

논문 2009-46TC-6-4

계층적 메쉬 네트워크의 설계 및 구현

(Hierarchical Mesh Network Design & Implementation)

김 용 혁*, 김 영 한*

(Yonghyuck Kim and Younghan Kim)

요 약

에드혹 네트워크는 통신기반 없이 일반 단말 만으로 자가 구성되며 단말 간 다중 홉 방식으로 패킷을 전송한다. 이러한 에드혹 네트워크는 광범위한 지역에 대한 적용이 어렵다. 이는 인접 단말 간 채널 접근 경쟁 및 단일 인터페이스로 인한 송, 수신 지연, 그리고 네트워크 전반에 걸친 방송메시지 전송으로 발생하는 자원 소모는 전반적 네트워크 전송률이 저하시키며 이는 결국 네트워크의 확장성을 제한하기 때문이다. 본 논문에서는 이와 같은 에드혹 네트워크의 확장성 저하 문제를 해결하기 위하여 상위 고정된 인프라를 기반으로 한 메쉬 네트워크와 하위 에드혹 단말들의 기존 메쉬 네트워크가 계층적으로 혼합된 확장성 있는 메쉬 네트워크 구조를 제안 한다. 또한 제안된 메쉬 네트워크가 실 환경 네트워크에 구축되어 에드혹 단말이 아닌 일반단말의 메쉬 네트워크 수용 방안 및 외부 네트워크와의 연동을 위한 방안들을 제안한다.

Abstract

ad-hoc network is self-constructed by mobile hosts without any infrastructure. And the hosts collaborate with each other for routing packet by means of multi-hop communication. But it is too hard to deploy ad hoc network at the large area because of the scalability problem caused by low network throughput. network throughput decrease is due to contention on the air among the neighbor host and single interface limitation, and broadcast flooding through overall network. In this paper, to solve the ad hoc scalability problem, we propose mesh network based scalable hierarchical ad hoc architecture, and also propose the adaptation methods for inter-working with the host not including ad hoc functions and the legacy infra-network.

Keywords : ad-hoc, mesh network.

I. 서 론

에드혹 네트워크는 통신기반 없이 일반 단말 만으로 자가 구성되는 네트워크로서 초기 특별 재난 상황이나 군사작전 상황에서 임시 망 구성을 목적으로 고안 되었으나 자가 네트워크 구성 및 자가 네트워크 복구 특성으로 언제 어디에서나 네트워크 구성이 가능하도록 하는 유비쿼터스 네트워크 실현을 위한 기반 응용으로서

연구되고 있다.^[1]

그러나 단말로만 네트워크를 구성하여 단말 간 다중 홉 방식으로 데이터를 전송하는 에드혹 네트워크는 낮은 전송률에 따른 확장성 저하로 인하여 실제 범용 네트워크 서비스로 제공되기에는 한계가 있다.

낮은 전송률은 단말 간 다중 홉 통신 시 매 홉 인접 단말 간 상호 채널 접근 경쟁으로 발생하는 지연 및 일반적으로 하나의 인터페이스를 가지 단말에서 수신과 송신을 동시에 수행 할 수 없음 으로 발생하는 지연 등이 전송 경로의 홉 수가 증가함에 따라 누적되어 전송률 저하를 가져오게 된다. 이와 같은 전송 지연은 통신 홉 수의 증가에 따라 급격한 증가 추이를 보임에 따라 일정 홉 수 이상의 에드혹 네트워크 구성을 어렵게 한다.^[2]

* 정회원, 송실대학교 IT대학 정보통신전자공학부
(School of Information Telecommunication and Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 본 연구는 지식경제 프론티어기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크원천기술개발사업의 09C1-C2-29S과제로 지원된 것임

접수일자: 2008년10월13일, 수정완료일: 2009년6월17일

에드혹 네트워크의 낮은 전송률에 기인하는 또 다른 요소로는 방송(broadcast)메시지의 빈번한 네트워크 전반에 걸친 전송을 들 수 있다. 에드혹 네트워크에서 전송되는 주요 방송메시지는 에드혹 네트워크 내 단말에 대한 경로 탐색 및 유지를 위한 메시지이다. 이러한 방송 메시지는 네트워크 전반에 전송되어야 한다. 이를 위해 에드혹 네트워크상의 모든 단말이 방송메시지의 전송에 참여하게 된다. 따라서 방송메시지의 빈번한 전송은 단일전송(unicast)메시지에 비해 네트워크 자원을 많이 소모하여 네트워크 전반적 전송률을 저하 시킨다 [3-6, 9].

상기 에드혹 네트워크의 낮은 전송률에 기인하는 여러 문제 요소에 대한 방안에 관하여 많은 연구가 진행 중이다. 대표적인 연구로서 단말의 다중채널을 이용한 전송률 향상방안 연구와 계층적 에드혹 네트워크 구성을 통한 네트워크 확장성 제공 방안에 관한 연구가 있다.

다중채널 채널 방안^[12]은 단말이 두 개 이상의 인터페이스를 탑재하여 송, 수신을 동시에 수행함으로써 앞서 언급된 다중 홉 전송 시 경로상의 중간 단말들이 하나 인터페이스만을 가짐으로 패킷 전달 시 송, 수신에 동시에 수행하지 못하여 발생하는 지연시간을 최소화하기 위한 방안이다.

에드혹 네트워크의 계층적 구성 방안은 평면적 에드혹 네트워크를 일정 범위의 클러스터로 그룹화하고 클러스터 대표 노드를 선정하여 클러스터 내부의 단말은 같은 클러스터에 위치한 단말들에 대한 경로만 유지하는 한편 클러스터 외부의 단말과의 통신 시 클러스터 대표 단말간의 경로 탐색으로 이루어지게 한다. 이와 같은 에드혹 네트워크의 계층적 구성은 경로 설정을 위한 방송메시지 전파를 억제하는 동시에 단말의 경로관련 정보 유지에 관한 자원소모를 최소화 하는 효과를 가져올 수 있다.

그러나 상기 두 방안 또한 실 환경에 적용하여 광범위한 영역에 대한 에드혹 네트워크 형성에는 한계가 있다. 먼저 다중채널 방안의 경우 모든 단말이 다중 인터페이스를 장착 되어야 하는데 이는 현실적으로 어렵다. 예를 들어 Wibro, WLAN, PAN과 같이 이종의 무선 네트워크 접속을 위한 다중 인터페이스 탑재는 필수적이나 에드혹 네트워킹만을 위하여 같은 종류의 인터페이스의 두 개 이상 탑재는 소형화 되는 단말의 추세에서 현실성이 없다.

에드혹 네트워크의 계층적 네트워크 구성 방안의 경우 단말만으로 계층적 구조 구성 시 클러스터의 대표 단말의 자원의 한계성과 빈번하게 발생하는 대표 단말의 이동에 따른 클러스터 내 대표 단말의 부재 상황은 네트워크 전반적 성능 저하에 큰 영향을 미친다.

본 논문에서는 상기 에드혹 네트워크의 확장성 문제를 해결하기 위한 방안으로 메쉬 네트워크 기반 계층적 에드혹 네트워크 구조를 제안하여 메쉬 네트워크는 이동성이 없고 자원에 대한 제약이 적으며 기본적으로 다중 인터페이스를 탑재한 메쉬장비 간 메쉬 형태 연결성을 가지는데 이러한 메쉬 장비를 에드혹 네트워크의 각 클러스터의 대표 단말로 선정하여 상기 다중채널 및 순수 단말로 이루어진 계층적 네트워크의 문제점을 동시에 해결하고자 한다.

또한 제안되는 계층적 에드혹 네트워크가 실 네트워크 환경에 적용되어 기존 인프라 네트워크와 연동될 경우 고려되어야 할 문제점과 이를 해결하기 위한 방안을 제시하고 제안된 방안에 관하여 실 구현되어 적용된 환경에서의 시험결과를 통해 그 성능을 분석한다.

이후 본 논문은 I장에서 확장성 있는 메쉬 네트워크 기반 계층적 에드혹 네트워크 구조를 제안하며 II장에서 실 네트워크 환경에 적용하여 기존 인프라 네트워크와 연동하기 위한 방안에 대한 제안 후 III장에서 실 적용 네트워크에서의 시험을 통한 성능을 분석 평가 한다.

II. 계층적 메쉬 네트워크 설계

1. 계층적 메쉬 네트워크 구조

가. 기존 에드혹 네트워크 확장 연구

순수 단말로만 이루어진 에드혹 네트워크는 라우팅 프로토콜 운영에 따른 확장성 및 멀티홉 데이터 전송 시 경로 상에 발생하는 상호 채널 간섭 및 채널 사용 경쟁으로 인한 전송률 저하로 실 서비스는 어렵다. 이를 극복하기 위하여 기존 연구^[7-8]에서 하나의 노드를 중심으로 일정 홉 내의 단말을 하나의 클러스터 단위로 그룹화 하고 각 클러스터간 연동은 클러스터 중심 노드 간 클러스터 정보 교환을 통해 이루어진다. 이와 같은 구조에서 클러스터에 속한 단말은 클러스터 내부에 있는 단말들에 대한 라우팅 테이블 만을 관리하게 되고 다른 클러스터에 속한 단말과의 통신 시에는 중심 클러

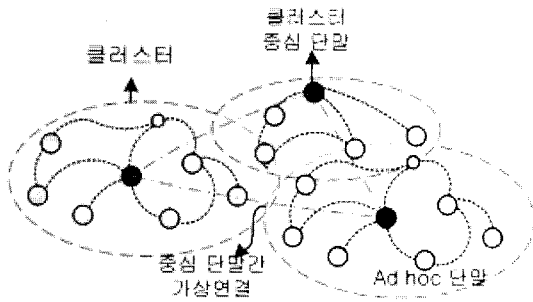


그림 1. 클러스터 기반 애드혹 네트워크
 Fig. 1. Cluster based ad-hoc network.

스터를 통하여 전송경로를 획득하게 된다. 이와 같이 각 단말은 각 클러스터 네트워크 정보만 유지하게 되고 원거리에 위치한 단말과의 통신 경로 검색을 위하여 네트워크 전반에 방송메시지를 발생시킬 필요가 없어짐으로 애드혹 네트워크 확장성이 좋다. 그림 1은 클러스터 기반 애드혹 네트워크의 구조를 나타낸 것이다.

그러나 이와 같이 단말로만 이루어진 클러스터 단위 네트워크 구성은 중심단말 선정절차 및 중심 단말의 이동에 따른 클러스터 재구성, 그리고 중심 노드간 통신시 일반 다른 노드를 거친 멀티홉 통신으로 인한 전송률 저하 등의 이유로 네트워크 확장에 여전히 문제가 제기 된다.

일반적 중심 단말의 선정 방법은 다른 단말들과의 연결성을 가장 중요한 선정 기준으로 하며 이외, 단말의 기타 자원상황을 추가로 고려하여 중심단말로 선택한다. 즉 일반 단말 중 현재 위치 및 상태가 고려되어 중심 단말로 선정된다. 따라서 중심단말의 이동 및 자원 고갈에 따른 중심단말의 부재 상황이 발생하게 되고 이를 복구하기 위한 클러스터 내 단말 간 절차 수행 및 클러스터 중심노드 간 정보 교환 등의 절차로 전송 지연이 발생할 수 있다. 이와 같은 중심노드 부재 상황이 빈번하게 발생하면 클러스터 단위 애드혹 네트워크 구성 기법은 오히려 평면적 애드혹 네트워크 보다 전송률과 확장성이 저하 될 수 있다. 또한 일반적으로 단말은 하나의 인터페이스를 가짐으로 중심노드 간 통신시 다른 일반노드들로 구성된 다중홉을 거쳐 가상 연결을 생성하게 된다. 이는 중심 노드 간 통신시 일반 노드 간 통신에 간섭을 받게 되어 전송률 저하를 야기하며 넓은 지역에 걸쳐 애드혹 네트워크가 구성되어 클러스터간 거리가 멀어질 경우 중심노드 간 가상 연결을 통한 데이터 전송이 어려워진다.

따라서 효율적 애드혹 네트워크는 확장을 위해서는

클러스터 단위로 나누어 구축될 필요가 있으며 상기 클러스터 기반 애드혹 네트워크의 문제점을 해결하기 위하여 각 클러스터의 중심 단말은 이동성이 없는 동시에 자원의 제약이 적은 멀티인터페이스가 장착된 장비가 적용될 필요가 있으며 이들 장비들 간에는 메쉬 형태의 네트워크 형성을 통하여 애드혹 네트워크의 장점인 자가 네트워크 생성 및 복구 특성을 인계하는 동시에 네트워크 확장이 용이한 형태가 되어야 한다.

나. 계층적 메쉬 네트워크 구조 설계

본 절에서는 애드혹 네트워크 확장에 용이한 메쉬 기반 계층적 애드혹 네트워크 구조를 제안한다.

기존 메쉬 네트워크는 이동성이 없이 고정된 IP기반 무선 라우터 혹은 MAC기반 무선 릴레이들 간의 메쉬 형태의 연결로 이루어진다. 무선 메쉬 장비는 두 개 이상의 인터페이스가 장착되어 일부 인터페이스는 하위 담당 영역의 단말의 접속용으로 사용되며 나머지 인터페이스들은 다른 메쉬 릴레이 장비 간 연결 인터페이스로 사용됨으로 단말과의 무선 자원경쟁으로 인한 전송률 저하를 방지한다. 기존의 메쉬 네트워크는 인터넷 연결을 위한 액세스망의 효율적 확장을 위하여 연구 되었다.

본 논문에서 제안되는 애드혹 네트워크의 확장 구조는 상기 무선 메쉬 네트워크를 기반으로 하여 메쉬 장비를 중심 노드로 하는 애드혹 클러스터 네트워크를 구성하고 클러스터 내부 단말 간 통신은 기존 애드혹 방식을 따르며 타 클러스터의 단말과의 통신시 메쉬 장비 간 연결을 통하여 패킷을 전달하는 계층적 네트워크 구조를 가진다.

현재 일반적으로 개발되는 무선 메쉬 네트워크는 Layer 2 MAC계층 무선 릴레이 장비들 간의 메쉬형태 네트워크를 구성하고 메쉬 네트워크의 경계에 위치한 릴레이 장비가 외부 인프라 네트워크와 연동된다. 이러한 Layer2 메쉬 릴레이 장비 기반 메쉬 네트워크는 인터넷 제공을 위한 네트워크 구성시 효율적인 네트워크 확장성을 가질 수 있다. 그러나 메쉬 네트워크 내 단말 간 통신에서 Layer2 릴레이 특성으로 통신시 전송되는 방송메시지가 네트워크 전반에 전송되는 문제와 전송 경로에 대한 효율적 결정이 어려움으로 확장성에 한계가 있다.

따라서 제안되는 네트워크 구조에서는 Layer 3 IP계

층 라우팅이 가능한 메쉬 라우터를 기반으로 구성된다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 메쉬 네트워크 기반 에드혹 네트워크의 구조를 나타낸 것이다.

그림 2와 같이 메쉬 기반 에드혹 네트워크는 상위 메쉬 네트워크와 하위 에드혹 네트워크가 계층적으로 구성되며 각 계층은 계층간 상호 보완적 라우팅이 프로토콜이 운영된다.

클러스터 내부 에드혹 네트워크는 OLSR(Optimal Link state routing)프로토콜과 같은 선행적(Proactive) 라우팅^[10] 프로토콜이 운영되어 클러스터 내부의 단말은 동일 클러스터 내부에 위치한 모든 단말에 대한 경로를 선행적으로 가지고 있게 된다. 반면 상위 메쉬 네트워크는 AODV(에드혹 On-demand Distance Vector)과 같은 반응적(reactive)^[11] 라우팅 프로토콜이 운영되어 전체 네트워크의 단말에 대한 경로 정보를 가지고 있을 필요가 없어 클러스터 내부 단말과 통신 중인 다른 클러스터의 단말에 대한 라우팅 경로만 관리하게 함으로 확장성이 용이하도록 한다.

메쉬 라우터는 메쉬 네트워크와 에드혹 네트워크를 연계하는 지점에 위치함으로 양 계층의 네트워크에 동시에 포함되어 각 계층의 라우팅 프로토콜이 동시에 운영되며 상위 메쉬 네트워크 라우팅 프로토콜은 하위 에드혹 네트워크의 라우팅 테이블 정보를 참조한다. 이를 통해 타 클러스터로부터 클러스터 내부 단말에 대한 경로 요청(RREQ - Routing Request)에 대한 응답(RREP - Routing Response) 수행과 역으로 클러스터 내부 단말로부터 외부 단말에 대한 RREQ절차를 수행한다. 이와 같이 단말을 대리하여 경로 설정 절차를 수행하는 것은 에드혹 네트워크 내부는 선행적 라우팅 프로토콜 운영으로 RREQ절차가 없음을 물론 클러스터

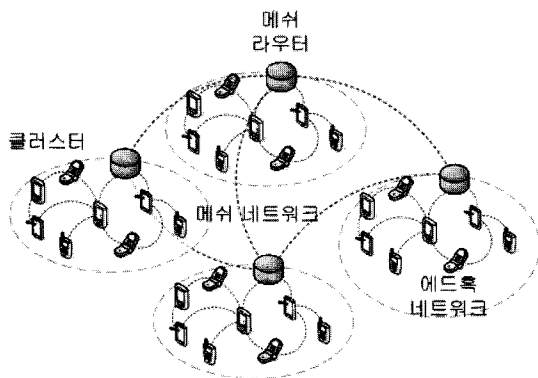


그림 2. 메쉬 네트워크 기반 에드혹 네트워크
Fig. 2. Mesh network based ad-hoc network.

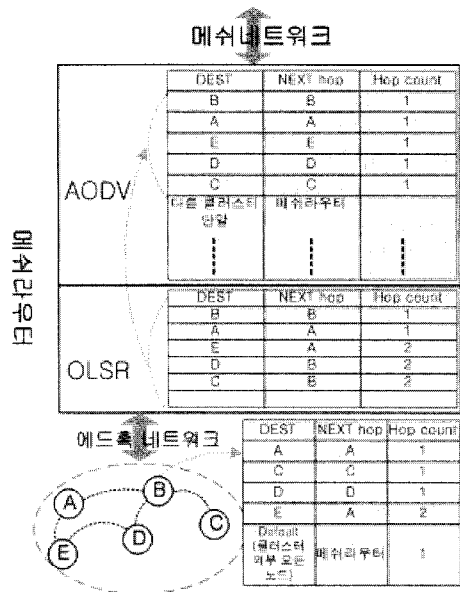


그림 3. 단말 및 메쉬라우터의 라우팅 테이블 예
Fig. 3. Routing table example of the host and the mesh router.

내부에 RREQ 방송메시지가 전파되는 것을 차단함으로 확장성이 향상될 수 있기 때문이다.

그림 3은 에드혹 단말과 메쉬 라우터에서의 라우팅 프로토콜 운영에 따른 라우팅 테이블을 나타낸다.

그림 3과 같이 에드혹내부 단말은 클러스터 내부에 위치한 모든 단말에 대한 경로 정보를 유지하며 클러스터 외부의 모든 목적지 주소에 대해서는 메쉬라우터를 디폴트 경로로 설정한다. 따라서 클러스터 외부의 주소를 목적지로 하는 패킷에 대하여서는 메쉬라우터가 경로 정보를 가지고 있을 것으로 가정하고 전달한다. 메쉬 라우터는 각 계층에 대한 인터페이스에 해당 라우팅 프로토콜 운영 따른 라우팅 테이블이 생성되며 메쉬 네트워크 라우팅 테이블에는 클러스터 내부 에드혹 네트워크의 라우팅 테이블 엔트리가 한 홉의 엔트리로 등록된다. 이는 메쉬 라우터가 다른 클러스터로부터 내부 단말에 대한 RREQ수신 시 이에 대한 RREP전송을 위함이기 때문에 클러스터 내부의 네트워크 토폴로지 정보를 정확하게 가지고 있을 필요 없이 단말의 존재 여부만 판단하면 되기 때문이다.

그림 4는 서로 다른 클러스터에 위치한 단말 간 통신 시 이루어지는 메쉬 네트워크 기반 에드혹네트워킹 절차의 예를 나타낸 것이다. 그림 4에서 각 절차에 관한 상세 동작은 다음과 같다.

- (1) 단말 A는 내부 라우팅 테이블에 단말 B에 대한

경로 정보가 없음으로 클러스터 외부의 단말임을 인지하고 패킷을 default 경로인 M1 메쉬라우터로 전송한다.

(2) M1은 단말 B에 대한 경로 획득을 위하여 단말 A를 대리하여 RREQ를 메쉬 네트워크상에 방송한다.

(3) RREQ를 수신한 M3는 내부 클러스터에 단말B가 위치하여 있음을 내부 라우팅 테이블을 참조하여 인지하고 단말B를 대리하여 RREP를 단말A를 목적지로 하여 전송한다. 이를 수신한 M1은 RREP를 내부 단말A에게 전달하는 대신 라우팅 테이블에 단말B에 대한 경로를 추가한다.

(4) 단말B에 대한 경로탐색이 이루어진 후 이를 이용하여 초기 큐잉되었던 패킷을 M3를 거쳐 단말B까지 전송한다.

이와 같은 계층적 구조의 경로 탐색은 경로 탐색에 참여하는 네트워크 구성요소의 수가 기존 평면적 에드혹 네트워크와 비하여 그 수가 현저히 적다. 즉 경로 탐색을 위한 RREQ 방송에 참여하는 네트워크 구성요소의 수가 적음으로 경로 탐색에 발생하는 지연시간을 줄일 수 있으며 방송 메시지로 인한 네트워크 확장성 문제가 해결 될 수 있다.

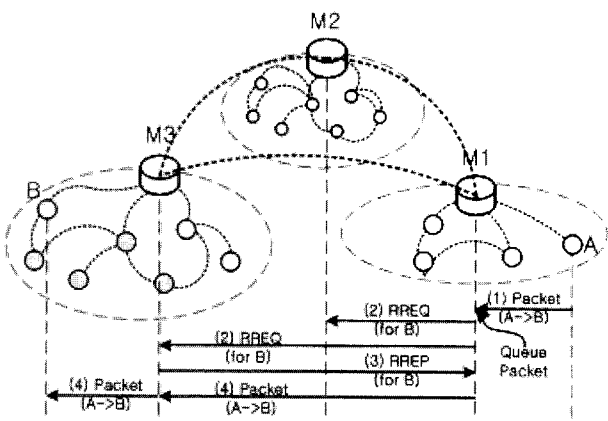


그림 4. 클러스터간 패킷 전송 절차
Fig. 4. Packet transmission procedure among clusters.

2. 기존 단말 수용 방안

본 장에서는 제안된 메쉬 네트워크 기반 에드혹 네트워크가 실 환경에 적용되어 에드혹 단말이 아닌 기존 일반 단말의 에드혹 네트워크로의 수용 및 기존 네트워크인프라와의 연동을 위하여 고려되어야 할 문제점 및 이를 해결하기 위한 방안을 제안한다.

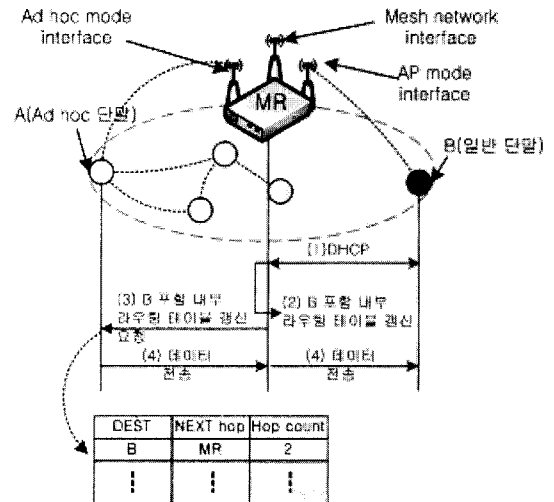


그림 5. 일반 단말에 대한 에드혹 프록시 절차
Fig. 5. Ad-hoc proxy procedure for the legacy host.

실 환경에서 에드혹 네트워크가 적용될 경우 에드혹 네트워크에 필요한 인터페이스 운용 및 라우팅 프로토콜이 탑재되어 있는 단말 만으로 통신이 이루어 질 때 운영 될 수 있는 응용 서비스는 상당히 제한적일 수밖에 없다. 따라서 일반 단말, 즉 에드혹에 필요한 요소를 탑재하지 않은 단말 또한 통신에 참여하여야 한다.

메쉬 네트워크 기반 에드혹 네트워크에서 상위 메쉬 라우터는 이들 기존 단말의 에드혹 네트워크로의 수용을 위한 에드혹 프록시 기능을 가진다.

메쉬 라우터에서의 에드혹 프록시 기능은 기존 단말의 에드혹적 기능을 대리하여 수행해 주는 기능이다. 그림 5는 기존 단말과 에드혹단말과의 통신 시 수행되는 에드혹 프록시 절차를 나타낸 것이다.

그림 5에서 메쉬 라우터는 세 개 이상의 인터페이스를 갖는다. 기본적으로 에드혹 네트워크 지원을 위한 인터페이스와 메쉬 네트워크 인터페이스가 존재하며 추가로 기존 단말의 접속을 위한 인터페이스가 존재한다. 이와 같이 클러스터 내부에 두 개의 인터페이스가 지원되는 이유는 에드혹모드를 지원하지 않는 일반 단말은 메쉬 라우터를 인지하지 않은 상태에서 마치 기존 AP에 접속하는 것처럼 메쉬 라우터에 접속 되어야 하며 하나의 인터페이스에서 에드혹모드와 AP모드가 동시에 동작 할 수 없기 때문 두 가지 모드에 대한 각각의 인터페이스가 제공되어야 하기 때문이다.

그림 5에서의 일반 단말에 대한 에드혹프록시 수행시 각 절차의 상세 동작은 다음과 같다.

(1)~(2) : 메쉬 라우터에 대한 일반단말의 등록 절차
 먼저 (1)번 절차에서 일반 단말은 메쉬라우터에 등록하는 절차가 이루어진다. 이때 일반 단말에 기존 AP 접속절차 외에 특별한 추가 절차를 요하지 않고 DHCP절차를 이용하여 등록을 수행한다. 일반 단말 B는 기존 AP에 접속 시 수행되는 절차와 같이 메쉬 라우터의 AP인터페이스를 통하여 DHCP절차를 수행하여 IP를 할당 받게 되고 메쉬 라우터에서는 DHCP절차가 완료되어 할당된 IP에 대하여 내부 라우팅 테이블에 추가 갱신 한다(2). 기본적으로 메쉬 라우터는 DHCP서버, 릴레이 기능을 동시에 갖는다. DHCP서버가 외부에 있을 경우 DHCP 릴레이 동작하는 동시에 DHCP snoop기능이 동작함으로 DHCP절차를 추적하여 완료 시 라우팅 테이블 갱신등의 절차를 수행한다. 이와 같이 메쉬 라우터의 라우팅 테이블에 등록된 일반단말에 대한 상태 갱신, 즉 단말의 이동으로 라우팅 테이블에서 삭제되어야 하는 시점에 대한 인지는 하위 Link계층과 연동하여 단말의 클러스터내 존재 유무를 판단을 통해 이루어진다. 이와 같은 상태 갱신 절차는 사실 DHCP 임대 시간(IP lease time)내에 IP사용 상태를 갱신하는 DHCP refresh 절차를 통하여 쉽게 수행될 수 있으나 DHCP 임대 시간이 일반적으로 수 분에서 수 시간으로 설정되어 부적절 하며 만일 수 초 단위로 조정할 경우 DHCP refresh 메시지 교환이 너무 빈번하게 일어남으로 네트워크 성능 저하의 원인이 될 수 있다.

(3) : 에드혹노드에 대한 일반단말 등록절차

클러스터 내부에서 동작하는 선행적 라우팅프로토콜은 기본적으로 한 단말의 라우팅 테이블이 변경될 경우에 대하여 전 네트워크에 알려 관련 라우팅 테이블을 갱신하도록 되어 있다. 따라서 일반 단말의 접속으로 라우팅 테이블이 변경된 메쉬라우터는 클러스터 내부 단말들에게 라우팅 테이블 갱신을 요청한다(3). 이를 통해 갱신된 단말 A의 라우팅 테이블에는 그림과 같이 메쉬 라우터를 다음 홉으로 하는 일반 단말 B에 대한 경로가 생성된다.

상기 절차로 클러스터 내부의 네트워크의 에드혹단말들에 일반 단말 B에 대한 경로가 생성되어 (4)절차와 같이 에드혹 단말로부터 일반 단말로의 데이터 전송이 가능해진다. 반대로 일반 단말로부터 에드혹 단말 로의 데이터 전송은 일반 단말이 모든 패킷 전송은 메쉬 라

우터의 AP인터페이스를 통하여 이루어지고 메쉬 라우터에서는 목적 에드혹노드에 대한 라우팅 정보를 가지고 있기 때문에 별다른 고려 없이 이루어 질 수 있다.

일반 단말과 클러스터 외부의 단말과의 통신 시 일반 노드로 부터의 패킷이 무선 메쉬 라우터에 도착한 이후로 부터는 에드혹노드로부터 수신된 패킷과 차이 없이 메쉬 네트워크의 경로 탐색 절차를 수행함으로 이 또한 별다른 고려 없이 이루어 질 수 있다.

3. 외부 네트워크와의 연동 방안

에드혹 네트워크와 기존 인프라 네트워크와의 연동을 위해서는 적절한 subnet 구성, 즉 에드혹 네트워크에 대한 네트워크 주소 할당에 대한 고려가 필요하며 에드혹 네트워크와 기존 네트워크와의 연결되는 게이트웨이 기능에 대한 고려사항이 발생한다.

에드혹 네트워크 구성은 그림6에서와 같이 에드혹 네트워크로 단일 서브넷이 구성되거나 기존 하나의 서브넷 내의 단위네트워크로 구성 될 수 있다. 두 가지 구성모두 에드혹 네트워크 전체에 대하여 단일 네트워크 prefix가 사용됨으로 에드혹 네트워크 내의 단말은 동일 네트워크 주소에 기반 한 IP주소를 획득하게 된다.

상위 메쉬 장비는 L3 라우팅을 수행한다. 이와 같은 구조에서 그림 6과 같이 여러 라우터로 이루어진 네트워크에 같은 네트워크 prefix를 가지는 단말이 위치하는 형태가 된다. 즉 그림에서 동일 서브넷에 위치한 두 개의 메쉬 라우터가 상호 연결을 위한 인터페이스는 10.10.10.0/24라는 네트워크 주소를 사용하게 되고 각 메쉬 라우터 하위 클러스터 내의 단말들은 공히 192.168.30.0/24의 네트워크 prefix를 사용함을 볼 수 있다. 이와 같은 네트워크 설정은 하나의 서브넷 내에 각 인터페이스마다 다른 서브넷에 연결되어야 하는 라우터가 여러개 존재 하여 상호 연결성을 가지고 있기 때문에 발생하는 것으로 기존 네트워크와 비교 했을때 상이한 형태의 네트워크가 구성이다. 이와 같은 형태의 네트워크에서 발생할 수 있는 문제점에 대한 고찰 및 해결방안은 다음과 같다.

가. 에드혹 네트워크 내 ARP 전송 문제

이러한 형태의 네트워크에서 문제점중 하나는 ARP 절차이다. ARP는 같은 패킷 전송 전 목적지 노드가 같은 네트워크 주소를 가져서 같은 서브넷에 위치한다고 판단되면 MAC주소를 가져오기 위하여 전송되는데 이

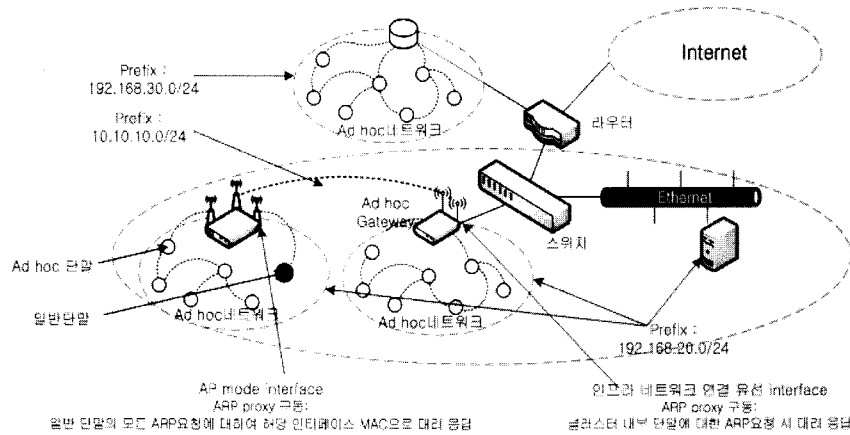


그림 6. 메시 네트워크 기반 에드혹 네트워크와 인프라 네트워크간 연동
 Fig. 6. Inter-operation between mesh network based ad-hoc network and infra-network.

메시지는 1홉 방송메시지로 라우터를 통과 하지 못한다. 따라서 서로 다른 클러스터에 위치한 단말 간에는 ARP요청 메시지 전달이 불가능하다. 그러나 에드혹 네트워크에서는 1홉 이내의 인접 단말에 대한 MAC주소는 네트워크 토폴로지 관리를 위해 주기적으로 교환되는 Hello를 통해 획득하게 되고 2홉 이상의 단말에 대하여서는 기본적으로 패킷 전송이 라우팅을 통해 이루어짐으로 목적지 단말의 MAC주소를 획득할 필요가 없다. 따라서 에드혹 네트워크에서는 ARP는 배제되어 ARP절차는 문제가 되지 않는다.

그러나 일반 단말이 에드혹 네트워크에 참여할 경우 ARP문제는 발생한다. 이는 일반 단말이 에드혹 라우팅 기능을 탑재하고 있지 않기 때문에 Hello메시지를 수신할 수 없을뿐더러 라우팅이 수행됨을 인지하지 못함으로 ARP를 발생시키기 때문이다. 이를 해결하기 위해서 그림6에서와 같이 메시 라우터의 일반 단말을 지원하는 AP 모드 인터페이스에는 ARP proxy가 구동된다.

일반 단말에 대한 송,수신되는 모든 패킷은 AP 모드 인터페이스를 통할 수밖에 없다. 따라서 AP 인터페이스에서의 ARP proxy는 일반 단말로부터 들어오는 모든 ARP요청에 대하여 AP 인터페이스의 MAC주소로 응답을 함으로서 모든 패킷이 AP 인터페이스로 전송되게 하고 IP계층에서 라우팅하여 해당 목적지 단말에 패킷을 전송함으로 일반 단말에 대한 ARP문제가 해결 될 수 있다.

나. 다른 서브넷을 통한 동일 서브넷 단말 간 통신
 다른 클러스터에 위치하지만 같은 네트워크 prefix를 가진 단말 간 통신 시 메시 네트워크간의 다른 네트워

크 주소 영역을 통해 패킷이 전송되는 것 또한 기존 네트워크와 상이한 점이다.

그러나 이러한 상이점은 메시 네트워크 기반 에드혹 네트워크에서는 문제가 되지 않는다. 이는 메시 라우터는 기존 라우터와 다르게 라우팅 시 네트워크 prefix를 이용한 longest prefix matching을 수행하는 것이 아니라 단말의 전체 주소로 이루어진 라우팅 테이블을 참조하여 라우팅을 수행하기 때문이다.

다. 인프라 네트워크상의 단말과 에드혹 네트워크 내부 단말 간 통신

먼저 그림 6에서 이더넷에 위치한 단말로 부터 에드혹 네트워크 내에 위치한 단말로의 통신 절차를 보면 이더넷 단말은 에드혹 단말임을 인지하지 못하고 같은 네트워크 prefix의 단말이라는 이유로 ARP요청 메시지를 서브넷 내에 방송하게 된다. 그러나 이 ARP방송 메시지는 에드혹 네트워크 내부로 전송되지 못한다. 앞에 언급되었듯이 중간에 라우터가 위치하기 때문이다. ARP에 대한 응답을 받지 못한 이더넷 단말은 통신을 포기 하게 됨으로 이를 해결하기 위하여 에드혹 네트워크 경계에 위치한 게이트웨이의 인프라 네트워크 연결 인터페이스에는 arp proxy가 구동된다. arp proxy는 에드혹 네트워크 내부에 위치한 단말에 대한 ARP요청에 대하여 해당 단말을 대리해 ARP응답 메시지를 전송한다.

그러나 메시 라우터는 하위 클러스터 단말 및 클러스터 내 단말과 통신 중인 타 클러스터 단말에 관해서만 라우팅 테이블을 유지함으로 에드혹 네트워크 내에 위치하는 모든 단말에 대한 정보를 보유하지는 않는다.

에드혹 네트워크 게이트웨이 또한 메쉬 라우터임으로 모든 단말에 대한 에드혹 네트워크에 존재 여부를 알 수 없다. 그러나 이러한 문제는 DHCP서버 구동 위치를 에드혹 네트워크 게이트웨이에 위치시키거나 게이트웨이를 거친 외부 네트워크에 위치하게 함으로 해결 될 수 있다. 에드혹 네트워크 게이트웨이는 DHCP snoop을 통해 자신을 거치는 DHCP 메시지를 모니터링 하여 DHCP절차가 성공되어 할당된 IP는 에드혹내부에 위치한 단말의 IP가 될 것임으로 이를 ARP proxy테이블에 등록함으로써 이후 인프라 네트워크로 부터의 ARP요청에 대하여 대리 응답을 할 수 있게 된다.

이와 반대로 에드혹 네트워크로부터 이더넷 단말로의 통신 절차를 보면 먼저 에드혹 네트워크 내에서는 이더넷 단말을 대상으로 경로 탐색절차 수행한다. 그러나 에드혹 네트워크 외부에 위치한 이더넷 단말에 대한 경로 탐색은 이루어 질 수 없다. 따라서 경로 탐색 절차를 통하여 목적지 단말의 경로를 획득하지 못할 경우 에드혹 네트워크 외부에 위치한 단말로 인식하고 해당 단말로의 모든 패킷은 에드혹 네트워크 게이트웨이로 전송된다. 에드혹 네트워크 게이트웨이 위치에 대한 정보는 에드혹 네트워크 게이트웨이로부터 주기적으로 전송되는 RA(router advertisement)메시지를 수신한 메쉬 라우터들은 이를 기반으로 게이트웨이 주소 및 경로를 사전에 파악하게 된다.

이와 같이 에드혹 네트워크 내부로부터 외부로의 패킷을 수신한 에드혹 네트워크 게이트웨이는 ARP절차를 거쳐 이더넷을 통하여 해당 단말로 데이터를 전송하게 된다.

III. 구현 및 실험

1. 구현

그림 7은 상기 에드혹 네트워크 확장에 있어서의 요구를 충족하는 계층적 메쉬라우터의 구현을 위한 설계 구조이다. 계층적 메쉬라우터의 구조는 3계층으로 구성된다. 첫째 다양한 OS 플랫폼에 의존적인 PAL (Platform Adaption Layer)과 둘째, 패킷 전송 및 라우팅 프로토콜 조합 기능이 탑재된 HRPCL(Hybrid routing protocol coordinator Layer), 마지막으로 서로 다른 라우팅 프로토콜의 핵심 기능을 수행하는 되는 GRPML(Generalized Routing Protocol Module Layer)로 구성된다. 이중 가장 핵심이 되는 레이어는 HRPCL

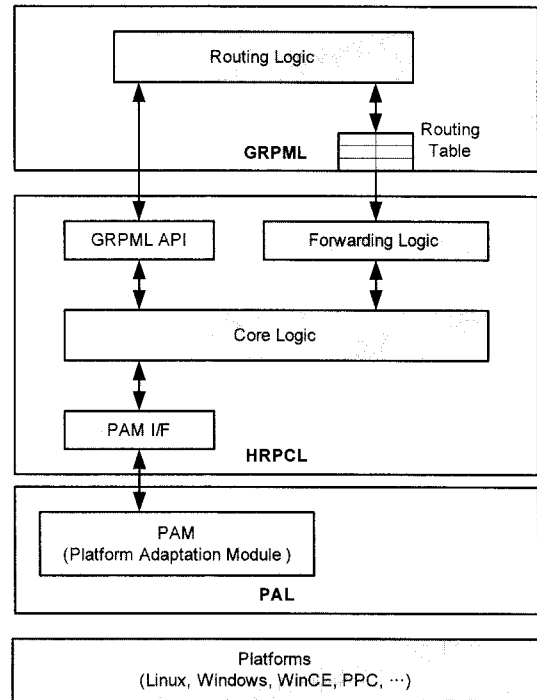


그림 7. 계층적 메쉬 라우터 구현 구조
Fig. 7. Implementation structure of the hierarchical mesh router.

로서 이종라우팅 프로토콜을 복합적으로 제어하는 핵심 구조로, 모든 구성요소(PAL, GRPML)를 통합 제어한다. HRPCL의 세부 기능은 PAL을 통해 수신되는 패킷을 받아, 현재 Active 상태(예, DYMO, OLSR, ZRP 등)의 GRPM에게 packet을 전달하거나, 각 GRPM에서 생성한 라우팅 테이블을 참조하여 패킷을 전달하는 역할을 수행한다. 또한 Hybrid 형태의 MANET 라우팅 프로토콜은 동작 우선순위를 설정하여 어떠한 프로토콜을 먼저 실행할지, 다음 프로토콜을 트리거 시키는 포인트는 어디일지를 Core Logic을 사용하여 결정, GRPM을 연결하는 동작을 수행한다.

HRPCL은 MANET 라우팅 프로토콜이 공통으로 요구하는 API가 탑재된다. 이는 각 라우팅 프로토콜이 시작될때 노드에서 얻어야 하는 기본적인 정보(Wireless Interface 종류 및 개수, IP 주소, MAC 주소 등)를 공급해 줄 수 있으며, 패킷 전달시 공통의 API를 통해 라우팅 테이블을 참조하는 기능을 갖는다.

RPML은 DYMO, OLSR 등의 핵심기능이 탑재되는 계층이다. DYMO의 경우 RREQ를 생성하거나, RREQ Forwarding, RREP 생성 기능을 수행하고, RREQ 및 RREP를 통한 DYMO 라우팅 테이블을 생성하는 등 DYMO 고유의 기능이 포함된다. OLSR의 경우

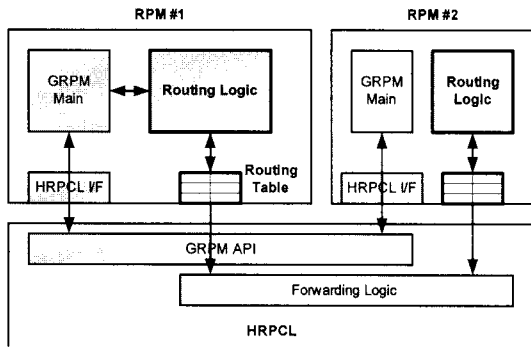


그림 8. GRMPL 구조
Fig. 8. GRMPL structure.

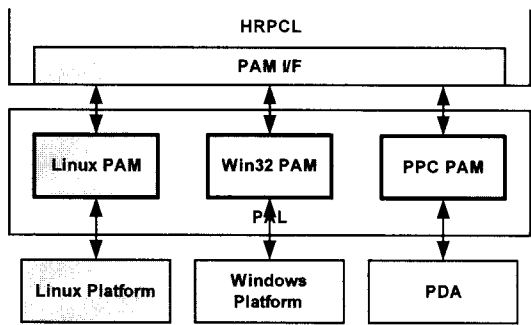


그림 9. PAL 구조
Fig. 9. PAL structure.

HELLO 메시지를 주기적으로 생성하여 MANET 토폴로지를 구성하는 기능을 수행하고, 그 결과로 OLSR 라우팅 테이블을 생성한다. GRPM에 속한 모든 라우팅 프로토콜은 HRPCL에서 제공되는 공통의 API를 통해 라우팅 테이블을 검색하거나 참조할 수 있으며 동적으로 라우팅 모듈을 초기화 할 수 있다.

PAL은 다양한 플랫폼 지원을 위한 것으로 다양한 OS플랫폼에 적응적인 인터페이스를 제공하기 위한 계층이다.

2. 실험

본 논문에서 지금 까지 제안된 계층적 에드혹 네트워크 구성 및 일반 단말 의 에드혹 네트워크 유합 및 기반 네트워크와의 연동에 관하여 종합적 실험을 수행하기 위하여 그림 10과 같이 실험 망을 구성하였다.

그림과 같이 두 개의 에드혹 클러스터를 구성하였으며 두 클러스터 사이에는 인접 클러스터내 단말과의 간섭을 피하기 위하여 메쉬 라우터만 배치하였다. 기반망 쪽 스위치와 연결된 메쉬 라우터는 게이트웨이 역할을 수행하도록 설정되었다.

메쉬 라우터의 각 인터페이스 즉 메쉬 라우터간 인터

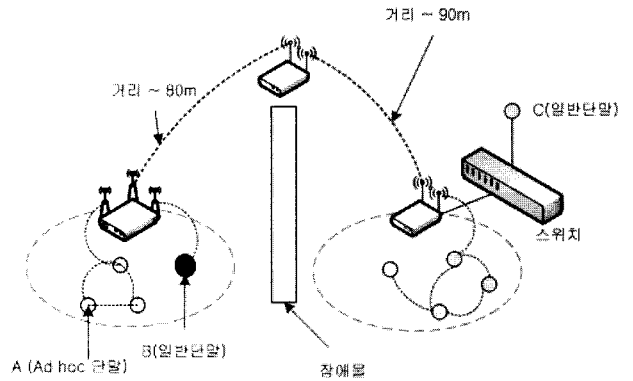


그림 10. 실험 망 구성
Fig. 10. the network composition for an experiment.

페이스는 802.11 a, 단말 접속 인터페이스는 802.11 g가 적용되었다.

각 클러스터 내에는 에드혹단말 6대씩을 각각 배치하였으며 첫 번째 클러스터 내에는 일반단말 한 대를 배치하여 실험하였다.

먼저 두 클러스터 간에 에드혹단말 간 동시 트래픽 전송 시험 결과는 다음과 같다.

단말 수	시작시점 (msec)	전송률 (Kbps)	패킷 손실률 (%)
2	< 20	1425	0
4	< 20	1356	0
6	< 35	1175	1.6
8	< 41	1031	2.1
10	< 48	973	2.9
12	< 52	823	3.1

상기 표는 전체 에드혹 네트워크 내에 데이터 송,수신을 수행하는 단말 수의 변화에 따른 시험 결과를 나타낸 표이다. 각 결과는 누적 평균값이다.

실험 결과 중 시작 시점은 경로 탐색이 완료된 후 데이터 전송이 수행되어 첫 번째 패킷이 수신된 시점을 나타낸 것이다.

실험결과 단말수의 변화에 따라 전체적 성능이 저하되긴 하나 저하 폭의 크기가 크지 않음을 확인 할 수 있다.

기반 망 연동을 위한 실험을 위하여 클러스터 내 일반 단말과 이더넷 상의 단말과의 연동시험을 수행 하였다. 시험 결과 초기 데이터 전송 시작 시간이 초기 경로 탐색 시 RREQ전송 후 경로 탐색에 실패 한 후 에드혹게이트웨이로 패킷을 전송하게 됨에 따라 발생하는

지연으로 약 800ms정도의 지연이 발생함을 확인 할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 에드혹 네트워크의 확장성 문제를 해결하기 위한 방안으로 메쉬 네트워크와 에드혹 네트워크가 계층적으로 혼합된 확장성 있는 에드혹 네트워크 구조를 제안 하였다. 본 제안을 통해 에드혹 네트워크의 안정적 확장성 제공 방안을 제시 하였다.

또한 제안된 에드혹 네트워크가 기존 네트워크 환경에 적용 되었을 때 에드혹네트워킹 기능을 제공하지 않는 단말에 대한 에드혹 네트워크 융합 방안을 제시 하였으며 기존 인프라 네트워크와의 연동을 위하여 필요한 절차 및 기능 요소를 제안하였다.

이들 제안된 방안들로 실 구현된 에드혹 네트워크에서 수행된 실험을 통하여 제안된 네트워크의 특성을 분석하였다.

참 고 문 헌

- [1] Elizabeth M. Rouer, "A review of current routing protocols for 에드혹 mobile wireless networks," IEEE personal communications, April 1999.
- [2] H. Lim and C. Kim, "Multicast Tree Construction and Flooding in Wireless 에드혹 Networks," Proc. ACM Int'l Workshop Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), Aug. 2000.
- [3] W. Lou and J. Wu, "On Reducing Broadcast Redundancy in 에드혹 Wireless Networks," IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 1, no. 2, Apr.-June 2002.
- [4] Fei Dai and Jie Wu, "Efficient Broadcasting in 에드혹 Wireless Networks Using Directional Antennas," IEEE Trans. PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS, VOL. 17, NO. 4, APRIL 2006.
- [5] S. Y. Ni, Y. C. Tseng, Y-S. Chen, and J. P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," in Proc. Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom '99), 1999.
- [6] J. Cartigny and D. Simplot, "Border Node Retransmission Based Probabilistic Broadcast Protocols in Ad-Hoc Networks," Telecomm. Systems, vol. 22, nos. 1-4, pp. 189-204, 2003.
- [7] Ben Liang, Zygmunt J. Haas, "Hybrid Routing in Ad Hoc Networks with a Dynamic Virtual Backbone" IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 5, NO. 6, JUNE 2006.
- [8] A. Iwata, C.-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "Scalable routing strategies for ad hoc wireless networks," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 17, no. 8, pp. 1369 - -1379, Aug. 1999.
- [9] B. Bellur and R. G. Ogier, "A reliable, efficient topology broadcast protocol for dynamic networks," in Proc. IEEE INFOCOM, Mar. 1999.
- [10] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in Proc. IEEE Wksp. Mobile Computing Systems and Applications, February 1999, pp. 90 - -100.
- [11] Z. J. Haas and M. R. Pearlman, "Providing ad-hoc connectivity with the reconfigurable wireless networks," in Proc. ACM SIGCOMM, Sept. 1998.
- [12] A. Raniwala and T. Chiueh. Architectures and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network. In Proc. of IEEE INFOCOM, March 2005.

저 자 소 개



김 용 혁(정회원)

1999년 숭실대학교 정보통신공학
학사졸업

2001년 숭실대학교 정보통신공학
석사졸업

2003년 숭실대학교 정보통신공학
박사 수료

2003년~2006년 (주)코어세스 통신연구소
선임연구원

2007년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
박사과정

<주관심분야: 컴퓨터 네트워크, 인터넷 네트워킹,
이동 데이터 통신망>



김 영 한(정회원)

1984년 서울대학교 전자공학 학사
졸업

1986년 한국과학기술원 전기전자
공학 석사 졸업

1990년 한국과학기술원 전기전자
공학 박사 졸업

1987년~1994년 디지콤정보통신연구소
데이터통신연구부장

1994년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
정교수,

<주관심분야: 컴퓨터 네트워크, 인터넷 네트워킹,
이동 데이터 통신망>