 자신이 속한 멀티캐스트 그룹에서 마지막 호스트라고 판단되거나 혹은 그 여부를 알 수 없으면, 반드시 Leave Group Report를 224.0.0.22 (또는 FF02::16) 주소로 전송해야 한다. Leave Group Report를 수신한 MR은 해당 그룹을 명시하여 Group-Specific Query를 전송하고, 이 기간 동안 해당 그룹에 대한 Report를 받지 못하면, 더 이상 호스트가 없다고 판단하고, 멀티캐스트 데이터 전송을 중단한다.

2.2 시그널링 비용 모델

호스트들과 MR 사이에서 그룹에 대한 state가 올바르게 유지되기 위해서는 Report 메시지의 유실 가능성만큼 재전송을 해야 하는데, 이 횟수를 정하는 값이 Robustness Variable (RV)이다. 따라서 호스트는 Join이나 Leave와 같이 상태가 변하는 Report에 대해 (RV-1)회의 (재)전송을 한다. 이후 호스트가 General Query를 수신하면 Membership Report를 전송하는데, 이 시점에서 특별한 그룹 상태 변화가 없으면 추가적인 재전송은 하지 않는다. 만약 상태가 바뀐 경우에는 역시 (RV-1)번 만큼의 재전송이 있어야 한다. 한편 Leave Report로 유발되는 Group Specific Query는 먼저 (RV)회 전송되고 Last Member Query Interval 후에 추가로 (RV-1)회 재전송 된다.

표 1에서 정의한 변수에 따라, 한 호스트 입장에서 각 과정별로 시그널링 소모된 대역폭을 표 2에 나타내었다. 표 3에서는 한 그룹에 N개의 호스트를 가정하고, 각 과정에 따른 전체 필요한 시그널링 메시지의 전송 횟수를 세어 비용으로 표시하였다.

표 1. 용어의 표기

변수	정의 (IGMPv3/MLDv2 기본값)
IP	IP 헤더길이 (24/48 bytes)
Q	Query 메시지길이 (12/28 bytes)
R	Report 헤더길이 (8/8 bytes)
G	1 Group Record 길이 (8/20 bytes)
RV	Robustness Variable
N	호스트 수

1) 호스트 A가 Report를 보내기 전에 B에서 동일한 그룹에 대한 Report를 보낸 것을 수신했을 경우, 호스트 A는 자신의 Report 전송을 취소하는 것을 의미한다.

표 2. 한 호스트가 각 동작에 소모한 대역폭 비용

과정	대역폭 비용 (bytes)
Join a group	$(IP+R+G)*[RV-1]$
Leave a group	$(IP+R+G)*[RV]$
Group-specific Query	$(IP+Q)*[2RV-1]+(IP+R+G)$
General Query	$(IP+Q)+(IP+R+G)$

표 3. 한 그룹의 N개 호스트가 각 동작에 필요한 시그널링 (메시지 전송 횟수) 비용

과정	시그널링 비용 (횟수)
Join a group	$[RV-1]*N$
Leave a group	$[RV]*N$
Group-specific Query ²⁾	$[2RV-1]*N+N*(N-1)/2$
General Query	$1+N$

2.3 무선 네트워크 환경에서의 문제점

우리는 IGMP 실험을 위해 무선 테스트베드^[7]상에 IGMP를 설치하고, 상대적으로 무선 링크 상태가 좋은 단말 (수신신호세기: 약 -40dBm)과 링크 상태가 나쁜 단말(약 -80dBm)이 서로 같은 멀티캐스트 그룹에 있도록 하였다. 이 실험에서 Query Interval에 따른 General Query 수신 확률을 측정하여, 표 4에 정리하였다. 여기서 수신 확률이란 일정 시간(실험에서는 125초)안에 1회라도 양쪽 단말에 모두 성공적인 query가 수신되었을 때를 성공이라고 본 것이다. 표 4에 따르면 interval 125초를 이용하면 링크 상태가 좋을 때의 전송확률은 96%이며, 링크 상태가 좋지 않을 때의 전송확률은 70%에 불과하여 수신확률이 훨씬 낮았다. 이것은 Query Interval을 줄여 빈번한 시그널링을 하게 함으로써 극복이 가능하지만(즉, 일정 시간안에 최소한 1회라도 받을 확률이 나아짐), 이는 무선자원을 더 많이 사용하게 된다. 만약 모바일 노드의 수가 증가하게

표 4. Interval과 무선링크 상태에 따른 Query 수신 실험

Interval (sec)	125		65		30	
	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad
링크 상태	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad
평균	96%	70%	100%	90%	100%	100%
표준편차	0.055	0.1	0	0.123	0	0

2) 이 과정은 이미 Join한 N개의 호스트가 하나씩 순차적으로 떠나면서 모든 호스트가 떠날 때까지의 시그널링 전체를 세었다.

되면 프로토콜의 확장성이 떨어지는 문제를 갖게 되어 전체적인 성능이 떨어진다. 따라서 우리는 무선 환경에서 IGMP/MLD의 문제점을 다음과 같이 정리하였다.

신뢰성이 없는 시그널링: IGMP/MLD 프로토콜의 시그널링은 수신에 대한 아무런 Acknowledgement (ACK)가 없기 때문에 상대방의 성공적인 수신 여부를 알 수가 없다. 더군다나 이 메시지 전송이 실제로도 멀티캐스팅이기 때문에 MAC 계층 링크 레이어에서도 ACK을 확인할 수 없다³⁾. 무선 링크는 유선 링크에 비해 패킷 에러나 손실의 확률이 훨씬 크기 때문에, Query나 Report를 비교적 정상적으로 수신하기 위해서는 RV를 더 키우고, 더 자주 반복적으로 Query를 보내야 함을 뜻한다. 이는 결국 더 빈번한 시그널링을 야기한다.

느린 상태의 전환: 무선 네트워크에서는 호스트들이 고정적으로 머문다가 보다는 이곳 저곳을 옮겨 다니거나, 혹은 계속 이동을 하는 경우가 많기 때문에 호스트 입장에서 그룹 상태가 변하지 않았더라도 MR 입장에서는 자신의 네트워크 내의 호스트의 그룹 상태가 수시로 변할 수 있다. 이러한 상태의 변화를 빨리 반영하기 위해서는 더 빈번한 Query를 해야 함을 뜻한다. 이것은 마찬가지로 더 빈번한 시그널링을 야기한다.

낮은 주파수당 전송 효율: 무선 링크 레이어 상에서 멀티캐스트 전송은 해당 네트워크 내의 모든 호스트가 충분히 수신할 수 있도록, 가장 수신 확률이 높은 전송 방법을 택하게 된다. 이것은 각 무선 접근 기술에 따라 구체적인 방법이 나뉘겠지만, 일반적으로 전송 속도를 가장 낮추어 전송한다거나, 가장 낮은 변조와 코딩 (modulation and coding) 방법을 취하게 되고, 상대적으로 많은 무선 자원을 소비한다. 실제 수신할 호스트들의 링크 상태가 매우 좋더라도 항상 가장 낮은 속도로 전송하게 되므로, 무선 자원을 효율적으로 사용할 수 없다.

Bulk Report: IGMPv3/MLDv2에서는 Query를 수신한 모든 단말들이 자신이 속한 멀티캐스트 그룹에 대한 상태를 각자 보고한다. 이때 여러 호스트들이 Maximum Query Response Time 동안 동시다발적으로 상향링크 자원을 경쟁적으로 요청할 것이기 때문에, 순간적인 상향 링크 병목 현상이 발생

3) WLAN는 유니캐스트 패킷 전송에 대해 ACK이 존재하며, WiMAX나 3G 네트워크에서는 Automatic Repeat request (ARQ) 또는 Hybrid-ARQ 기능을 통해 ACK이 제공된다^[8].

한다. 네트워크 안의 호스트 수가 많으면 많을수록 호스트간 경쟁은 더 심해지고, 그 병목 문제가 더 심각해진다. 따라서, 각 무선 접속 기술의 상향링크 자원 할당 방법과 대역폭에 따라 무선 네트워크 안에 수용 가능한 호스트들의 숫자가 결정될 확률이 높다. 이것은 그룹 내 수신 호스트 개수에 대한 확장성을 떨어뜨린다.

Dormant 모드를 방해: 무선 네트워크 환경에서는 호스트들이 보통 민감한 전원 관리를 통해 그 수명을 최대한 연장하는데, 이러한 방편으로 송수신을 일시적으로 그만두고 수면 모드(dormant mode)에 들어가는 일이 잦다. 하지만, MR이 Query를 보내면 이것은 수면/비수면 호스트를 가리지 않고 전송될 것이므로, 수면 모드에 들어간 호스트도 깨우게 된다. 결국 그룹 관리 프로토콜의 주기적인 빈번한 Query는 무선 호스트가 수면 모드로 들어가는 것을 계속 방해하게 된다.

III. 무선 호스트 에이전트 기반 IP 멀티캐스트 그룹 관리 기법

본 논문에서는 무선 호스트 에이전트(Wireless Host Agent; WHA)를 도입하여 무선 링크 사이에서의 시그널링을 줄이고 그룹 관리의 효율성과 신뢰성을 높이는 기법을 소개한다. 그림 2와 같이 WHA는 MR과 호스트 사이에 놓인다. 기존의 라우터나 호스트의 IGMP/MLD를 프로토콜 동작을 수정하지 않고 시그널링을 줄이면서, 신뢰성을 높이기 위해 WHA는 무선 기지국에 배치되는 것을 가정한다. 따라서 MR과 WHA 사이는 유선, WHA와 호스트는 무선 링크가 된다.

WHA의 동작 목표는 IGMPv3/MLDv2가 갖는 하나의 그룹 레코드에 대해서 그 수신 호스트들 중에서 하나의 리더(leader)를 선출, 리더의 상태를 추적/관리하는 것이다. 즉, 리더를 제외한 다른 일반 호스트들의 상태는 관리하지 않고자 하는 것이며, 리더의 상태만으로 해당 무선 네트워크내의 멀티캐스트 전송 필요 여부를 판단하게 된다. IGMP/MLD



그림 2. WHA 기반 그룹 관리 네트워크 참조 모델

4) 여기서 dormant 모드는 sleep 모드와 idle 모드를 구분없이 통칭한다.

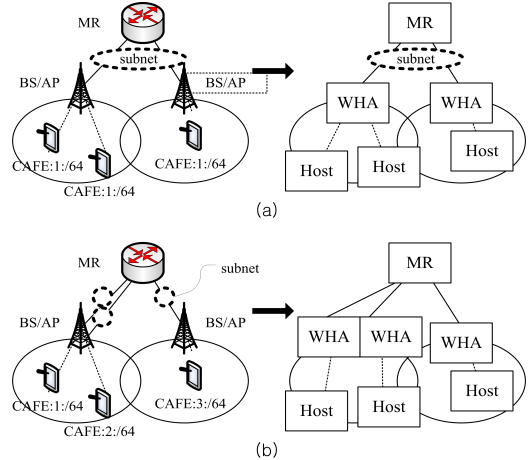


그림 3. WHA 배치 시나리오; (a) Shared Prefix 링크 모델 적용시; (b) Point-to-Point 링크 모델 적용시

같은 그룹 관리 프로토콜들은 궁극적으로 실제 데이터를 전송하는데 관여하는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에게 해당 네트워크에 전송이 필요한지의 여부를 알려주므로, 기존의 멀티캐스트 라우팅 방법은 수정할 필요 없이 그대로 유지된다.

알고리즘 1. 리더 재선출

```
// TXN 가능한 TX rate의 개수
Tx_rate = highest
while Tx_rate ≥ lowest do
    Tx_rate로 Group-Specific Query를 멀티캐스트 전송
    [Maximum Query Response Time / TXN] 만큼 대기
    if a Report arrives then break
    else Tx_rate를 한단계 낮춤
end if
end while
```

3.1 WHA의 동작: 리더의 선출

최초에 WHA는 아무런 정보 없이 시작을 하지만, (1) 호스트 A로부터 최초의 Join을 받으면 해당 멀티캐스트 그룹 레코드에 대해 A를 그룹 리더로 지정하거나, 혹은 (2) MR로부터 첫 번째 Group-Specific Query가 도착하게 되면, 알고리즘 1을 실행하여 수신한 첫 번째 Report로부터 리더를 선출한다. 이 과정은 먼저 해당 무선 접근 기술에서 가장 효율적인 전송 프로파일 (가장 높은 rate)을 선택하여 전송해 보고, 응답이 없으면 프로파일을 낮추어 전송하는 것으로, 비교적 채널 상태가 우수한 호스트가 리더가 될 수 있도록 한다(그림 4(b)). 이때 수신한 Report 메시지는 반드시 MR로 그대로

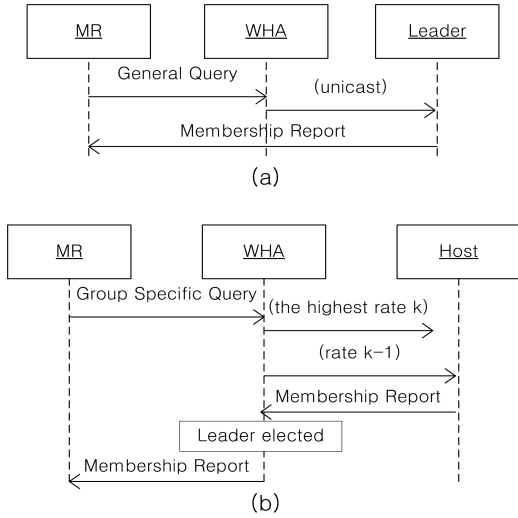


그림 4. WHA의 Query 수신 시 동작: (a) General Query; (b) Group-specific Query

전달해서 MR이 올바른 상태를 유지할 수 있도록 한다.

3.2 WHA의 동작: MR로부터 Query 수신 시

리더가 존재하지 않으면, WHA는 아무런 추가적인 동작 없이 그대로 이를 무선 링크상으로 전달한다. 하지만 리더가 존재하면, 그림 4(a)와 같이 Query의 목적지 멀티캐스트 주소를 리더의 유니캐스트 주소로 바꾸어 리더에게만 전송한다. 이 과정을 통해 다음과 같은 문제를 해결하거나 상당부분 경감시킨다.

신뢰성이 없는 시그널링 문제: 앞서 밝혔듯이 유니캐스트 전송이 멀티캐스트 전송에 비하여 무선 링크 레이어 재전송 등으로 전송 성공 확률이 높다.

느린 상태의 전환: 리더 외의 호스트 상태 변화에 따라 영향받지 않으며, 전체적인 시그널링 부하 저하로 인해 리더에 대해서는 더 자주 유니캐스트 Query를 보낼 수 있는 여지가 생긴다.

낮은 주파수당 전송 효율 문제: 알고리즘 1을 통해 비교적 채널 상태가 좋은 호스트가 리더가 될 확률이 높아지고, 또 리더의 채널 상태에 맞추어 가장 적합한 전송 속도, 혹은 변조/코딩방법 등이 결정되므로, 링크 상태에 적응적인 전송이 가능하다.

Bulk Report: 리더만 응답을 할 것이므로, 재전송을 제외하고는 그룹 레코드당 1개의 Report를 받는다.

Dormant 모드를 방해: 리더 외의 다른 단말은 Query로 인해 더 이상 방해를 받지 않는다.

표 5. 제한한 기법에서 한 그룹의 N개 호스트가 각 동작에 필요한 무선 구간 시그널링 (메시지 전송 횟수) 비용

과정	시그널링 비용 (횟수)
Join a group	$[RV-1]*N$
Leave a group	$[RV]*N$
Group-specific Query	$[TXN]*K+K\bar{N}$
General Query	2

3.3 WHA의 동작: Join/Leave 수신 시

리더가 이미 존재하는 경우에, 상태의 변화를 포함하는 Join/Leave의 수신 시에는 이것이 리더가 보낸 것인지 아닌지에 따라 처리가 달라진다. 먼저 리더가 아닌 호스트가 보낸 Join/Leave 등은 WHA가 무시한다 (호스트 별 Explicit Tracking을 하지 않을 것이라면 MR로 보낼 필요 없이 바로 버린다). 허나 리더가 보낸 Leave는 리더가 떠나는 것을 의미하므로, 해당 그룹 레코드에서 리더를 삭제하고, MR로 전달한다. 추후 MR은 Group Specific Query를 보낼 것이므로, 이때 3.1절에서 설명한 선출 과정 알고리즘이 다시 시작된다. 이를 통해 Group Specific Query의 횟수도 크게 줄일 수 있으며, 리더 외의 호스트의 그룹 상태 변화로부터 영향을 받지 않게 된다.

리더가 존재하지 않는 경우에 Join을 받는 경우는 해당 그룹의 유일한 수신자가 등장하여 보낸 경우에 해당되므로, 3.1절에서 설명한 리더 선출 (1)의 경우에 해당한다. 리더가 존재하지 않는 상태 (단 하나의 수신자도 존재하지 않는 상황)에서 해당 그룹의 Leave를 받는 것은 오류에 해당함으로써, 예외처리가 필요하다.

IV. 성능 평가

WHA 기반 IP 멀티캐스트 그룹 관리에서 필요한 무선 구간 시그널링의 비용을 표 5에 나타내었다. 앞서 표 3과 마찬가지로, N개의 호스트가 있을 때를 가정하고 있으며, TXN은 가능한 전송 프로파일의 개수, \bar{N} 은 Group-Specific Query에 응답한 호스트의 평균 수, K는 N개 호스트중 리더로 선출된 호스트가 망을 먼저 떠난 횟수로서 $1 \leq K \leq N$ 과 같은 범위를 갖는다 (K=1인 경우는, 선정된 리더가 맨 마지막에 망을 떠난 경우가 되고, K=N인 경우는 매번 새로 선정된 리더가 먼저 망을 떠난 경우가 된다). 제안한 기법은 호스트 쪽에서는 아무런 수정을 하지 않으므로, 호스트가 스스로 전송하는

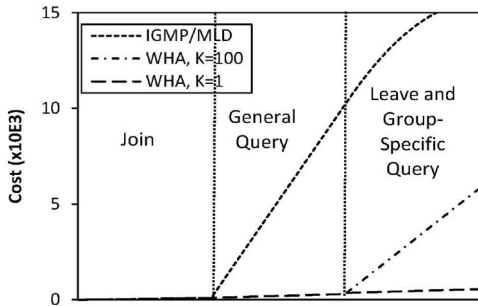


그림 5. Join/Query/Leave 과정에 걸친 누적 비용 비교

Join/Leave 과정에는 영향을 주지 못하지만, Query 과정에 있어 호스트의 개수 N에 의한 영향을 크게 줄인다.

한 호스트가 소비하는 대역폭 측면에서는 리더의 경우 표 2와 거의 유사하나, Group-Specific Query의 경우에만 최대 $[(IP+Q)*TXN + (IP+R+G)]$ 가 된다. 한편 리더가 아닌 경우에는 General Query에 대한 대역폭 소모가 전혀 없다.

그림 5에서는 IGMPv3/MLDv2 메시지의 시그널링(메시지 전송 횟수)과 WHA-기반 기법의 누적 비용을, 표 3과 5의 시그널링 모델에 따라 비교하였다. $N=100$, $RV=2$, $TXN=3$, $\bar{N}=N/2$ 로 가정한 상황에서, 100개의 호스트가 Join 기간 동안 하나씩 참여하고, General Query 기간 동안에 상태 변화 없이 Query와 Report를 수행하며, Leave and Group-Specific Query 기간 동안에는 하나씩 떠나는 시나리오에 해당한다. Join 과정에서는 비용에서 그 차이가 없으나, Query 과정에서 제안한 기법이 훨씬 효율적임을 알 수 있으며, 매번 리더가 바뀌는 경우($K=100$)라고 하더라도 IGMPv3/MLDv2의 시그널링 비용에 비해 현저히 낮은 수준에서 그룹 관리를 효율적으로 수행함을 알 수 있다. 그림 6은 시그널링 모델의 호

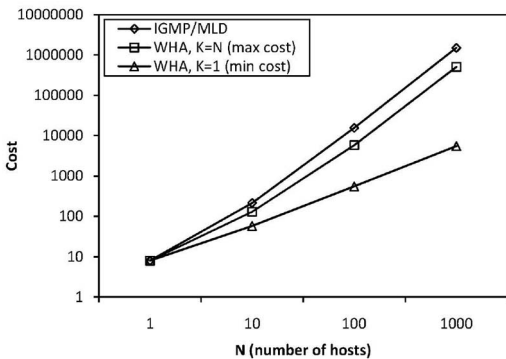


그림 6. 호스트 수에 따른 누적 비용의 증가

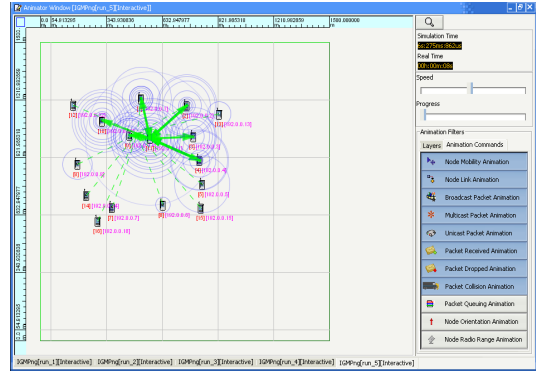


그림 7. WHA의 Mobile WiMAX 시스템 적용시 Qualnet 시물레이션

스트 수 증가에 따른 누적 비용을 나타내었다. 전체적으로 호스트 증가에 따라 비용이 크게 증가하지만, IGMP/MLD에 비해 제안한 기법의 비용 증가 기울기가 훨씬 더 낮음을 알 수 있다.

한편 Qualnet^[10]을 이용한 시물레이션을 통하여 IGMP와 WHA의 비용을 비교하고, 리더 재선출 알고리즘의 효율성을 검증하였다. 먼저 그림 7과 같이 하나의 IEEE 802.16 Mobile WiMAX^[2] 기지국과 15개의 무선 이동 단말을 배치하였다. 각 단말은 속도[0, 120] km/h 구간에서 random way point 모델에 따라 움직이면서, 신호가 일정 세기를 넘어서면(기지국의 커버리지 안에 드는 경우) Join을 하고, 반대로 신호가 낮아지면 Leave를 하도록 하였다. 이때에 IGMP/MLD를 그대로 사용할 경우와, WHA를 사용하면 리더 재선출 알고리즘 1을 적용한 경우, WHA를 사용하면 리더 재선출을 random 하게 한 경우의 세가지 시그널링 비용을 동시에 비교하였다. 이때, 세가지 경우 모두 $RV=2$ 를 사용하였으며, General Query는 30초마다 하고, 시물레이션은 300초 동안 수행하였다.

그림 8은 시물레이션 시간에 따른 멀티캐스트 그

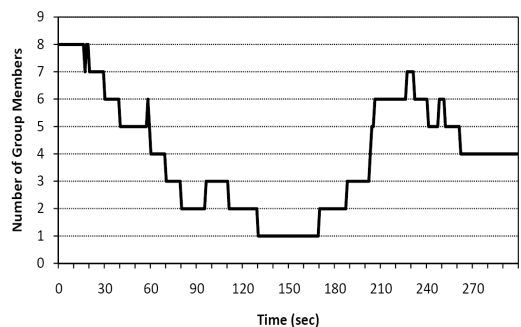


그림 8. 시물레이션 결과: 멀티캐스트 그룹 가입자 수 변화

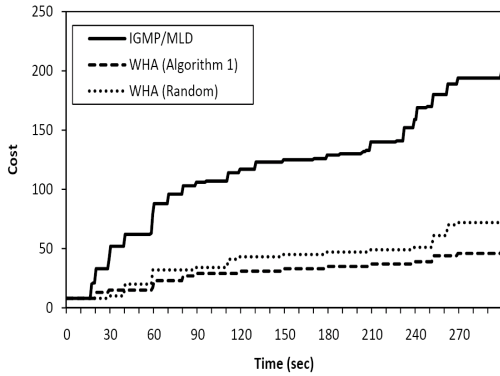


그림 9. 시뮬레이션 결과: 시그널링 비용의 비교

를 가입 단말의 수를 보여주는 것으로, 한 기지국 입장에서 단말들이 멀티캐스트 그룹을 매우 빈번하게 들어오고 나가는 것을 알 수 있다. 이는 단말들의 이동 속도와 기지국의 커버리지에 따라 실제로는 차이가 날 수 있다. 단말들이 그림 8과 같이 Join/Leave를 수행할 때, 세 가지 경우에 따른 각각의 시그널링 결과와 그림 9와 같이 나타났다. IGMP/MLD는 가입자 수 변화에 따라 시그널링 비용이 지속적으로 증가하지만, WHA는 리더만 관리함으로써 민감하게 반응하지 않고, 훨씬 적은 시그널링 비용을 보이는 것을 알 수 있다. 특히 IGMP/MLD는 30, 60, 240초 구간에서 비용이 크게 증가하는데, 이것은 General Query를 할 때, 가입자 수가 많으면, 이에 비례해서 시그널링이 많아지기 때문이다. 한편, 제안한 WHA 리더 재선출 알고리즘을 사용한 경우(Algorithm 1)가 임의로 리더를 재선출 한 경우(Random)에 비해, 재선출 횟수를 줄이고 채널 상태가 좋은 리더 후보자들에게만 시그널링을 하기 때문에, 결과적으로 약 35% 더 적은 시그널링 비용을 보임을 확인하였다.

V. 결 론

다양한 무선 네트워크상에서 멀티미디어 멀티캐스트 서비스에 대한 기대가 날로 높아지고 있다. 이것은 무선상에서도 IP 멀티캐스트 그룹 관리가 효과적이면서 효율적으로 동작하여야 함을 가정하고 있는데, 우리의 관찰에 의하면 IGMPv3/MLDv2는 무선상에서 신뢰성이 없는 시그널링, 느린 상태의 전환, 낮은 주피수당 전송 효율, Bulk Report, Dormant 모드를 방해하는 등의 문제가 있어 무선 환경에서 그대로 사용하기에 비효율적이라 판단된다. 따라서

본 논문에서는 무선 호스트 에이전트(Wireless Host Agent; WHA)를 도입하여 무선 링크 사이에서의 시그널링을 줄이고 그룹 관리의 효율성과 신뢰성을 높이는 기법을 소개하였으며, 비용 모델을 제시하고, 그 성능을 비교하였다. 제안한 기법은 IGMP/MLD의 문제점들을 해소하거나 경감시키면서, 추가로 (1) 기존의 IGMPv3/MLDv2의 IP 그룹 관리 틀을 그대로 유지하였으며(호환되며), (2) 호스트 쪽의 구현은 수정할 필요가 없고, (3) 특정 무선 접근 기술에 종속적이지 않으며, (4) 서로 다른 두 가지 IP 링크 모델에 모두 적용 가능한 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] M. Hauge and O. Kure, "Multicast in 3G Networks: Employment of Existing IP Multicast Protocols in UMTS," in *Proc. 5th ACM International Workshop Wireless Mobile Multimedia*, pp. 96-103, 2002.
- [2] J. She, F. Hou, P.-H. Ho, and L.-L. Xie, "IPTV over WiMAX: Key Success Factors, Challenges, and Solutions," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 8, pp. 87-93, August 2007.
- [3] B. Cain, S. Deering, I. Kouvelas, B. Fenner, and A. Thyagarajan, "Internet Group Management Protocol, Version 3," RFC 3376, October 2002.
- [4] R. Vida and L. Costa, "Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6," RFC 3810, June 2004.
- [5] P. Ji, Z. Ge, J. Kurose, and D. Towsley, "A Comparison of Hard-state and Soft-state Signaling Protocols," in *Proc. SIGCOMM*, pp. 251-262, August 2003.
- [6] H. Ueno, H. Suzuki, and N. Ishikawa, "A Group Management Protocol for Mobile Multicast," in *Proc. 4th International Conference on Networking (ICN'05)*, LNCS 3421, pp. 892-903, 2005.
- [7] H. Jung, J. H. Lee, C. Park, Y. Im, T. Kwon and Y. Choi, "A Femtocell-based Testbed for Evaluating Future Cellular Networks," in *Proc. International Conference on Future Internet Technologies (CFI)*, June 2008.
- [8] D. Kliazovich, T. Beniero, S. Dalsass, F. Serrelli, S. Redana, and F. Granelli, "Cross-layer Error Control Optimization in WiMAX," in

Proc. IEEE GLOBECOM 2008, December 2008.

- [9] S. Madanapalli, "Analysis of IPv6 Link Models for IEEE 802.16 Based Networks," RFC 4968, August 2007.
- [10] <http://www.scalable-networks.com>

이 지 훈 (Ji Hoon Lee) 정회원



2000년 8월 POSTECH 산업공학/컴퓨터공학 학사
 2006년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정
 <관심분야> 멀티미디어 멀티캐스트, 무선 이동 네트워크

서 준 호 (Junho Suh) 준회원



2008년 2월 한국정보통신대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2008년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정
 <관심분야> 3G/4G 네트워크, 네트워크 가상화, VANET

권 태 경 (Ted "Taekyoung" Kwon) 정회원



1993년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 졸업
 1995년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2000년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 박사
 2002년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수
 <관심분야> 센서 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅

최 양 희 (Yanghee Choi) 종신회원



1975년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
 1977년 2월 한국과학기술원 전자공학과 석사
 1984년 2월 프랑스 ENST 전산학 박사
 1991년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수
 <관심분야> 미래 인터넷, 멀티미디어 통신