

논문 2006-43TC-6-2

IP기반 모바일 코어 네트워크에서의 효율적인 멀티캐스트 아키텍처

(An Efficient Multicast Architecture for IP-Based Mobile Core Networks)

김 원 태*, 김 효 은**, 박 용 진**

(Won-Tea Kim, Hyo-Eun Kim, and Yong-Jin Park)

요 약

기존 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들을 IP기반 모바일 코어 네트워크에서 도입하였을 때, 불필요한 소스들로부터의 트래픽 유입과 그룹 제어 메시지 오버헤드 및 대용량의 멀티캐스트 세션 정보로 인한 라우터 효율 저하 등의 문제점들이 있다. 본 논문에서 제안하는 방식은 무상태 멀티캐스트 방식을 기반으로 하기 때문에 각 멀티캐스트 라우터에는 특별히 멀티캐스트 세션을 위한 상태정보를 유지할 필요가 없으며, 멀티캐스트 트리의 상태유지를 위한 불필요한 네트워크 오버헤드를 감소시킬 수 있다. 더불어, IGMPv3와 연동함으로써 수신자들이 가입하지 않은 불필요한 멀티캐스트 소스 트래픽을 제거한다. 기존 인터넷 멀티캐스트 망과의 연동 게이트웨이 노드, 무선망과의 투명성을 위한 게이트웨이 노드 및 모바일 코어 네트워크의 중간 노드 등의 주요 구성 요소 등에 대한 동작을 정의하여 제안하는 통신 아키텍처를 완성한다. 마지막으로 본 논문에서 제안하는 아키텍처의 우수성을 네트워크 모의실험을 통해 검증한다.

Abstract

When the legacy multicast routing protocols are adopted in IP-based mobile core networks, there are some problems such as traffic injection from unnecessary sources, traffic overhead by group management and router performance degradation by large amount of multicast session information. In this paper, we propose a stateless multicast mechanism which has no need to maintain multicast information for session status and reduces redundant network overhead for maintaining multicast tree. In addition interworking with IGMPv3 gets rid of traffic from unnecessary sources which have no registration from receivers. The operations of essential components including a gateway node for interworking with the legacy Internet multicast network, a gateway node for transparency to radio access network and an intermediate node in mobile core networks, are definitely defined and the proposed communication architecture is completed. Finally we evaluate and approve the performance of the proposed architecture by means of well-designed network simulation.

Keywords : mobile, multicast, source filtering, mobile core networks

I. 서 론

이동통신망은 고품질 광대역의 무선망기술을 기반으로 IP 기반망으로 급격히 발전 중에 있다^{[1][2]}. 이동통신

망이 All-IP로 진화하는 것은 많은 이슈들을 시사하는데 특히 IP 네트워크의 가장 큰 장점 중 하나인 멀티캐스팅 서비스가 가능해진다는 점이다. 회선 기반망은 그 근간으로 하였던, 기존의 이동통신망의 경우 원활한 멀티캐스팅 서비스가 어려웠고, 소수의 다중 사용자들을 지원하기 위해서는 별도의 서버를 통해 멀티플렉싱하는 기법 등을 사용하여 서비스를 제공하였다. 이러한 서비스의 경우 당연히 확장성 (Scalability) 문제가 생기고, 근본적으로 점대점 방식을 채택하므로 불필요한 트래픽 오버헤드 및 제어 오버헤드가 발생한다. 반면,

* 정희원, 한국전자통신연구원 임베디드SW연구단
무선인터넷플랫폼팀

(Embedded Software Research Division, ETRI)

** 정희원, 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부

(Dept. of Electronics and Communication, Hanyang univ.)

접수일자: 2006년2월8일, 수정완료일: 2006년6월9일

IP 멀티캐스트 기법을 도입할 경우 확장성 문제 및 회선기반망에서 발생하던 각종 오버헤드를 상당부분 줄일 수 있다^[3].

모바일 멀티캐스트의 킬러 응용으로서는 모바일 VoIP (Voice over IP)와 같은 단위그룹 내의 멤버 수는 적으나 세션의 수가 절대적으로 많은 응용서비스와 하나의 세션 내에 대규모 그룹멤버가 존재하는 IPTV와 같은 방송형 서비스가 대표적이다^[4]. 이러한 응용서비스 도메인에 따라 적합한 멀티캐스트 전송 기법이 다를 수 있다. 또한, 후자의 경우 무선채널구간의 대역폭이 점차 광대역화함에 따라 무선망을 통한 방송망구축이 활발히 연구되어지고 있고 실제 상용서비스화될 계획이 진행되고 있다^{[5][6]}. 이는 통신과 방송이 통합되는 큰 트렌드에 부합하는 기술적 진보이며, 향후 이동통신망 상에서의 방송은 현재 진행되는 DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 서비스와 통합되어 사용자에게 끊어짐 없는 (Seamless) 미디어 서비스를 제공하게 될 것으로 예상된다.

이와 같이 무선 액세스 네트워크의 광대역화에 따라 휴대단말과 응용서비스가 요구하는 데이터 대역폭 역시 급속히 증가하고 있는 상황이며, 모바일 멀티미디어 멀티캐스트 서비스를 효과적으로 지원하고 이동통신망의 무선 액세스 네트워크 구간을 연동하는 코어 네트워크에서의 효과적인 멀티캐스트 지원방안 연구가 필요하다. 또한, 모바일 멀티미디어 멀티캐스트 서비스를 제공함에 있어서 해결해야 할 네트워크 차원에서의 과제들은 앞서 기술한 다양한 서비스 도메인의 멀티미디어 멀티캐스트 서비스를 통합해서 제공할 수 있는 모바일 코어 네트워크에서의 멀티캐스트 기법, 모바일 네트워크에 불필요한 트래픽을 줄일 수 있는 오버헤드 제거 기법 및 기존 인터넷 멀티캐스트와의 연동방안 및 궁극적으로는 언급한 기법들을 종합적으로 고려한 통합 모바일 멀티캐스트 아키텍처의 설계 등이다.

이에 본 논문에서 제 II절에서는 본 논문과 관련된 주요 연구동향을 고찰 후 기존 멀티캐스트 라우팅 프로토콜이 갖는 문제점을 도출한다. 제 III절에서는 본 논문에서 제안하는 SMARTNET (Stateless Multicast Architecture for Mobile Networks)라 명칭한 모바일 코어 네트워크에서의 효과적인 멀티캐스트 아키텍처를 설계한다. IV절에서는 제안한 SMARTNET을 구현하기 위한 주요 컴포넌트들의 구현 알고리즘을 설명한다. V절에서는 기존의 대표적인 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들과 SMARTNET간의 적절한 네트워크 모의실험을

이용한 비교로서 제안하는 방안의 성능평가 및 우수성을 입증한 후 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 인터넷 멀티캐스트와 이동성 연구

1. 기존의 동향

본 절에서는 IETF의 Mobile IP에서 제안하고 있는 이동 중 멀티캐스트 제공방안을 기반으로 기 연구된 내용을 정리한다^[7]. 모바일 멀티캐스트를 지원하는 방안으로는 크게 모바일 노드와 홈에이전트 간에 양방향성 터널을 구성하여 모바일 노드의 이동성과 멀티캐스트를 동시에 제공할 수 있는 MIP-BT (Mobile IP-Bidirectional Tunnelling) 방식들과^[8-11] 원격 네트워크에서 멀티캐스트 가입을 통해 모바일 멀티캐스트를 지원하는 MIP-RS (Mobile IP-Remote Subscription) 방식이 있다. 기존 연구에서 MIP-RS 방식과 MIP-BT 방식들 간의 정량적 비교를 통해 라우팅 효율성면과 패킷 손실율면에서 MIP-RS 방식이 우세함을 입증했다^[12].

한편, MIP-RS 방식은 이동 단말이 원격지에서 멀티캐스트 네트워크에 직접 가입하는 방식이므로 기존 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들 간의 성능 비교 평가에 대한 고찰이 필요하다. 모바일 환경을 고려하지는 않았으나, 기존 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들 특히 최단경로 트리방식과 공유트리방식들에 대한 비교가 기 수행되었고^[13-15], 본 논문에서 메카니즘 측면에서 관심을 가지고 있는 소규모 그룹 멀티캐스트 프로토콜들에 대한 효율성 비교에 대한 상호간 정량적 연구도 수행되었다^{[16][17]}. 그러나 기존 연구는 최단경로방식트리와 공유트리방식 간에 그리고 소규모 그룹 멀티캐스팅 속성을 갖는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 간에만 독립적으로 비교했으며, 이들 모두를 아우르는 비교평가는 발표된 바가 없다. 이 외에도 응용계층에서의 오버레이 멀티캐스트 기법, PIM-SSM과 같은 소스/그룹기반 멀티캐스팅 기법 등 다양한 멀티캐스트 전송방식들이 제안되었다^{[18][19]}.

2. 모바일 멀티캐스트 서비스 제공 시 문제점

모바일 멀티캐스트 서비스를 제공함에 있어서 다음과 같은 문제점들이 심각하게 지적되고 있다^{[20][13]}. 첫째, 허가받지 않은 악의를 가지거나 불필요한 소스들로부터 무선망으로 유입되는 멀티캐스팅 트래픽은 망의 효율성을 급격히 저하시킨다. 둘째, 단말의 이동성으로 인해 발생하는 멀티캐스트 제어 트래픽에 의해 모바일

네트워크에 제어 오버헤드를 가중시키는 문제가 발생할 수 있다. 셋째, 멀티캐스트 세션에 의해 수많은 멀티캐스트 라우팅 상태정보가 모바일 네트워크의 라우터에 생성될 수 있어 컴퓨팅 자원을 크게 점유함으로써 전체적인 성능 상 저하 문제 유발 등을 들 수 있다. 이러한 의도하지 않은 트래픽 폭주 현상은 현재 상용화 준비 중인 WiBro와 같은 공개형 모바일 네트워크에서 충분히 발생할 수 있는 문제일 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 기본 설계 철학을 가지고 문제에 접근할 것이다.

III. SMARTNET 아키텍처

1. 설계시 요구사항 및 가정

기존 모바일 네트워크에서는 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위한 방식이 특별히 제안되고 있지 않다. 만일 IP기반의 모바일 네트워크가 공개되고 동시에 기존 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 그대로 도입하여 적용할 경우 II.3절에서 제기한 문제점들이 발생할 수 있다. 즉, 기존 네트워크에서의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 불필요한 소스로부터의 트래픽으로 인한 트래픽 오버헤드로 네트워크가 폭주할 수 있고, 또한 많은 멀티캐스트 상태 정보의 교환을 위한 네트워크 자원과 멀티캐스트에 참여하는 라우터들의 컴퓨팅 파워 및 메모리 점유로 인한 손실이 존재한다.

따라서, 이를 해결하기 위해서는 다음과 같은 요소 기술들이 모바일 코어 네트워크에서의 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위해 제시되어야 한다.

- 요구사항 1: 모바일 코어네트워크의 효율성을 저하시킬 수 있는 통신 요소의 제거
- 요구사항 2: 소스별 그룹 관리를 할 수 있는 그룹관리 프로토콜과의 연동 방안
- 요구사항 3: 기존 인터넷 멀티캐스트 라우팅 프로토콜과의 연동 방안
- 요구사항 4: 위의 요소들을 통합하는 통신아키텍처 설계

또한, 본 논문에서는 새로운 모바일 멀티캐스트 통신망 설계에 앞서 네트워크의 단순화를 위해 다음과 같은 몇 가지 가정을 세운다.

- 가정 1: 모바일 노드들은 IPv4 기반 노드로서

IGMPv3를 그룹관리 프로토콜로서 사용하고 있으며, 수신모드로만 동작한다.

- 가정 2: RAN (Radio Access Network)의 통신 기반은 중요하지 않으며, 단지 모바일 코어 네트워크와 모바일 노드를 연결하는 기능을 제공한다.
- 가정 3: 인터넷 멀티캐스트 네트워크는 이미 상용화되었거나 일반적으로 멀티캐스트 연구 및 실험을 수행하는데 사용하는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜이다.

2. 네트워크 모델

네트워크 모델에 대해 전제할 것은 본 논문에서는 WLAN과 같은 소규모 네트워크를 제외한 셀룰러망 기반의 전국망 규모의 모바일 통신망을 대상으로 함이다.

본 논문에서 제안하고자 하는 멀티캐스트 통신 아키텍처의 기반 네트워크 모델을 그림 1에 제시한다. 먼저 인터넷은 ISM (Internet Standard Multicast) 도메인을 포함한다. ISM 도메인은 가정 3에서 명시한 바대로, 잘 알려진 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 도메인으로서 사용되는 프로토콜은 상용인 PIM-SM (Protocol Independent Multicast-Sparse Mode)과 연구용인 DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol)가 일반적이다^{[8][15][21]}. 본 논문에서 제안하는 멀티캐스트 아키텍처와 이들 대표적인 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들을 비교할 것이다. 모바일 코어 네트워크는 분산된 RAN들간을 연동하고 인터넷의 ISM 도메인을 통해 전송되는 멀티캐스트 소스 트래픽을 RAN에 접속되어 있는 모바일 노드들에게 전송하는 전송망을 구성하며, 모바일 코어 네트워크에는 본 논

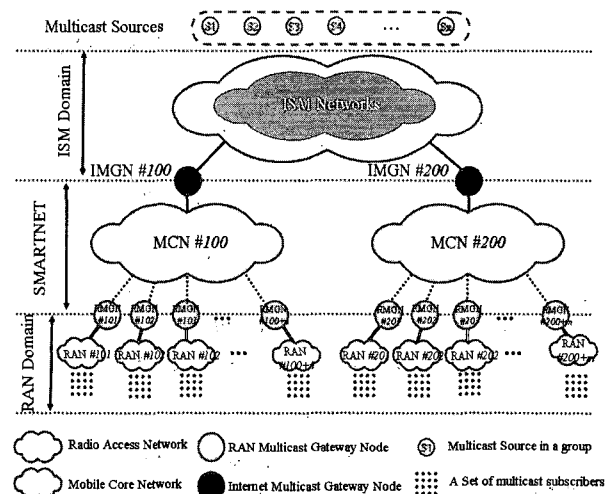


그림 1. 네트워크 모델
Fig. 1. Network model.

문에서 제안하는 SMARTNET 아키텍처가 적용된다. 이때, 망간 연동 게이트웨이 노드로서 ISM 도메인과 모바일 코어 네트워크 사이에는 IMGN (Internet Multicast Gateway Node) 노드가, 모바일 코어 네트워크와 RAN 사이에는 RMGN (RAN Multicast Gateway Node)가 위치하여 SMARTNET 통신 서비스를 제공한다. 각각에 대한 역할은 다음 절에서 상술하도록 한다. 마지막으로 각 RAN에는 모바일 노드들이 속하게 되며, 각 모바일 노드들은 RAN 사이를 이동하며 멀티캐스트 그룹과 특정 소스에 IGMPv3를 통해 가입 혹은 탈퇴하게 된다. 본 논문의 범위에는 고속 멀티캐스트 채널 핸드오버에 대한 연구는 포함되지 않는다.

3. SMARTNET 아키텍처 개요

본 절에서는 SMARTNET의 동작을 명확히 제시할 수 있는 예시를 통해서 SMARTNET 아키텍처를 설명하도록 한다.

그림 2에서 (1) 각 RAN에 속해있는 모바일 노드들이 IGMP 그룹가입 메시지를 해당 RMGN 노드에 전달하면, (2) 모바일 노드들로부터 IGMPv3(G1, Sm) (여기에서 m = 1, 2, 3) 리포트 메시지를 받은 RMGN은 SMARTNET_JOIN(G1, Sm) 메시지를 IMGN 노드에 전송하여 자신이 멀티캐스트 주소 G1을 갖는 멀티캐스트 그룹 중에서 Sm에 가입하고자함을 알린다. 그림 2에서는 RMGN-01과 RMGN-02가 (G1, S1)에 가입하고, RMGN-02와 RMGN-03이 (G1, S2)에 가입함을

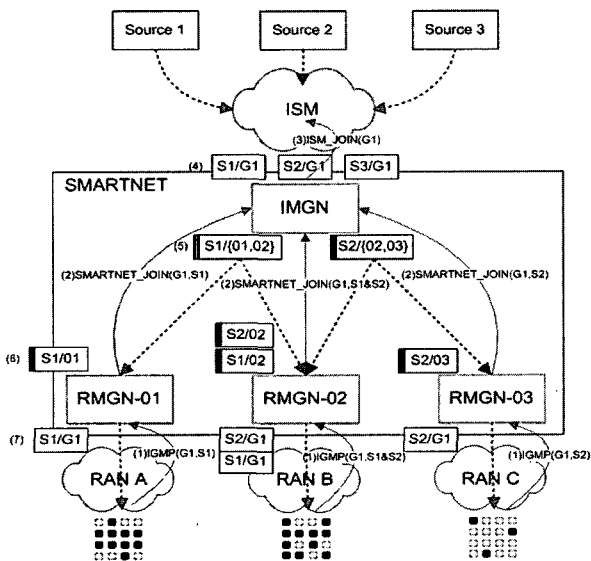


그림 2. SMARTNET 아키텍처 운용 예시
Fig. 2. Example of SMARTNET architecture.

IMGN에 리포팅하고 있다. (3) SMARTNET 내에 있는 RMGN들로부터 SMARTNET_JOIN 메시지를 받은 IMGN 노드는 ISM 도메인의 라우터로 해당 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 그룹 가입 메시지를 전달한다. 예를 들어, ISM 도메인이 DVMRP 프로토콜을 채택하고 있을 경우에는 GRAFT(G1) 메시지를 소스를 향한 상위 멀티캐스트 라우터에게 전달하여 DVMRP 그룹가입을 수행한다. (4) SMARTNET의 경우 그룹과 소스에 대한 명시적인 가입이 가능한데 반해 DVMRP는 소스별 멀티캐스트 상태정보를 생성하지 않으므로 그림2에서 보이는 바와 같이 그룹 G1에 대해 ISM 도메인에서는 S1, S2, S3로부터의 모든 소스 트래픽이 생성된 멀티캐스트 트리를 통해 IMGN으로 전송된다. (5) IMGN은 수신된 G1에 속한 S1, S2, S3로부터의 트래픽 중 그룹 가입이 리포팅된 S1과 S2의 트래픽만을 걸러내어 SMARTNET 도메인으로 패킷을 변조하여 전송한다. 이때 표준 IP 멀티캐스트 패킷의 구조가 SMARTNET 패킷 구조로 변환되는데 이를 M2S (Multicast to SMARTNET) 동작이라고 부른다.

SMARTNET에서 패킷이 복제되고 전송되는 방식은 그림 3에 제시되며, 이때 전달되는 SMARTNET 패킷의 헤더 구조는 그림 4에 도시한다. 그림 3의 R2에 IMGN에 의해 M2S처리된 S2로부터의 패킷이 도착한다고 가정하면, 패킷의 IP헤더가 아닌 SMARTNET 헤더에 기록된 목적지 주소 리스트({100, 200, 300})를 IP 라우팅 테이블을 참조하여 RMGN100과 R3로 각각 복사하여 전송한다. 복제되어 패킷이 각각 전송될 때, 해당사항이 없는 수신주소를 SMARTNET 헤더에서 삭제하는 것이 아니라 비트맵에서 설정값으로서 목적지 주소를 활성화/비활성화를 하여 처리를 단순화한다. (6) 각 RMGN으로 전달되는 패킷의 헤더는 그림 4처럼 XCast 헤더구조 중 일부가 SMARTNET용으로 변형되

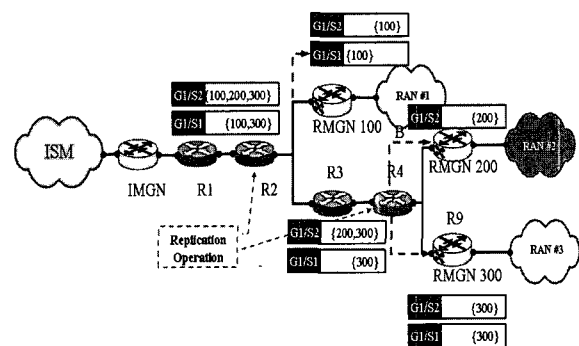


그림 3. SMARTNET 전송 방식
Fig. 3. Transmission method of SMARTNET.

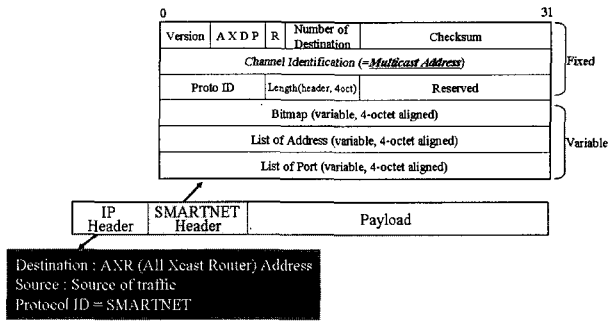


그림 4. SMARTNET 패킷 헤더 구조
Fig. 4. Architecture of SMARTNET packet header.

어 사용된다. 구체적으로는 Channel ID로 사용되는 헤더 필드가 IMGN에서 멀티캐스트 주소 (G1)로 쓰여져 같은 소스로부터 전송된 패킷이라도 Channel ID 필드의 멀티캐스트 주소로서 그룹주소를 구분해낼 수 있도록 한다.

그림 4에서 보이는 바와 같이 SMARTNET 패킷의 IP 헤더의 목적지 주소는 AXR (All-XCast-Router) 주소로서 멀티캐스트 주소를 할당하여 모든 패킷에 대해 공통적이며, AXR 주소는 모든 XCast 라우터가 수신하는 멀티캐스트 주소이다. 따라서, 기존의 XCast 전송방식은 멀티캐스트 그룹간을 구분할 수 없는 구조이나, 본 논문에서 제안하는 SMARTNET의 전송방식은 그룹간을 구분할 수 있어 XCast의 X2U(XCast to Unicast)에 한정된 기능을 본 논문에서 새로이 제안하는 S2M (SMARTNET to Multicast)까지 확장할 수 있도록 지원한다. 결과적으로, XCast 패킷 헤더에 멀티캐스트 주소 정보를 삽입하는 것은 SMARTNET 도메인의 경계 노드(Edge node)인 RMGN이 IP SMARTNET 패킷을 수신하면 멀티캐스트 패킷으로 복원하는 S2M 동작을 가능하도록 한다. 이는 RMGN에서 SMARTNET 패킷으로부터 표준 IP 멀티캐스트 패킷으로 변환함으로써 최종 단말의 응용은 코드의 변경없이 IP 멀티캐스트 패킷을 그대로 받을 수 있는 장점이 생기며, 헤더 구조 자체를 변경한 것이 아니므로 기존 XCast 프로토콜에 대해 호환성을 유지하여 기존 XCast 라우터를 통해 전송될 수 있게 된다.

한편, SMARTNET 전송 방식을 모바일 코어 네트워크에 적용함에 있어서 우려되는 점은 SMARTNET이 XCast 방식을 상속하고 있으므로 XCast의 가장 큰 문제점인 확장성의 한계를 함께 갖고 있다. 앞서 3.2절의 네트워크 모델 설계 시에 셀룰러망구조를 따른다는 전제조건을 설정하였고, 실제적인 CDMA2000망을 비추어

볼 때 모바일 네트워크의 인터넷 게이트웨이 역할을 수행하는 PDSN (Packet Data Service Node)이 10개 미만의 RAN을 제어하는 것이 일반적인 설계 기법이다. 그러나, 기존의 Xcast는 소스에서 수신자까지 종단간 전송하는 방식이기 때문에 수신자의 수에 대해 트래픽 오버헤드가 지속적으로 증가하여 수신자의 수가 많은 멀티캐스트 환경에서는 기존의 멀티캐스트보다 효율이 나빠질 수 있다. 그러나, SMARTNET은 ISM 도메인에서 들어온 IP 멀티캐스트 패킷을 IMGN부터 각 모바일 노드까지가 아닌 RMGN까지만 전송하므로 기존 XCast 전송방식이 최대 35%까지의 패킷 헤더 오버헤드를 가지게 되는 반면 SMARTNET의 경우엔 최대 5% 미만의 패킷 오버헤드를 갖도록 망을 설계할 수 있다. 망설계에 따라서 이보다 낮은 패킷 오버헤드를 갖도록 구성할 수도 있다. 그러므로, 심각한 패킷오버헤드와 컴퓨팅 자원 소모의 문제점으로 지적되어 소규모 멀티캐스트에 적용되는 XCast 트래픽 오버헤드 문제는 대규모 그룹 통신을 지원할 수 있는 SMARTNET에 있어서는 큰 문제가 되지 않는다. 이를 제 V장의 모의실험을 통해 입증하도록 한다.

4. SMARTNET 그룹관리 및 전송 메카니즘

가. SMARTNET 그룹 제어 프로토콜

모바일 노드(MN)는 그룹관리 프로토콜로서 가정 1에서 명시한 바와 같이 IGMPv3를 사용한다. 주지하는 바와 같이, IGMPv3는 그룹과 소스 집합에 대해 명시적으로 관리할 수 있는 기능을 제공한다. 이는 유선 인터넷보다 모바일 환경에서 매우 중요한 기능이다. 불필요

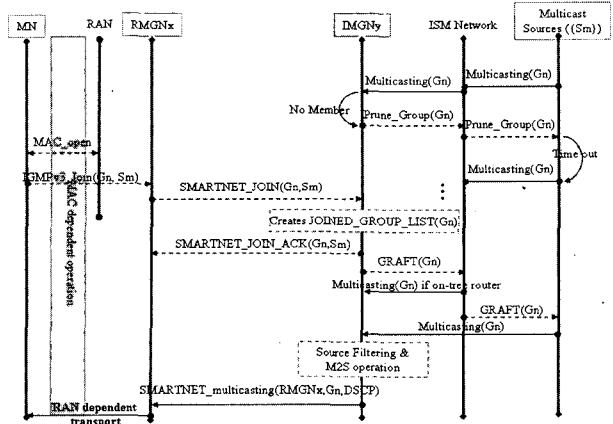


그림 5. SMARTNET 멀티캐스트 그룹 제어 흐름 예시
Fig. 5. Example of SMARTNET multicast group control flow.

한 멀티캐스트 소스로 부터의 트래픽에 대해 무선망의 제어를 통해 고가의 무선자원의 낭비를 줄일 수 있다.

이는 전체 무선 네트워크의 효율성을 크게 제고시킬 수 있을 것으로 사료되나, 망의 적극적인 지원이 없을 경우엔 의미를 상실하게 된다.

SMARTNET에서는 모바일 노드의 IGMPv3 동작에 대해 그림 5에서 도시하는 바와 같이 그룹관리를 수행한다. 예시를 단순화하기 위해 ISM망은 DVMRP를 적용하고 있다고 가정한다. DVMRP의 특성 상 멀티캐스트 소스들은 ISM망에 먼저 멀티캐스트 트래픽을 전송하게 되고 ISM 망을 통해 IMGN까지 멀티캐스트 트래픽이 전달된다.

그러나 현재 IMGN은 해당 멀티캐스트 그룹(Gn)에 대한 수신자가 없으므로 Prune 메시지를 ISM망으로 전달하여 Gn 트래픽을 보내지 말도록 요청한다. 멀티캐스트 트래픽을 모바일 노드가 수신하기 위해서는 먼저 모바일 노드는 무선 채널을 획득해야하고, 이후 IGMPv3의 그룹 가입 메시지를 통해 (Gn, {Sm})에 가입할 것을 RMGN에 알려야 한다. RMGN은 해당 그룹과 소스 집합에 대해 아직 가입된 이력이 없으므로 IMGN에게 SMARTNET_JOIN (Gn, {Sm})을 전송하며, IMGN은 이를 기반으로 그룹관리 DB인 JOINED_GROUP_LIST에 Gn을 위한 엔트리를 생성하고 {Sm}을 Gn을 위한 레코드에 등록한다. 이후 ISM에서 정의한 그룹 가입 메시지를 ISM 망으로 전달한다. 이 경우엔 DVMRP의 GRAFT(Gn) 메시지를 상위 라우터로 전달하여, 멀티캐스트 트래픽이 다시 전달 수 있도록 한다. GRAFT(Gn) 메시지가 중간에 Gn에 대한 트리를 만나게 되면, 더 이상 진행하지 않고 해당 On-Tree 라우터부터 멀티캐스트 트래픽 전송이 진행된다. 그룹과 소스집합에 대한 탈퇴는 이와 동일한 프로세스로 진행된다. 이는 본 논문의 지면관계 상 생략한다.

나. 소스필터링 메카니즘

그림 5에서 IMGN이 Gn 멀티캐스트 트래픽을 수신할 경우, Gn에 속한 모든 소스들로부터의 트래픽 모두를 수신하게 되는데 이는 ISM 프로토콜의 속성에 기인한다. 그러나, IMGN은 멀티캐스트 트래픽을 SMARTNET 트래픽으로 변환하기에 앞서 자신의 그룹 관리 DB인 JOINED_GROUP_LIST를 참조하여 수신한 트래픽 중 등록된 (Gn,{Sm})에 속하는 트래픽만을 필터링하여 SMARTNET 도메인으로 패킷 형태를 변환하여 전송한다. 그림 6에서 전체 트래픽은 앞서 설명한 바대로 G1의

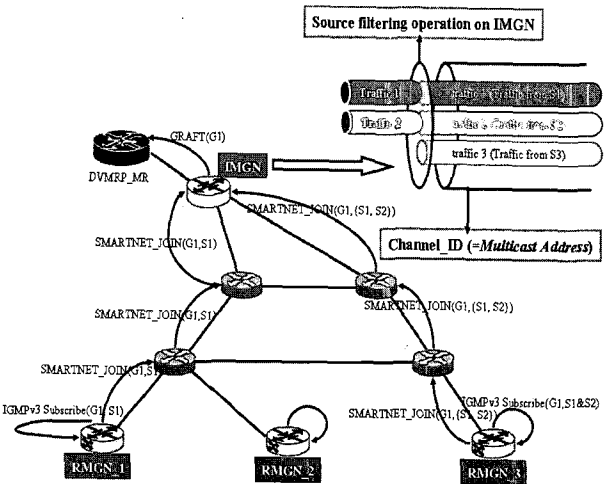


그림 6. SMARTNET 멀티캐스트 소스 필터링 메카니즘
Fig. 6. SMARTNET multicast source filtering mechanism.

전체 소스들 ({S1, S2, S3})로부터 IMGN까지 전달되는데 트래픽 중 SMARTNET 도메인에서 가입하려는 (G1, {S1,S2})를 제외한 S3의 트래픽은 IMGN의 소스 필터링 동작에 의해 걸러지게 된다.

가. SMARTNET 패킷 변환 및 전송 방식

그림 6의 예제에서 전체 트렁크는 Channel ID 필드, 즉 Multicast Address 필드에 의해 구별되는데, 이는 ISM망에서의 IP 멀티캐스트 패킷들이 IMGN을 거치면서 M2S 동작에 의해 SMARTNET 패킷들로 변환되는 과정에서 SMARTNET 패킷 헤더에 삽입된다. 그리고, Multicast Address 필드 정보는 SMARTNET 도메인의 최종 수신자인 RMGN의 S2M 기능에 의해 SMARTNET 패킷들로부터 IP 멀티캐스트 패킷으로

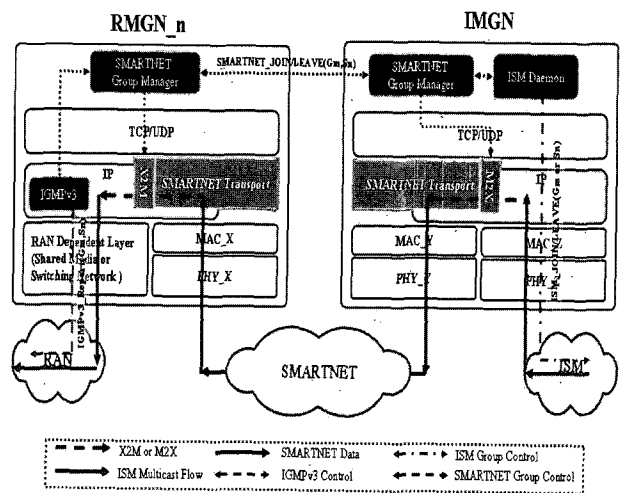


그림 7. SMARTNET 멀티캐스트 전송방식
Fig. 7. Transmission method of SMARTNET multicast.

재전환되는데 사용된다.

이 변환 과정은 매우 단순하기 때문에 전체 컴퓨팅 파워 손실에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 추정한다. 그림 7에서 그룹 관리 제어 흐름과 멀티캐스트 트래픽의 전송 및 변환 과정을 함께 도시한다.

IV. SMARTNET 구현

1. IMGN 구현 알고리즘

기존 멀티캐스트 라우팅 도메인과 SMARTNET이

표 1. IMGN이 SMARTNET 그룹 제어 메시지 (MESG_SMARTNET)를 받았을 때 처리 알고리즘

Table 1. Processing algorithm when IMGN received group control message (MESG_SMARTNET).

```

switch(MESG_SMARTNET) {
case SMARTNET_JOIN:
    extracts group and sources from MESG_SMARTNET;
    if(Gn ∈ JOINED_GROUP_LIST) {
        if(one of {Sm} ∈ JOINED_GROUP_LIST(Gn) break;
        else registers Sm to JOINED_GROUP_LIST(Gn);
        break; }
    else {
        sends ISM_GROUP_JOIN to designated ISM Router;
        waits a response from the ISM Router and runs a timer;
        if(receive ISM_GROUP_JOIN_ACK within timer){
            creates entry for Gn in JOINED_GROUP_LIST;
            registers Sm to JOINED_GROUP_LIST(Gn);
            break; }
        else(the timer expires) do_error_handler();
        break; }
case SMARTNET_LEAVE:
    extracts group and sources from MESG_SMARTNET;
    if(Gn ∈ JOINED_GROUP_LIST) {
        if(one of {Sm} ∈ JOINED_GROUP_LIST(Gn)) {
            deregisters {Sm} from JOINED_GROUP_LIST(Gn);
            if(No sources in JOINED_GROUP_LIST(Gn)) {
                sends ISM_GROUP_LEAVE to designated ISM Router;
                waits a response from the ISM Router and runs a timer;
                if(receive ISM_GROUP_LEAVE_ACK within timer) {
                    deletes the entry for Gn in JOINED_GROUP_LIST;
                    flushes all information related with Gn;
                }
            }
            else(the timer expires) do_error_handler(); }
        }
    else break;
}
else break;
}
    
```

적용된 모바일 코어 네트워크 사이의 게이트웨이 노드로서 ISM망과의 멀티캐스트 그룹관리, 소스 필터링 및 M2S 기능 등을 수행한다. 표 1에 IMGN이 그룹 제어 메시지를 받았을 때의 처리 알고리즘을 제시하였고, 표 2에 멀티캐스트 데이터 패킷을 수신하였을 때 IMGN의 처리 알고리즘을 기술한다.

IMGN이 SMARTNET 그룹 제어 메시지를 수신하였을 때, 먼저 그룹에 대한 가입(SMARTNET_JOIN)인지 탈퇴 (SMARTNET_LEAVE)인지를 구분한다. 표 1의 알고리즘에 대해 간략히 설명하면 다음과 같다. 각 그룹 제어 메시지에 대해 그룹 주소 및 가입 대상인 소스 리스트를 추출하며, 그룹 가입인 경우에는 다음 프로세스에 따라서 알고리즘을 수행한다. (1) 해당 그룹이 이미 등록된 그룹인지 확인 한다. (2) 해당 소스 리스트가 이미 등록된 소스들인지 확인한다. (3) 그룹은 가입되어 있지 JOINED_GROUP_LIST(Gn)에 가입되지 않은 소스들은 해당 엔트리에 해당 소스를 등록시켜 Gn 트래픽 중 해당 소스들을 IMGN이 필터링하지 않도록 한다. (4) 가입되지 않은 그룹인 경우엔 ISM 도메인의 라우터에게 해당 그룹에 가입 요청처리를 완료하고 난 후 JOINED_GROUP_LIST에 그룹 Gn에 대한 엔트리를 생성하고 요청된 모든 소스들을 JOINED_GROUP_LIST(Gn)에 등록시키고 알고리즘을 종료한다.

그룹 탈퇴 메시지를 수신한 경우엔 다음 절차에 따라 알고리즘을 수행한다. (1)탈퇴하고자 하는 Gn이 JOINED_GROUP_LIST에 등록되어 있는지 확인한다. (2) 탈퇴하고자 하는 소스들이 해당 Gn 엔트리에 존재하는지 확인한다. (3) 탈퇴 대상 소스들이 Gn 엔트리에 존재할 경우엔 해당 소스들을 해당 엔트리에서 삭제한다. (4) 삭제 후 해당 Gn 엔트리에 가입되어 있는 소스가 존재하는지 확인하고 가입된 소스가 없을 경우엔 ISM 도메인의 라우터로 그룹 탈퇴 메시지 (ISM_

표 2. IMGN의 IP 멀티캐스트 패킷 처리 알고리즘
Table 2. IP multicast packet processing algorithm of IMGN.

```

if(income_ipmulticast_packet) {
    if (rpf_check_flag) do_rpf_check();
    if (Gn ∈ JOINED_GROUP_LIST & one of {Sm} ∈ JOINED_GROUP_LIST(Gn)) {
        converts income_ipmulticast_packet to smartnet_packet;
        sends the smartnet_packet to smartnet_forward();
    }
    else drop_packet(income_ipmulticast_packet); }
    
```

GROUP_LEAVE)를 전송하고, 소스가 있을 경우엔 그룹 처리 알고리즘을 종료한다. (5) ISM 라우터와 그룹 탈퇴 처리가 완료된 후 JOINED_GROUP_LIST에서 Gn 엔트리를 삭제하고 알고리즘을 종료한다.

표 2에 IMGN이 IP 멀티캐스트 패킷을 ISM으로부터 받았을 때 패킷 처리하는 과정을 기술한다. 'rpf_check_flag'는 DVMRP와 같이 RPF (Reverse Path Forwarding) 방식으로 멀티캐스트 라우팅에 의한 루프 (Loop) 발생을 방지하는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 ISM으로 채택하였을 경우에 IMGN에 설정된다. 'rpf_check_flag'이 설정되어 있을 경우에는 ISM으로부터 들어오는 IP 멀티캐스트 패킷에 대해 RPF 체크를 수행한다 (do_rpf_check()). 그리고, 그룹 관리 DB인 JOINED_GROUP_LIST에 등록되어 있는 (Gn, {Sm})에 대해 멀티캐스트 패킷 전환(M2S)을 수행한 후 SMARTNET 도메인으로 전환된 패킷을 전송한다. 이를 제외한 경우에 대해서는 패킷을 제거하여 패킷

표 3-1. RMGN의 멀티캐스트 그룹제어 처리 알고리즘
Table 3-1. Multicast group control processing algorithm of RMGN.

```
switch(MESG) {
case IGMPv3_JOIN:
  extracts group and sources from MESG;
  if(Gn ∈ IGMP_GROUP_LIST) {
    if(one of {Sm} ∈ IGMP_GROUP_LIST(Gn)) {
      update_timer();
      break;
    }
    else { registers {Sm} to IGMP_GROUP_LIST(Gn);
           registers interfaces for MESG to IGMP_GROUP_LIST(Gn, {Sm}) to replicates multicast packets;
           sends SMARTNET_JOIN(Gn, {Sm}) to IMGN;
           wait for SMARTNET_JOIN_ACK(Gn, {Sm}) for a fixed period ;
           if(timer expires) do_error_handler();
           break; }
  }
  else {
    creates Gn entry in IGMP_GROUP_LIST;
    registers {Sm} to IGMP_GROUP_LIST(Gn);
    registers interfaces for MESG to IGMP_GROUP_LIST(Gn, {Sm}) to replicates multicast packets;
    sends SMARTNET_JOIN(Gn, {Sm}) to IMGN;
    wait for SMARTNET_JOIN_ACK(Gn, {Sm}) for a fixed period ;
    if(timer expires) do_error_handler();
    break;
  }
}
```

필터링을 수행한다.

2. RMGN 구현 알고리즘

SMARTNET 도메인과 RAN 사이의 게이트웨이 노드로서 IMGN과 연동하여 멀티캐스트 그룹관리 및 S2M 기능 등을 수행한다. 앞서 가정1에서 명시한 바대로 RAN의 모바일 노드 중 그룹가입을 원하는 노드들의 멀티캐스트 가입 및 탈퇴를 위해서 IGMPv3을 사용한다. RMGN을 도입함으로써 RAN의 타입과 동작에 대해 투명하게 SMARTNET 아키텍처가 운용될 수 있다. 모바일 노드들의 그룹 가입/탈퇴 동작은 RMGN의 해당 그룹 및 소스에 대한 가입/탈퇴에 영향을 미치게 되어, 특정 RAN에 속한 모바일 노드들 중 소스에 가입하지 않을 경우 RMGN은 해당 소스에 대해 탈퇴하는 동작을 수행하게 된다. 표 3에 멀티캐스트 그룹 제어 메시지를 수신하였을 때의 RMGN의 동작 알고리즘을

표 3-2. RMGN의 멀티캐스트 그룹제어 처리 알고리즘
Table 3-2. Multicast group control processing algorithm of RMGN.

```
case IGMPv3_LEAVE:
  extracts group and sources from MESG;
  if(Gn ∈ IGMP_GROUP_LIST) {
    if(one of Sm ∈ IGMP_GROUP_LIST(Gn)) {
      deletes {Sm} from IGMP_GROUP_LIST(Gn);
      if(No sources in IGMP_GROUP_LIST(Gn)) {
        sends SMARTNET_LEAVE(Gn, *) to IMGN;
        waits a response from IMGN for a fixed period ;
        if(receive SMARTNET_LEAVE_ACK(Gn) within the period) {
          deletes the entry for Gn in IGMP_GROUP_LIST;
          flushes all information related with Gn;
        }
        else(the timer expires) do_error_handler();
      }
    }
    else {
      sends SMARTNET_LEAVE(Gn, {Sn}) to IMGN;
      waits a response from IMGN for a fixed period ;
      if(receive SMARTNET_LEAVE_ACK(Gn, {Sn}) within the period) {
        deletes the entry for {Sn} in IGMP_GROUP_LIST(Gn); }
        else(the timer expires) do_error_handler();
      }
    }
  }
  else break;
}
```


제시하였고, 표 4에 멀티캐스트 트래픽을 수신했을 때의 프로세싱 알고리즘을 기술하였다.

RMGN의 멀티캐스트 그룹 제어 처리 알고리즘은 IGMPv3와의 연동을 고려해야 하므로 IMGN에 비해 다소 복잡하다. 표 3의 RMGN 그룹 제어 처리 알고리즘을 설명하면 다음과 같다. IGMPv3 그룹 리포트 메시지(IGMPv3_JOIN)를 수신했을 때 (1) 그룹 가입 요청 대상인 Gn과 {Sm}에 대해 이미 등록되어 있을 경우엔 해당 타이머를 업데이트하고 알고리즘을 종료한다. (2) 만일 Gn은 존재하되 {Sm} 중 등록되지 않은 소스들에 대해서는 IGMP_GROUP_LIST(Gn)에 등록한다. (3) 이후 SMARTNET_JOIN(Gn, {Sm}) 메시지를 IMGN에 전송하고 ACK 메시지를 일정 시간동안 대기 후 수신하면 알고리즘을 종료하고 수신하지 못할 경우엔 에러 핸들링을 하고 알고리즘을 종료한다. (4) 만일 Gn이 RMGN의 IGMPv3 모듈에 존재하지 않을 경우 IGMP_GROUP_LIST에 Gn 엔트리를 생성하고 {Sm}을 IGMP_GROUP_LIST(Gn)에 저장한다. (5) IGMPv3 그룹 리포트 메시지를 수신한 인터페이스를 라우팅 테이블에 등록한 후 (6) (3)의 절차를 수행한다.

IGMPv3 그룹 탈퇴 메시지(IGMPv3_LEAVE)를 수신했을 때의 알고리즘은 다음과 같다. (1) Gn이 IGMP_GROUP_LIST에 등록되어 있고 동시에 {Sm}에 대해 IGMP_GROUP_LIST(Gn)에 등록되어 있을 경우, {Sm}을 해당 엔트리에서 삭제한다. (2) IGMP_GROUP_LIST(Gn)에 더 이상 소스가 없을 경우엔 IMGN에 SMARTNET_LEAVE(Gn, *) 메시지를 전송하여 Gn에서 탈퇴함을 알린다. (3) 일정 시간동안 SMARTNET_LEAVE_ACK(Gn)를 기다린 후 메시지를 받으면 IGMP_GROUP_LIST에서 Gn을 삭제하고 관련 정보를 모두 제거한다. 정해진 시간동안 메시지를 수신하지 못하면 에러 핸들러를 실행하고 알고리즘을 종료한다. (4) {Sm}을 해당 엔트리에서 삭제한 후에도 멤버가 존재할 경우에는 SMARTNET_LEAVE(Gn, {Sn})을 IMGN에 전송하여 {Sm}에 대해서만 소스 필터링할 것을 요청한다. (5) 이후 일정 시간동안 ACK 메시지를 기다리고 수신할 경우엔 IGMP_GROUP_LIST(Gn) 엔트리에서 {Sm}에 대한 정보를 삭제하고, 그렇지 못할 경우엔 에러 핸들러를 수행하고 알고리즘을 종료한다.

· RMGN이 SMARTNET 멀티캐스트 패킷을 수신했을 때의 처리 절차는 IMGN의 절차에 비해 보다 단순하고 간결하다. RMGN의 패킷 전송 시스템은 그룹 주소만을 보고 S2M 동작을 수행하도록 설계되어 있다. (1) 멀티

표 4. RMGN의 IP 멀티캐스트 패킷 처리 알고리즘
Table 4. IP multicast packet processing algorithm of RMGN.

```

iff(income_smartnet_packet) {
    if (Gn ∈ JOINED_GROUP_LIST) {
        converts income_smartnet_packet to
        ipmulticast_packet;
        sends the ipmulticast_packet to ran_forward();
    }
    else drop_packet(income_smartnet_packet); }
iff(income_ipmulticast_packet) {
    if (rpf_check_flag) do_rpf_check();
    if (Gn ∈ JOINED_GROUP_LIST & one of {Sm} ∈
    JOINED_GROUP_LIST(Gn)) {
        converts income_ipmulticast_packet to smartnet_packet;
        sends the smartnet_packet to smartnet_forward(); }
    else drop_packet(income_ipmulticast_packet);
}
    
```

표 5. SMARTNET 전송 알고리즘
Table 5. Transmission algorithm of SMARTNET.

```

while (TRUE) {
    iff(input_smartnet_packet) {
        performs header checksum for input_smartnet_packet;
        gets next hop interfaces(nhif) from List_of_address
        field;
        for (i = 0; i < number of nhifs; i++){
            duplicates input_smartnet_packet as the number
            of next hop interfaces (nhif);
            performs bitmap handling for the duplicated
            packets;
            processes A-bit;
            updates IP TTL field;
            performs IP header checksum;
            sends duplicated input_smartnet_packet to nhifs; }
    }
}
    
```

캐스트 주소인 Gn이 자신이 관리하는 JOINED_GROUP_LIST에 존재하는지 확인한다. (2) S2M 동작을 수행하여 IP 멀티캐스트 패킷을 복원한다. (3) RAN에 따른 전송처리를 수행한다. 예를 들어, CDMA와 같은 일대일망일 경우엔 모바일 노드에 대해 일대일로 전송하며, IP망일 경우엔 복원한 멀티캐스트 패킷을 멀티캐스팅하게 된다. 이는 RAN의 특성에 기반하므로 본문에서는 ran_forward()로 추상화한다.

3. SMARTNET 패킷 전송 알고리즘

그림 3에서 제시한 SMARTNET의 전송 메커니즘을 기초한 SMARTNET 라우터의 동작 알고리즘을 표 5에

기술한다. SMARTNET 도메인을 구성하는 라우터는 기본적으로 XCast 라우팅 방식과 동일하다.

SMARTNET 라우터가 SMARTNET 패킷을 수신했을 때, (1) input_smartnet_packet의 헤더 체크섬을 수행한다. (2) SMARTNET의 헤더의 목적지 주소 리스트(List_of_address)를 파싱하여 라우팅할 다음 네트워크 인터페이스를 얻게 된다. (3) 다음 네트워크 인터페이스의 수만큼 패킷 복제와 각각의 패킷의 헤더 처리를 반복적으로 수행한다. 반복 시에 먼저 다음 네트워크 인터페이스의 수만큼 input_smartnet_packet을 복제하고 각 복제된 패킷에 대해서 비트맵 및 SMARTNET의 A 비트를 처리한다. (4) SMARTNET 헤더를 감싸는 IP 패킷의 TTL(Time To Live) 갱신 및 IP 헤더 체크섬을 다시 수행하여 갱신한다. (5) 마지막으로 헤더값이 갱신된 복제 input smartnet packet들을 다음 네트워크 인터페이스들(nhifs)로 전송한다.

V. 모의실험 및 분석

1. 모의실험 환경

모의실험을 위한 실험망의 구성을 그림 8에 보인다. 모의실험에 대상이 되는 실험망은 그림 1의 네트워크 모델에 대한 정의를 기반으로 설계하였다. 실험망은 크게 소스 노드 집합과 게이트웨이 기능의 노드들 및 전송망을 구성하는 라우터들로 구성된다. 각 라우터에 적용하는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 따라 망의 특성이 결정된다. SMARTNET의 경우, 네트워크의 루트에 IMGN이 위치하고 각 가지의 끝에는 5개의 RMGN 노드들이 배치된다. 전송망 내부의 라우터로는 모두 5개

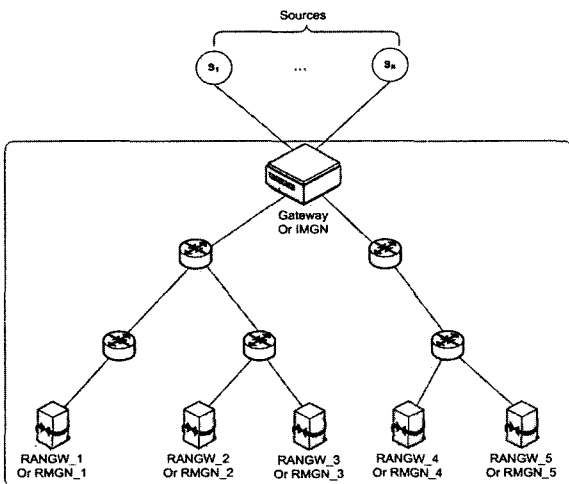


그림 8. 시뮬레이션 네트워크 모델
Fig. 8. Simulation network model.

가 사용되고 IMGN에 연결된 소스들의 수는 변경가능하다. 보다 자세한 모의실험 파라미터는 V.2절에서 제시하도록 한다.

2. 모의실험 방법

본 논문의 모의실험에서 적용하는 파라미터를 표 6에 제시한다. SMARTNET과 비교 평가할 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들은 가정 3과 같이 공유트리방식과 최단거리방식의 대표적인 멀티캐스트 라우팅 프로토콜인 PIM-SM과 DVMRP이다. 본 모의실험을 통해 달성하고자하는 목적은 논문에서 제안하는 SMARTNET이 모바일 코어 네트워크를 위한 설계요구사항 1과 설계요구사항 2를 기존 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 비해 적절히 만족시키고 있는지를 적합한 실험적 방법을 통해서 확인하는 것이므로, 최종적으로 추출할 결과물은 RMGN에서의 총 데이터 수신량, IMGN에서의 총 데이터 송신량 및 모든 노드에서 전송한 트래픽량 등 네트워크의 부하를 추정할 수 있는 항목들이다. 표 6에 본 모의실험을 위한 실험 파라미터들의 설정 항목과 값을 제시한다. PIM-SM의 경우엔 공유트리의 속성만으로 고려하기 위해 트리 스위칭을 수행하지 않도록 설정한다.

모든 노드에서 전송한 트래픽량은 소스로부터 전송된 멀티캐스트 패킷을 코어 네트워크 게이트웨이 즉 IMGN 노드에서 코어 네트워크 내부로 전달하는 과정에서 거치게 되는 모든 중간 노드들 (5개)와 최종 수신

표 6. 모의실험 파라미터
Table 6. Simulation parameter.

	DVMRP	PIM-SM	SMARTNET
멀티캐스트 라우팅프로토콜	DVMRP	PIM-SM	SMARTNET
모의실험 S/W	NS-2 (v.2.27)		
코드 소스	USC/ISI	USC/ISI	HYU, ETRI
소스노드의 수	5, 10, 20		
수신노드	RMGN_n (n = 1, 2, 3, 4, 5)		
소스 송신율	고정비트율 56kbps/128kbps/300kbps		
모의실험 시간	50sec		
그룹 가입/탈퇴 지연시간	가입 유지 시간 : 12s 탈퇴 유지 시간 : 3s		
소스 가입/탈퇴	NA	NA	랜덤 프로세스
중간 노드 관련 파라미터 값	link type : Bi-directional link		
	bandwidth : 5Mb		
	Processing Delay : 2ms		

노드인 RANGW 즉 RMGN 노드까지의 경로 상에서 사용자 멀티캐스트 트래픽의 총 트래픽 부하를 파악하기 위하여 측정한다. 또한, 본 모의실험에서 사용되는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 의해 발생하는 제어 메시지는 그룹 가입/탈퇴에 따른 제어 메시지만을 측정한다. 그러나, 네트워크 오버헤드로서의 제어 메시지의 비율을 평가하기 위해서는 DVMRP의 FAP (Flooding after prune) 효과도 포함시켜야 하나 이를 포함시키지 않은 논문에서는 5% 가량이 오버헤드라고 평가하는 반면 다른 논문에서는 그물형 망에서 Flooding을 포함한 오버헤드가 45% 이상 발생한다고 발표한 바가 있다^[13]. 또한, PIM-SM의 경우에는 대표적인 6개의 제어 패킷들 (Join/Leave, Hello, Bootstrap, Candidate-RP-Advertisement, Register 및 Register-stop)이 있고 특정 시뮬레이션 환경에서 Join/Leave가 전체 메시지들 중 50% 이상 차지한다는 실험 보고가 있으나^[22], 이 역시 특정 실험 환경과 파라미터 설정에 의한 것이므로 모든 경우에 그대로 적용되는 결과는 아니라 판단된다.

따라서, 본 논문의 모의실험에서는 앞서 언급한 바대로 제어 메시지는 그룹 가입/탈퇴만을 제어할 수 있는 메시지에 제한하였고, DVMRP의 네트워크 오버헤드인 FAP 효과는 IMGN의 총전송량과 RMGN의 총 수신량에 포함되어 평가된다. 이를 통해 불필요한 소스 트래픽이 제거됨으로써 SMARTNET이 설계요구사항 1과 설계요구사항 2를 만족시키는지 입증할 것이다.

3. 모의실험 결과

표 6의 동일한 조건 하에서 DVMRP, PIM-SM 및 SMARTNET을 평가한 결과 다음과 같은 실험결과를 도출하였다.

그림 9에서는 모바일 코어 네트워크의 게이트웨이인 IMGN 노드에서 망으로 전송한 총 트래픽량에 대한 비교를 프로토콜 별로 보인다. DVMRP와 PIM-SM의 경우 그룹단위 가입을 하므로 ISM으로부터의 모든 소스 트래픽을 모바일 코어 네트워크로 전송하게 되므로 멀티캐스트 소스의 평균대역폭과 소스에 비례하여 증가하게 된다. DVMRP의 FAP 효과에 의해 급격한 전송량 증가를 경험하게 된다. 특히, DVMRP의 경우에는 트래픽의 대역폭보다는 소스의 개체수가 많을수록 코어 네트워크에 유입되는 불필요한 트래픽의 양이 많아지는 반면, SMARTNET은 유효 총 소스 트래픽의 양에 비례하여 부드럽게 상승함을 알 수 있다.

그림 10에서는 DVMRP의 FAP 효과에 의해 무의미

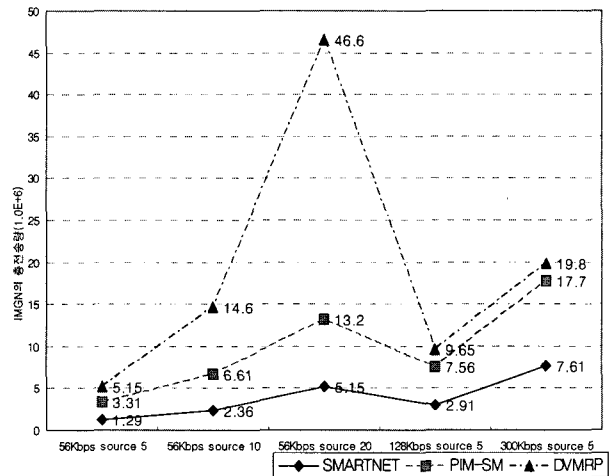


그림 9. IMGN의 총 전송량 비교
Fig. 9. The comparison of IMGN traffic.

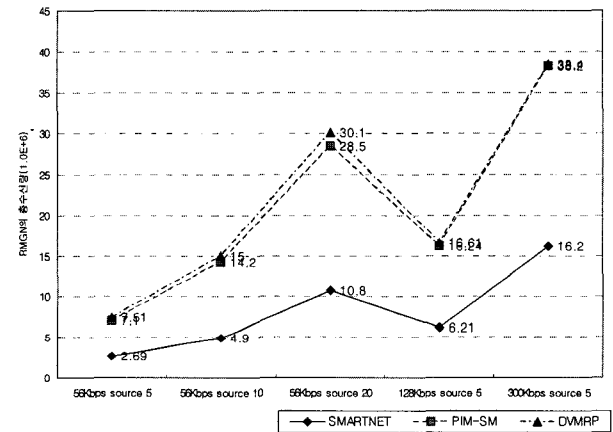


그림 10. RMGN의 유효 총 수신량 비교
Fig. 10. The comparison of effective traffic that every RMGN received.

하게 전송된 트래픽이 RMGN에 이르러 그룹 G에 대해 가입되어 있지 않으므로 제거되어 실제로 트래픽을 수신한 것은 PIM-SM 과 거의 동일하게 된다. 실제로 RMGN이 수신한 유효 수신 트래픽은 그림 9에서 보여주는 IMGN의 송신 트래픽과는 무관할 수 있다는 의미이다. 한편, SMARTNET을 적용한 경우에는 불필요한 소스 트래픽을 코어 네트워크로 유입시키지 않았으며, DVMRP와 같은 Flooding 효과가 없고 지정된 목적지로 유니캐스팅하므로 보다 효과적으로 망을 이용할 수 있다. 소스의 개체수가 많고 대역폭이 넓은 멀티미디어 트래픽일수록 SMARTNET의 효과는 명확히 들어난다. 즉, 멀티미디어 그룹통신형 서비스에 있어서 타 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 비해 SMARTNET이 특별히 강점을 갖게 된다.

그림 11과 그림 12는 각각 총 제어트래픽량은 그룹

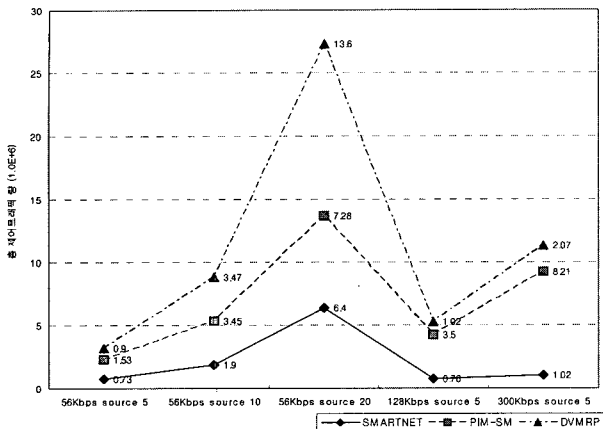


그림 11. 총 제어 트래픽량 비교
Fig. 11. The comparison of every control traffic

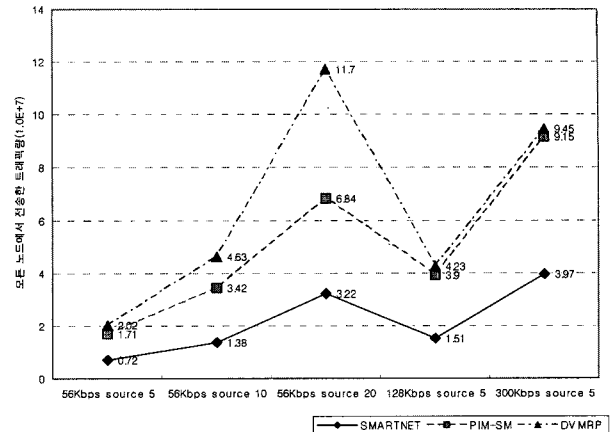


그림 13. 모든 노드에서 전송한 총 트래픽량 비교
Fig. 13. The comparison of traffic that all node transmit.

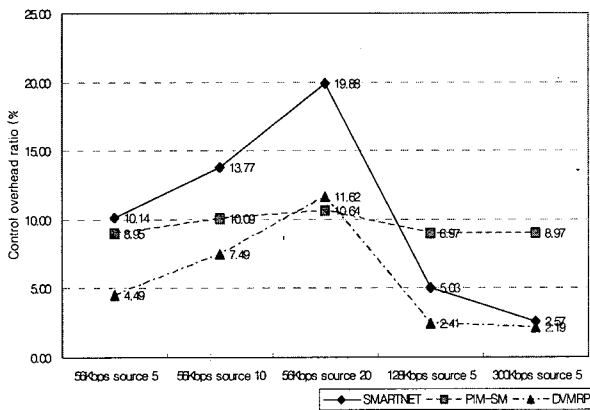


그림 12. 제어 트래픽과 총 전송 트래픽 비율 분석 (%)
Fig. 12. Ratio of control traffic to all transmission traffic (%).

가입과 탈퇴를 위한 그룹 제어 메시지에 대해 측정된 결과와 제어 트래픽 대비 전송된 총 트래픽의 비율을 분석한 결과를 보이고 있다. 앞서 5.2절의 모의실험 방법에서 언급한 바대로 제어 트래픽을 측정함에 있어서 DVMRP의 FAP 효과는 본 실험에서 제외하였다. 총 제어 트래픽의 량의 측면에서는 DVMRP>PIM-SM>SMARTNET의 순으로 그 크기가 결정되었으나, 그림 12에서의 전체 전송 트래픽을 기반으로 제어 트래픽의 량을 측정된 결과로는 코어 네트워크에 불필요한 멀티캐스트 패킷을 제거한 SMARTNET에서의 제어 트래픽의 비율이 가장 높았고, PIM-SM의 비율이 DVMRP의 비율에 비해 높았다.

이는 DVMRP가 종합적으로 네트워크 오버헤드가 가장 크다는 것을 의미하고 있다. 역으로 SMARTNET이 가장 낮은 네트워크 오버헤드를 제공하고 있음을 말한다. 첨언으로서 그림 12에서 제어 트래픽의 비율은 멀티캐스트 서비스의 특성 즉, 멀티캐스트 소스의 트래픽 패

턴과 수신자들의 그룹 가입/탈퇴 패턴에 따라 결정되므로 같은 조건 하에서 비교된 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 간의 상대적인 크기를 살피는 것이 보다 중요하다.

그림 13에서는 모바일 코어 네트워크의 모든 노드에서 전송한 트래픽 량의 총합을 보이고 있다. 이 그래프에서는 제어 트래픽과 멀티캐스트 트래픽이 합산되어 도식화되었으며, 이를 통해 같은 멀티캐스트 효과를 위해서 각 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들이 얼마나 많은 네트워크 자원을 사용하는지를 극명하게 보여주고 있다. 이 결과를 통해 DVMRP가 SMARTNET에 비해 소스의 수와 관련해서는 약 3.6배를 소모하고 있으며 소스의 전송 대역폭에 관련해서는 약 2.5배 이상을 소비하는 것으로 평가되었다. 이와 같이 소스의 수에 비례한 네트워크 대역폭 소모가 커지는 것은 DVMRP의 FAP 효과를 반영한 것으로 소스의 수가 많아질수록 Prune 이후 Flooding이 많이 일어나게 되어 네트워크 오버헤드에 반영된다는 의미이다. 반면, FAP 효과가 없는 PIM-SM의 경우에는 SMARTNET에 비해 소스의 수와 대역폭에 관계없이 2.2배 이상의 자원을 거의 일정하게 소모하는 것으로 평가되었다. 또한, 이는 앞서 III장에서 기술한 SMARTNET이 태생적으로 갖는 패킷 헤더 오버헤드를 충분히 무시할 수 있는 수준의 결과값이다.

VI. 결 론

지금까지의 연구성과를 바탕으로 SMARTNET과 최단경로트리방식 및 공유트리방식과의 비교 평가를 표 7에 요약 정리하였다.

본 논문에서는 IP기반 모바일 코어 네트워크에서 기

표 7. 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 비교 분석

Table 7. The comparison of each multicast routing protocol.

	최단경로트리방식	공유트리방식	SMARTNET
멀티캐스트 라우팅 상태정보 및 복잡도	$O(N_{source} \times N_{group})$	$O(N_{source})$ 혹은 $O(N_{source} \times N_{group})$	상태없 없음
트래픽 오버헤드 요소	•Graft/Prune 메시지 •Prune timeout 이후의 소스 Flooding 효과 •Largest	•제어 메시지에 의한 오버헤드 •Large	•패킷헤더 오버헤드 (5%이하로 제어) •가장 낮음
소요되는 평균 네트워크 대역폭	$Avg_BW(all\ sources) \times \alpha_{spt} + FAP$	$Avg_BW(all\ sources) \times \alpha_{spt}$	$Avg_BW(selected\ sources) \times \alpha_{active_path}$
최대 그룹수	2^{24}	2^{24}	NA
최대 그룹멤버 수	NA	NA	NA
역경로전송 (RPF) 문제	가장 민감함	덜 민감함	정의되지 않음
QoS 제공 메커니즘	RSVP	정의되지 않음	DiffServ
그룹 관리방식	IGMPv2	IGMPv2	IGMPv3
소스 필터링	없음	부분적으로 적용	적용함
트래픽 집중경향	소스별 트리 구성으로 네트워크 토폴로지에 따름	망집중률이 가장 큼	네트워크 토폴로지에 따름
종단간 지연시간	중간수준 (Backward Shortest Path)	가장 큰 종단간 지연시간	최적화 경로 (Forward Shortest Path)
구현의 복잡도	중간	가장 복잡함	간단함
상용 프로토콜	DVMRP, MOSPF, PIM-DM	PIM-SM	없음

① $\alpha_{spt} = Avg(N_{spt_router}) / Avg(N_{total_router})$ ② $\alpha_{spt} = Avg(N_{spt_router}) / Avg(N_{total_router})$
 ③ $\alpha_{active_path} = Avg(N_{on_path_router}) / Avg(N_{total_router})$ ④ FAP : Flooding After Prune Effect

존 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 도입하였을 때 발생하는 불필요한 소스로부터의 트래픽 유입, 그룹 제어 메시지 오버헤드 및 대용량의 멀티캐스트 세션 정보로 인한 라우터 효율 저하 등 기존 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들이 가지는 문제점들을 개선하였다. 제안하는 SMARTNET 방식을 채택한 모바일 코어 네트워크에서는 무상태 멀티캐스트 방식을 기반으로 하므로 각 멀티캐스트 라우터에는 특별히 멀티캐스트 세션을 위한 상태정보를 유지할 필요가 없다. 또한, DVMRP의 FAP와 같은 멀티캐스트 트리의 상태유지를 위한 불필요한 네트워크 오버헤드를 크게 감소시킬 수 있었으며, IGMPv3와 연동함으로써 무선네트워크에 불필요한 멀티캐스트 소스 트래픽의 유입을 원천적으로 제거하여 트래픽 오버헤드를 획기적으로 줄였다. 기존 인터넷 멀티캐스트 망과의 연동 게이트웨이 노드인 IMGN, 무선 망과의 게이트웨이 노드인 RMGN 및 모바일 코어 네트워크의 중간 노드인 SMARTNET 라우터 등의 SMARTNET 주요 구성 요소 시스템들의 동작을 정의하여 전체적인 SMARTNET 아키텍처를 완성하였다. 이로서 설계 요구사항으로 제시한 요구사항 1~요구사항 4를 모두 만족시켰다. 마지막으로 기존의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들에 비해 제안하는 SMARTNET의 우수성을 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] K. Tachikawa, "A perspective on the evolution of mobile communications," IEEE Communications Magazine, Volume 41, Issue 10, pp. 66 - 73, Oct 2003.
- [2] S. Uskela, "Key concepts for evolution toward beyond 3G networks," IEEE Wireless Communications, Volume 10, Issue 1, pp. 43 - 48, Feb. 2003 .
- [3] M. Etoh, T. Yoshimura, "Wireless video applications in 3G and beyond," IEEE Wireless Communications, Volume 12, Issue 4, pp. 66 - 72, Aug. 2005.
- [4] A. Dutta, J. M. Chennikara, Wai Chen, O. Altintas, H. Schulzrinne, "Multicasting streaming media to mobile users," IEEE Communications Magazine, Volume 41, Issue 10, pp. 81 - 89, Oct 2003 .
- [5] A. Boni, E. Launay, T. Mienville, P. Stuckmann, "Multimedia broadcast multicast service - technology overview and service aspects," Fifth IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, pp. 634 - 638, 2004 .
- [6] Jun Wang, R. Sinnarajah, Tao Chen, Yongbin Wei, E. Tiedemann, "Broadcast and multicast services in cdma2000," IEEE Communications Magazine, Volume 42, Issue 2, pp. 76 - 82, Feb 2004 .
- [7] Charles E. Perkins, "Mobile IP," IEEE Communications Magazine, pp.84- 99, May 1997.
- [8] Hrishikesh Gossain, Carlos de Moraes Cordeiro, and Dharma P. Agrawal, "Multicast: Wired to Wireless," IEEE Communications Magazine, pp. 116 - 123, June 2002.
- [9] Vineet Chikarmane, Carey L. Williamson, Richard B. Bunt, Wayne L. Mackrell, "Multicast support Using Mobile IP: Design Issues and Proposed Architectures," ACM/Baltzer J. Mobile Net. App., Vol. 3, No. 4, pp. 365-79, 1998.
- [10] A. Mihailovic, M. Shabeer, and A. H. Aghvami, "Sparse Mode Multicast as Mobility Solution for Internet Campus Networks," Proc. PIMRC'99, Osaka, Japan, Sept. 1999.
- [11] C. L. Tan, and S. Pink, "Mobicast: A Multicast Scheme for Wireless Networks," Mobile Net. App. 5, 4, pp. 259-71, Dec 2000.

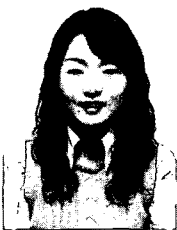
- [12] Jiunn-Ru Lai and Wanjiun Liao, "Mobile Multicast with Routing Optimization for Recipient Mobility," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Volume 47, Issue 1, pp. 199 - 206, Feb. 2001.
- [13] Tom Billhartz, J. Bibb Cain, Ellen Farrey-Goudreau, Doug Fieg, and Stephen Gordon Batsell, "Performance and resource cost comparisons for the CBT and PIM multicast routing protocols," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume 15, Issue 3, pp. 304 - 315, April 1997.
- [14] Seiji Ueno, Toshihiko Kato and Kenji Suzuki, "Analysis of Internet Multicast Traffic Performance Considering Multicast Routing Protocol," Proceedings of International Conference on Network Protocols, pp. 95 - 104, 14-17 Nov. 2000.
- [15] Stephen Deering, Deborah L. Estrin, Dino Farinacci, Van Jacobson, Ching-Gung Liu and Liming Wei, "The PIM Architecture for Wide-Area Multicast Routing," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol 4, No. 2, pp. 153-162, April, 1996.
- [16] Mozafar Bag-Mohammadi, Nasser Yazdani, and Samadian-Barzoki, "On the Efficiency of Explicit Multicast Routing Protocols," Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2005), pp. 679 - 685, 27-30 June 2005.
- [17] Myung-Ki Shin, Yong-Jin Kim, Ki-Shik Park, and Sang-Ha Kim, "Explicit Multicast Extension (Xcast+) for Efficient Multicast Packet Delivery," ETRI Journal, Volume 23, Number 4, pp. 202-204, December 2001.
- [18] L. Lao, J.-H. Cui, M. Gerla, D. Maggiorini, "A comparative study of multicast protocols: top, bottom, or in the middle?," Proceedings of IEEE INFOCOM, vol. 4, pp. 2809 - 2814, 13-17 March 2005.
- [19] Gopaumar Kurup, Y. Ahmet Sekercioğlu and Nallasamy Mani, "Source Specific Multicast (SSM) Group Management Analysis Framework for the Next Generation Mobile Internet," The Proceedings of NGI (Next Generation Internet) 2005, pp.420-425.
- [20] M. Kellil, I. Romdhani, H.-Y. Lach, A. Bouabdallah, H. Bettahar, "Multicast receiver and sender access control and its applicability to mobile IP environments: A survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, pp. 46 - 70, Second Quarter 2005.
- [21] T. Pusateri, "Distance Vector Multicast Routing Protocol," IETF RFC 1075, Aug 1997.
- [22] Dan Li, Jianping Wu, Ke Xu, Yong Cui, Ying Liu and Xiaoping Zhang, "Performance Analysis of Multicast Routing Protocol PIM-SM," Proceedings of AICT/SAPIR/ELETE 2005, pp. 157 - 162, 17-20 July 2005.

 저 자 소 개



김 원 태(정회원)
 1994년 2월 한양대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 1996년 2월 한양대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 2000년 8월 한양대학교
 전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, 통신 아키텍처, 임베디드 시스템>



김 효 은(정회원)
 2005년 2월 홍익대학교 컴퓨터정
 보통신 공학과 학사 졸업.
 2005년 3월~현재 한양대학교
 전자통신컴퓨터공학부
 석사과정

<주관심분야 : 이동통신, 네트워크 컴퓨팅 >



박 용 진(정회원)
 1969년 3월 와세다대학교 전자
 통신공학과 학사 졸업.
 1971년 3월 와세다대학교 전자
 통신공학과 석사 졸업.
 1978년 3월 와세다대학교 전자
 통신공학과 박사 졸업.

1979년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부
 교수

2001년 4월~현재 와세다대학교 대학원
 국제정보통신대학원 강사

2002년 10월~2006.10 한국인터넷협회 이사

2003년 2월~현재 한국첨단망협회
 (국내 연구개발망 추진기관) 이사

2005년 1월~현재 IEEE Asia-Pacific Region
 이사

2005년 2월~현재 IEICE 한국 지부 대표

<주관심분야 : 컴퓨터통신, 이동 데이터 통신>