

# Mobile Ad Hoc 네트워크를 위한 계층적 오버레이 멀티캐스트 구조 연구

김 갑 동<sup>†</sup> · 박 준 희<sup>\*\*</sup> · 이 광 일<sup>\*\*</sup> · 김 학 영<sup>\*\*\*</sup> · 김 상 하<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

오버레이 네트워크는 하부계층의 네트워크에 변화가 있어도 응용계층의 트리에는 변화를 줄 필요가 없으며, 오버레이 네트워크가 멀티캐스트를 지원하지 않는 노드들이 존재하는 환경에서도 만들어질 수 있게 해준다. 오버레이 프로토콜은 동적인 그룹을 모니터링하는 반면, 하부계층의 유니캐스트 프로토콜은 동적인 네트워크를 책임짐으로써, 동적인 환경에서도 제어 오버헤드를 줄이고, 프로토콜의 오퍼레이션을 안정적으로 만든다. 그러나, 만약 오버레이 멀티캐스트 프로토콜이 구성원의 위치정보를 모른다면, 효율적인 멀티캐스트 트리를 만드는 것은 매우 어렵다. 그래서, 위치정보를 이용한 계층적 오버레이 멀티캐스트 구조(HOMA: Hierarchical Overlay Multicast Architecture)를 본 논문에서 제안한다. 제안된 구조는 멀티캐스트에 참여하는 호스트들만으로 정적인 지역을 기반으로 동적 그룹을 만들어서 상위 계층에서는 그룹을 대표하는 호스트들 간의 오버레이 멀티캐스트 망을 형성하고, 하위 계층에서는 지역에 속한 멀티캐스트 호스트들 간의 멀티캐스트를 지원하는 응용 계층의 2-계층 오버레이 멀티캐스트이다. 이것은 GPS를 사용하고, 지리적 영역을 활용하며 노드의 이동에 크게 영향을 받지 않는 지역 기반의 상위 계층의 오버레이 멀티캐스트 트리를 보여준다. 시뮬레이션 결과는 멀티캐스트의 효율성의 문제를 효과적으로 해결하였음을 보여준다.

키워드 : 애드 혹, 멀티캐스트, 멀티캐스트 라우팅 프로토콜, 오버레이 멀티캐스트, 2-계층구조

## A Study on Hierarchical Overlay Multicast Architecture in Mobile Ad Hoc Networks

Kap-Dong Kim<sup>†</sup> · Jun-Hee Park<sup>\*\*</sup> · Kwangil Lee<sup>\*\*</sup> · Hag-Young Kim<sup>\*\*\*</sup> · Sang-Ha Kim<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Overlay network eliminates the need to change the application-layer tree when the underlying network changes and enables the overlay network to survive in environments where nonmember nodes do not support multicast functionality. An overlay protocol monitors group dynamics, while underlying unicast protocols track network dynamics, resulting in more stable protocol operation and low control overhead even in a highly dynamic environment. But, if overlay multicast protocols does not know the location information of node, this makes it very difficult to build an efficient multicasting tree. So, we propose a Hierarchical Overlay Multicast Architecture (HOMA) with the location information. Because proposed architecture makes static region-based dynamic group by multicast members, it is 2-tiered overlay multicasts of application layer that higher layer forms overlay multicast network between members that represent group, and support multicast between multicast members belonging to region at lower layer. This use GPS, take advantage of geographical region, and realizes a region-sensitive higher layer overlay multicast tree which is impervious to the movements of nodes. The simulation results show that our approach solves the efficiency problem effectively.

Key Words : Ad-hoc, Multicast, Multicast Routing Protocol, Overlay Multicast, Two-tiered Hierarchy Architecture

### 1. 서 론

에드 혹 네트워크는 고정된 네트워크 기반이 없는 이동하는 호스트들로 구성되는 다중 홉 무선 네트워크이다. 에드 혹

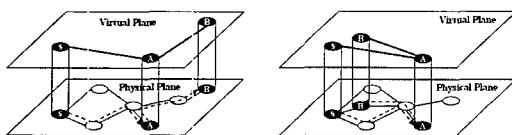
네트워크는 호스트들의 이동성으로 인해 네트워크 구조가 예측할 수 없이 변화하며, 각 호스트들은 제한된 데이터 처리 능력을 갖는다. 에드 혹 네트워크의 대부분의 응용들은 그룹 간의 통신을 기반으로 하기 때문에 그룹간의 통신 지원에 대한 많은 요구가 있어왔다. 그래서 에드 혹 네트워크에서는 효율적인 멀티캐스트 지원이 더욱 절실히 요구된다. 멀티캐스트의 경로 상태 관리와 에드 혹 네트워크의 동적 토폴로지는 기존의 멀티캐스트 연구로부터 제안된 많은 방법들을 에드 혹 네트워크에 적용하기 어렵게 한다[1, 5, 9].

<sup>†</sup> 정 회 원 : 한국전자통신연구원 디지털융합연구단 연구원  
<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 한국전자통신연구원 디지털융합연구단 선임연구원  
<sup>\*\*\*</sup> 정 회 원 : 한국전자통신연구원 디지털융합연구단 인터넷서버그룹 책임연구원(팀장)  
<sup>\*\*\*\*</sup> 종신회원 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수  
 논문접수 : 2006년 3월 31일, 심사완료 : 2006년 7월 27일

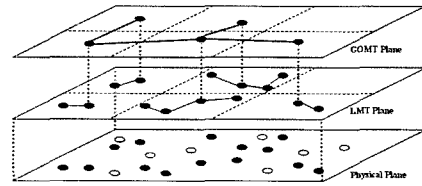
최근에 에드 후 네트워크에서의 어려움을 해결하기 위하여 응용 계층의 멀티캐스트 메커니즘이 제안되었다[3]. 오버레이 트리의 초기 효율성은 네트워크 계층의 Steiner 트리와 비교해서 90%이상 되는 것으로 전해진다[2]. 그러나, 초기 오버레이 트리에서 시간이 경과함에 따라 호스트가 이동함으로써 경로와 자원 손실의 오버헤드를 초래하면서 네트워크 평면과 오버레이 평면간의 불일치를 초래한다. 최적의 유니캐스트 경로를 설정하는데 사용되는 최단경로 알고리즘의 복잡도는  $O(n^2)$ 이며, 그래프에서 브로드캐스트를 위한 최적의 전송 트리를 만드는데 사용되는 MST (Minimum Spanning Tree) 알고리즘의 복잡도도  $O(n^2)$ 이다.

(그림 1)은 오버레이 멀티캐스트의 특징을 보여준다. 가상평면의 링크는 물리적 평면의 유니캐스트 라우팅 프로토콜로 생성된 라우팅 경로이다. 오버레이 멀티캐스트는 그룹의 이동성을 모니터링하고, 유니캐스트 프로토콜은 망의 이동성을 추적함으로써, 동적인 환경에서도 제어 부하를 줄이고, 프로토콜을 더 안정적으로 만들어 준다. 또한, 오버레이 멀티캐스트 트리는 물리적 평면의 Steiner 트리 문제를 가상 평면의 MST 문제로 단순화 시켜서 구현하기 쉽다. 네트워크 계층에서의 가입이나 탈퇴와 같은 멀티캐스트 기능이 없기 때문에 물리적인 노드의 이동은 오버레이 멀티캐스트 트리에 영향을 주지 않는 장점을 가지고 있는 반면, 물리적 평면과 가상 평면 사이에서 오는 위상의 불일치로 인한 오버헤드가 많이 발생하는 단점을 가진다.

에드 후 네트워크에서 위의 단점을 보완하기 위해서 많은 오버레이 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들이 제안되었다. 대표적으로 LGT[7]는 멀티캐스트 송신원에게 주기적인 보고와 오버레이 멀티캐스트 트리의 주기적인 생성을 위해 지리적 위치 정보를 사용하는 반면, APPMULTICAST[4]는 오버레이 트리의 호스트간의 거리를 얻기 위하여 유니캐스트 라우팅 프로토콜을 사용한다. 위의 두 방법에는 여전히 해결해야 할 문제점이 남아있다. 첫 번째 문제점은 거리와 위치 정보가 수집이 되는 시점이고, 두 번째 문제점은 그룹 크기에 따른 확장성이 가능한가에 있다. 상기 프로토콜에서 언급되지 않은 또 다른 문제점은 오버레이 멀티캐스트 구조에서 Hot-Spot 지역에서의 데이터 전송 방법이다. Hot-Spot 지역이란 좁은 물리적 영역에 많은 멀티캐스트 호스트들이 존재하는 것을 의미한다. 예로써, 5개의 호스트가 근접해있으면, 멀티캐스트 데이터가 한 홉의 브로드캐스트로 5개의 호스트에 전달될 수 있다. 그러나, 오버레이 멀티캐스트에서는 많은 유니캐스트 데이터가 멀티캐스트로 데이터를 전달하는데 사용된다. 본 연구에서는 위에서 제시된 문제점들을 해결하기 위하여 멀티캐스트 호스트들로만 망을 구성하는 2-계층의 오버레이



(그림 1) 오버레이 멀티캐스트 구조



(그림 2) 2-계층 오버레이 멀티캐스트 구조

이 멀티캐스트 구조를 제안하고자 한다.

관련 연구로서, LGT[7]에서는 모든 그룹 구성원들이 주기적으로 자신의 지리적 위치정보를 멀티캐스트 송신원에 보고를 한다. 그리고, 송신원은 정기적으로 오버레이 트리를 다시 생성한다. PAST-DM[6]에서는 멀티캐스트 그룹의 각 호스트는 가중치의 연결상태 정보를 교환하고, 최종적으로 송신원은 가상 오버레이 평면의 전체적인 위상 정보를 알게 된다. APPMULTICAST[4]에서는 멀티캐스트 그룹의 각 호스트는 주기적인 POLL 메시지에 의하여 부분적인 망 위상 정보를 학습하고, 모든 서버는 정기적으로 오버레이 트리를 계산한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장의 서론에 이어서 제 2장에서는 제안된 계층적 오버레이 멀티캐스트 구조에 대하여 설명하고 제 3장에서는 멀티캐스트의 기능에 대하여 자세히 살펴본다. 제 4장에서는 HOMA와 LGT의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 및 결과를 살펴본다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론에 대하여 기술한다.

## 2. 계층적 오버레이 멀티캐스트 구조

본 장에서는 제안된 계층적 오버레이 멀티캐스트 프로토콜의 구조에 대하여 살펴보도록 한다. (그림 2)에서 보는 것처럼 HOMA는 멀티캐스트에 참여하는 호스트들만으로 정적인 지역을 기반으로 동적 그룹을 만들어 상위 계층에서는 그룹을 대표하는 호스트들 간의 오버레이 멀티캐스트 망을 형성하고, 하위 계층에서는 지역에 속한 멀티캐스트 호스트들 간의 멀티캐스트를 지원하는 응용 계층의 2-계층 오버레이 멀티캐스트 구조이다.

HOMA는 에드 후 네트워크에서의 오버레이 멀티캐스트 라우팅 문제를 해결하기 위하여 제안된 것으로 주목적은 물리적 평면상의 호스트의 이동을 오버레이 멀티캐스트 트리에 반영하는 문제를 해결하는 것과 Hot-Spot 지역에서의 효율적인 멀티캐스트 데이터 전송과 멀티캐스트 그룹 구성원의 증가에 따른 확장성의 지원이다.

HOMA는 GRID[14]와 ZHLS[11]와 같이 지역맵을 사용하고, LGT[7]와 LAR[13]과 같이 지리적 정보를 사용한다. HOMA는 2-계층의 멀티캐스트 라우팅 구조로서, 멀티캐스트 트리를 지역 기반의 전역 오버레이 멀티캐스트 트리(GOMT: Global Overlay Multicast Tree)와 호스트 기반의 지역 멀티캐스트 트리(LMT: Local Multicast Tree)로 구성한다. 전역 멀티캐스트 송신원(GMS: Global Multicast

Source)은 지역 대표 노드들로만 구성되는 논리적 멀티캐스트 그룹을 생성하고 각 노드들을 유니캐스트로 연결하여 전역 오버레이 멀티캐스트 트리(GOMT)를 유지하고, 전체 네트워크에 하나만 존재한다. 그리고, 지역 멀티캐스트 송신원(LMS: Local Multicast Source)은 지역 네트워크에 하나만 존재하며, 호스트 기반의 지역 멀티캐스트 트리(LMT: Local Multicast Tree)를 유지한다. GOMT의 구성원은 LMS이고, LMT의 호스트는 일반 멀티캐스트 그룹의 호스트들로 구성이 된다. GOMT를 구성하는 호스트들은 각각 LMT의 송신원이 된다. 계층적 멀티캐스트 구조는 그룹의 크기가 큰 멀티캐스트가 좀 더 나은 성능을 낼 수 있는 기반을 제공한다.

지역의 경계선은 물리적 평면과 가상 평면 사이의 위상을 일치시키기 위한 가입과 탈퇴의 이벤트를 생성하는 역할을 한다. 호스트는 경계선을 지날 때, 지역의 이동을 인지하고 이전 지역으로 탈퇴 메시지를 보내고, 이동한 지역에는 가입 메시지를 보낸다. 초기 가입 절차로서, LMS는 그 지역의 그룹 구성원의 수를 알 수 있다. 이 정보는 데이터 전송 정책을 결정하는데 사용될 수 있다. 만약 멀티캐스트 그룹의 수가 임계값을 넘는다면, LMS는 지역 내에서의 브로드캐스트 전송을 수행할 수 있다. 그 수가 임계값 이하이면, LMS는 지역 내에서 사용 가능한 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 사용한다. HOMA에서는 LGT와 같은 오버레이 멀티캐스트 프로토콜을 지역 멀티캐스트 프로토콜로 사용할 수 있다. 전역 멀티캐스트 트리는 일시적으로 각 지역을 대표하는 호스트로 구성이 되는 오버레이 멀티캐스트 트리이다. GOMT 평면의 초기 그래프는 모든 호스트들이 상호 연결된 그래프로 물리적 지역 정보를 기반으로 만들어지므로 구성 호스트의 이동은 부분적으로 GOMT 트리에 영향을 주지만 대부분의 경우에 그 영향력은 미비하다. LMT의 생성은 GOMT와는 독립적이며, LMS는 LMT의 생성과 유지 방법을 결정한다. 또한 LMS는 LMT가 필요한지 아닌지를 결정한다. 만약 멀티캐스트 그룹 구성원의 수가 임계값을 넘고, 지역 내의 브로드캐스트가 유니캐스트나 멀티캐스트보다 더 효율적이면, LMS는 LMT를 생성하지 않을 수 있다.

근본적으로, HOMA는 지역 간의 멀티캐스트를 위한 라우팅 프로토콜과 물리적 경로 설정을 위한 유니캐스트 라우팅 프로토콜을 사용한다. 이런 관점에서 보면, HOMA는 유니캐스트 라우팅 프로토콜과는 독립적인 멀티캐스트 프로토콜이다. 그러나, HOMA는 유니캐스트 프로토콜과 지역 멀티캐스트 프로토콜에 따라 성능의 차이를 보일 수 있다. HOMA는 GOMT의 생성과 관리를 담당하는 프로토콜로 다음과 같은 전체 조건을 갖는다. 모든 호스트는 GPS를 탑재하고 있으며, 지역에서의 브로드캐스트 기능을 가지며, 멀티캐스트 그룹의 구성원이 되고자 하는 호스트는 지역 내의 브로드캐스트 방법으로 가입 요청 메시지를 보낸다. 이 구조에 사용 가능한 지역 멀티캐스트와 유니캐스트 프로토콜의 종류와 이들의 의존성에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

지역 멀티캐스트 프로토콜은 멀티캐스트 트리의 생성과 관리 단계에서 기술된 절차들은 공유해야 한다. 지역 멀티캐스트 프로토콜의 기본 절차는 다음과 같다. (가) 멀티캐스트 그룹에 가입하고자 하는 호스트는 전체 망이 아니라 소속된 지역 내에 국한된 브로드캐스트 메시지를 전송한다. (나) LMS는 가입 메시지를 받으면, 멀티캐스트 그룹 구성원의 수를 증가시키고, 가입 요청에 대하여 응답을 한다. 기본 절차의 두 가지 특징을 요약하면, 첫째는 지역 내 브로드캐스트이며, 둘째는 LMS가 지역 내의 모든 멀티캐스트 그룹 구성원들을 관리하는 것이다. HOMA는 MAODV[10], DDM[8] 등과 같은 많은 멀티캐스트 프로토콜을 지역 멀티캐스트 프로토콜에 적용시킬 수 있다. 프로토콜의 전체적인 성능을 고려하여 지역 멀티캐스트 프로토콜을 선정하며, 본 논문에서는 LGT를 선정하여 실험하였다.

### 3. 계층적 오버레이 멀티캐스트 기능

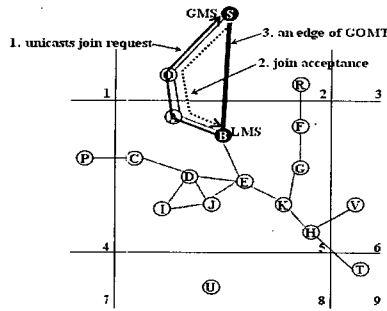
본 장에서는 2장에서 살펴본 HOMA의 구조에서 오버레이 멀티캐스트 트리를 생성하는 방식에 대하여 살펴보도록 한다. 여기서 기술되는 절차는 지역 내의 멀티캐스트 프로토콜과 유니캐스트 프로토콜들이 지원해야 하는 사항들이다.

#### 3.1 멀티캐스트 가입

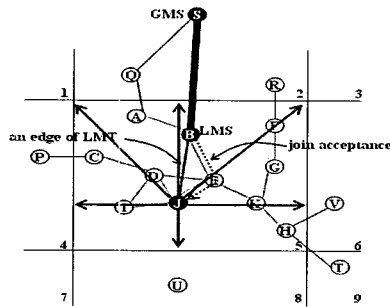
멀티캐스트 가입 절차는 전역 가입과 지역 가입의 두 단계로 나누어진다. 초기에 멀티캐스트 송신원이 멀티캐스트 그룹을 생성하고자 할 때, 자신의 위치 정보와 멀티캐스트 그룹 ID를 광고 메시지를 통해 전 네트워크에 브로드캐스트로 전달한다. 망의 모든 호스트는 멀티캐스트 그룹의 GMS 정보를 기록해둔다. 멀티캐스트 그룹에 가입하고자 하는 호스트는 지역 내에서 가입 메시지를 브로드캐스트로 전달한다. 가입 메시지의 응답에 따라서, 두 가지의 가입 절차로 그룹에 가입을 한다.

첫 번째는 전역 가입 절차로 가입 메시지에 대한 응답이 없는 경우는 해당 지역에 멀티캐스트 그룹의 구성원이 하나도 없을 때 발생한다. 현재 지역에 다른 멀티캐스트 구성원이 없다고 판단을 하고, 자신이 지역의 LMS가 된다. 그리고, 다음 단계로 GMS에게 가입 메시지를 유니캐스트로 전달을 한다. GMS는 가입 요청 메시지를 받으면 가입 요청을 한 지역이 GOMT에 속해 있는지 확인하고, 없으면 그 지역을 GOMT의 구성원으로 추가한다. 그리고, 가입을 요청한 호스트를 그 지역의 대표 호스트 즉, LMS로 설정하고, GOMT를 다시 생성하고, 가입 요청에 대한 응답을 한다. 그리고, GMS는 새로 생성된 트리 정보를 멀티캐스트 트리를 통하여 전송한다. (그림 3)은 호스트 B가 지역의 LMS가 되고 GMS에 가입하는 절차의 예를 보여준다.

두 번째는 지역가입 절차로 가입 응답 메시지를 받는 경우 이 호스트는 멀티캐스트 그룹에 가입이 된 것이다. LMS는 가입 요청 메시지를 받으면 가입 응답 메시지를 유니캐스트로 전달하고, LMT를 새로 생성한다. 그리고, 데이터를



(그림 3) 전역 가입 절차



(그림 4) 지역 가입 절차

전송할 때 새로 생성된 트리의 정보가 함께 전개된다. (그림 4)는 호스트 J가 지역의 LMS B에 가입하는 절차의 예를 보여준다.

3.2 멀티캐스트 탈퇴

HOMA에서는 멀티캐스트 구성원이 다른 지역으로 이동할 때 탈퇴 이벤트가 발생한다. 그래서, 탈퇴 절차는 지역을 벗어나는 호스트의 상태에 따라 결정이 된다. HOMA에서 멀티캐스트 구성원은 세 가지 형태로 일반 멀티캐스트 그룹 구성원, 지역 멀티캐스트 송신원(LMS), 그리고 전역 멀티캐스트 송신원(GMS)이 있다. 이전 지역에서 탈퇴 절차를 밟은 후 호스트는 새로운 지역에서 가입 절차에 따라 그룹에 새로 가입을 해야 한다.

첫 번째로 일반 멀티캐스트 그룹 구성원이 이동할 경우에는 호스트는 이전 지역의 LMS에게 탈퇴 메시지를 유니캐스트로 전송을 한다. 탈퇴 요청 메시지를 받은 이전 지역의 LMS는 그 지역의 LMT를 새로 생성한다. 일반 멀티캐스트 그룹 호스트의 탈퇴는 GOMT에 아무런 영향도 주지 않는다. (그림 5)는 일반 멀티캐스트 그룹 구성원인 호스트 J가 다른 지역으로 이동하면서 LMS인 호스트 B에게 탈퇴 메시지를 보내고, 지역 내의 트리가 재 생성되는 예를 보여준다.

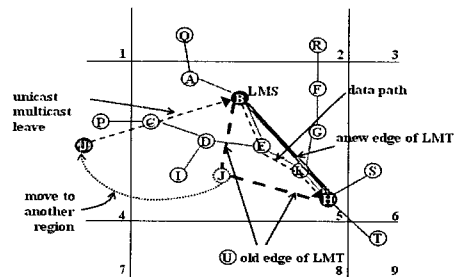
두 번째로 LMS가 이동할 경우는 다음과 같이 두 가지의 경우가 발생한다. 지역 내에 멀티캐스트 그룹 구성원이 하나인 경우에 LMS는 자신이 이전 지역의 멀티캐스트 그룹을 관리 했으므로, 자기 자신 외에는 다른 멀티캐스트 그룹 구성원이 없다는 것을 알고 있다. 그래서, LMS는 GMS에게 GOMT로부터 이전 지역의 삭제를 요청하는 메시지를 유니캐스트로 전송한다. GMS가 지역 삭제 요청 메시지를 받으면, 삭제 요청된 지역의 대표 LMS가 보낸 메시지만 확인

하고, GOMT를 새로 생성하여, 멀티캐스트 경로로 새로 생성된 트리 정보를 전송한다. (그림 6)은 멀티캐스트 그룹 구성원이 하나인 경우 LMS인 호스트 B가 탈퇴하는 예를 보여준다.

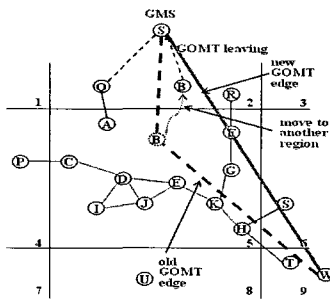
지역 내에 멀티캐스트 그룹의 구성원이 여럿인 경우에 위와 같이 이전 지역에 자신 외에 하나 이상의 다른 호스트가 존재한다는 것을 알고 있다. 그래서, LMS는 이전 지역의 멀티캐스트 그룹 구성원들 가운데 이전 지역의 중앙에서 가장 가까운 호스트를 새로운 LMS 역할을 할 호스트로 선택하고, GMS에게 이전 지역의 대표 LMS를 교체하는 메시지를 새로운 LMS의 정보를 포함하여 유니캐스트로 전송을 한다. 이전 LMS는 새로운 LMS에게 이전 지역의 LMT 정보를 유니캐스트로 전송한다. 새로 선정된 LMS는 이전 LMS로부터 받은 LMT 정보를 바탕으로 새로운 LMT를 생성한다. GMS는 지역의 LMS 교체 요청 메시지를 받고, 요청한 지역의 대표를 메시지에 포함된 새로운 LMS로 GOMT의 정보를 변경하고, GOMT의 업데이트 메시지를 구성원들에게 전송한다.

GMS에서 트리의 재생성과 업데이트는 다음과 같이 다르게 적용이 된다. 지역을 GOMT에서 삭제하는 경우에 트리는 최적의 트리 상태를 유지하기 위해 다시 생성이 되지만, 지역의 대표를 바꾸는 경우에는 GOMT의 트리 구성을 바꾸지 않고, 해당 지역의 대표 호스트의 정보만 변경을 하기 위해 관련 구성원들에게 부분적인 트리 업데이트 정보를 유니캐스트로 전송한다. (그림 7)은 이전 지역에 하나 이상의 다른 멀티캐스트 그룹 구성원이 존재할 경우에 LMS인 호스트 B가 다른 지역으로 이동하는 경우에 호스트 D가 새로운 LMS가 되는 예를 보여준다.

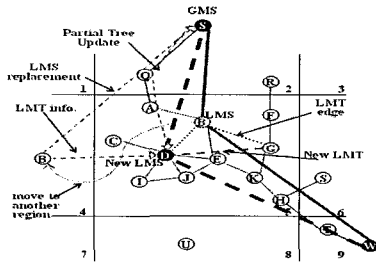
세 번째로 GMS가 이동할 경우는 항상 트리의 재생성을 요구한다는 것을 제외하고는, 이전 지역에서의 절차는 LMS가 이동하는 경우와 동일하다. GMS가 이동하는 지역의 특성에 따라 다음과 같이 두 가지의 경우로 설명이 될 수 있다. 먼저 GOMT 지역으로 이동할 경우에 GMS는 이동한 지역의 LMS를 자신으로 교체하는 절차를 수행한다. 이동한 지역의 LMS가 어떤 호스트인지는 GMS가 GOMT를 관리 해서 이미 알고 있으므로, GMS는 이 지역의 LMS에게 LMS 변경 요청 메시지를 보낸다. LMS는 GMS에게 이 지역의 LMT 정보를 포함한 LMS 포기 메시지를 유니캐스트로 전송한다. 다음으로 GOMT에 포함되지 않은 지역으로



(그림 5) 일반 멀티캐스트 그룹 노드의 탈퇴



(그림 6) 지역 내 단일 구성원인 경우 LMS의 탈퇴



(그림 7) 지역 내 복수 구성원인 경우 LMS의 탈퇴

이동할 경우에 이동된 지역은 GOMT에 새로 추가가 되며 GOMT를 새로 생성하고, 새로 생성된 트리의 정보를 멀티캐스트 경로를 통해 전송한다.

3.3 멀티캐스트 트리의 생성

GMS는 가입이나 탈퇴 요청 메시지를 받으면, 최적의 트리 상태 유지를 위하여 GOMT를 다시 생성한다. GOMT는 이동호스트를 기반으로 하지 않고 지역을 기반으로 생성이 된다. 미리 설정된 지역 맵이 있고, 이 정적인 정보는 GOMT를 재 생성하는데 아주 유용하다. 각 지역의 중앙은 각 지역의 물리적 위치를 대표한다. 수평, 수직의 이웃 지역 간의 거리는 1이며, 대각선의 이웃 지역간의 거리는  $\sqrt{2}$ 이다. 기본적인 거리 단위를 바탕으로 GOMT 평면의 모든 GOMT 지역은 상호 연결된 가중치 그래프(Fully Connected Weighted Graph)를 형성한다. GOMT를 만들고 관리하기 위해서, GMS는 상호 연결된 가중치 그래프에 MST 알고리즘을 적용한다. 첫째로, GMS가 최단 경로 알고리즘에 기반을 둔 Prim's MST 알고리즘을 사용하면, 최소 깊이의 멀티캐스트 트리를 생성할 수 있으나, 상호 연결된 가중치 그래프의 생성과 관리에 대한 계산이 복잡해 질 수 있다. 둘째로, GMS가 Kruskal 알고리즘을 사용하면, 자원 활용의 관점에서 보면 좋으나 멀티캐스트 데이터의 지연시간이 좋지 않은 비대칭의 멀티캐스트 트리를 생성한다. GOMT의 생성이 지역을 기반으로 하기 때문에 트리의 생성이 빈번하지 않다. 그래서 본 논문에서는 지역시간에 유리한 Prim's MST 알고리즘을 사용한다.

4. 시뮬레이션 모델 및 구현

본 장에서는 HOMA와 LGT의 성능을 평가하기 위한 시

뮬레이션 모델을 설명하고 그 결과를 분석하여 제안된 프로토콜 구조의 장점에 대하여 살펴본다.

4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 도구로 무선시스템을 위한 확장성 있는 시뮬레이션 환경을 만들 수 있는 C 언어를 기반으로 한 툴인 GloMoSim(Global Mobile Information System Simulator)라 이브리러리[15]를 사용하였다. 네트워크의 크기는 2Km의 정사각형으로 설정하고, 이동 노드의 수는 200, 각 호스트의 전파 범위는 250m, 각 노드는 Random Way-Point Pattern으로 이동, 이동 속도는 2/5/10/15/20 m/sec, 시뮬레이션 시간은 600초이고, 10개의 다른 Seed Number를 사용하고, 유니캐스트 프로토콜로는 AODV를 사용하였다. 그룹의 수는 5에서 35의 범위로 한다.

시뮬레이션 시작에서 노드는 생성된 멀티캐스트 그룹을 광고한다. 이동 망 공간의 모든 노드들은 멀티캐스트 그룹의 송신원(GMS)이 누구인지를 인지한다. 잠시 후, 멀티캐스트 그룹에 참가하고 싶은 노드들은 HOMA에 정의된 가입 절차에 따라서 멀티캐스트 그룹의 구성원이 된다. 시뮬레이션 동안 데이터 전송을 위한 송수신 데이터 패킷의 수, 수신된 멀티캐스트 제어 패킷의 수, 데이터 패킷이 경유한 홉의 수, 메시지의 통계를 위해 사용된 모든 메시지의 수를 기록한다. 모든 오버레이 멀티캐스트 프로토콜은 실제 데이터 전송을 위하여 유니캐스트 프로토콜을 사용하여야 한다. 이 시뮬레이션에서 AODV를 HOMA와 LGT의 유니캐스트 프로토콜로 사용하였다.

LGT를 HOMA의 지역 멀티캐스트 프로토콜로 적용하였으며, HOMA와 비교하는 오버레이 멀티캐스트 프로토콜로 사용하였다. LGT의 성능에 영향을 주는 요소 중 하나는 멀티캐스트 그룹 노드가 자신의 위치 정보를 보고하는 시간 간격이다. 지역 멀티캐스트 프로토콜로 적용된 LGT는 LGT-NO이다. LGT는 LGK(k=2)로 구현을 하였으며, 각 노드가 보내는 위치정보의 주기가 LGT의 주요한 오버헤드이므로 위치정보 보고 주기를 10초, 60초, 120초, 600초 적용하였다. 600초의 의미는 시뮬레이션의 총 수행 시간이 600초이므로 LGT의 위치 정보 보고가 없는 상황을 만든 것이다. 그래서, 10초의 경우는 60번, 60초의 경우는 10번, 120초의 경우는 5번, 600초의 경우는 0번의 위치 정보 보고가 발생을 한다. 위의 각 경우를 LGT-10S, LGT-60S, LGT-120S, LGT-NO로 표시한다.

성능을 측정하는데 사용된 메트릭은 다음과 같다.

(가) 패킷 전송률(Packet Delivery Ratio) : 패킷 전송률은 노드들이 받았어야 할 데이터의 수에 대한 실제로 수신된 데이터 패킷의 수를 나타내며, 이 수치는 프로토콜의 효율성을 측정한다.

(나) 제어 패킷 수(Number of Control Packets) : 모든 트래픽 패킷이 모든 시뮬레이션에서 동일하기 때문에 각 프로토콜에서 성공적으로 네트워크를 통해 전송된 제어 패킷의 홉 수를 측정한다. HOMA의 경우, 측정된 제어 패킷은 멀티캐스트 그룹 가입을 위한 지역 브로드캐스트 메시지,

탈퇴 메시지, 그리고 지역 이동으로 발생하는 제어 메시지를 포함한다. LGT의 경우는, 멀티캐스트 가입 브로드캐스트 메시지와 주기적인 위치 정보 보고 메시지를 측정한다.

(다) 데이터 패킷의 평균 홉 수(Average Edge Weight) : 오버레이 트리의 관리 능력을 측정하기 위한 값으로 AEW는 데이터 패킷이 이동한 평균 홉의 수를 의미한다. 시뮬레이션 시간 동안 생성되고 수정된 오버레이 멀티캐스트 트리의 총 비용은 AEW로 근사치를 구할 수 있다.

(라) 홉 수와 메시지 통계(Hop Count and Message Statistic) : 제어 메시지와 데이터 메시지를 포함한 모든 메시지는 각 메시지가 이동한 홉 수에 따라 분류가 된다. 메시지의 분배와 홉 수는 트래픽의 지역성을 보여준다.

4.2 시뮬레이션 분석

위에서 설정된 시뮬레이션 환경에서의 실험은 트리 비용을 나타내는 AEW, HOMA의 트래픽의 지역성을 보여주는 Small Hop Message Count, 프로토콜의 효율성을 나타내는 패킷 전송률(PDR)과 제어 메시지 수(NCP)의 측정에 초점을 두고 있다.

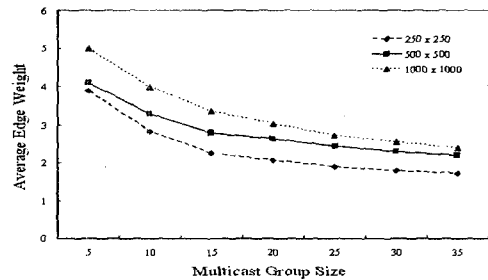
AEW는 멀티캐스트 프로토콜에 의해 생성되어 유지되는 오버레이 멀티캐스트 트리를 경유한 패킷의 평균 홉 수를 의미한다. 트래픽의 지역성은 물리적 망에서 3 홉까지의 메시지 수로 측정된다. 패킷 전송률은 노드가 받아야 하는 데이터 패킷의 수에 대한 전송된 데이터 패킷의 수의 비율을 나타낸다. 제어 패킷의 수는 전체 네트워크에서 초당 처리되는 평균 제어 패킷의 수를 나타낸다.

AEW는 (그림 8)과 (그림 9)에서 보여 주듯이 이동 속도에 비례하고, 그룹의 크기에 반비례한다. 노드가 빠르게 움직이면 제어 메시지가 자주 발생을 하게 되고, 지역의 내부에 더 많은 홉들을 만드는 것처럼 보인다. 그룹의 크기가 증가하였을 때, 모든 노드들이 최단 경로로 연결이 되어 있

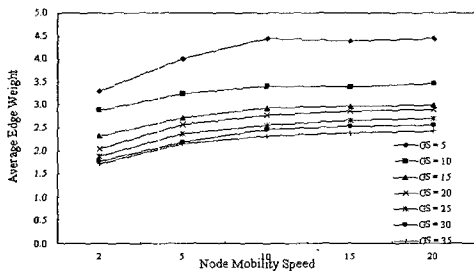
으면, 이들간의 평균 거리는 감소되어야 한다. 일반적으로 HOMA에서 평균 거리는 그룹의 크기가 증가함에 따라 감소한다. 그룹 구성원의 수가 지역의 수 보다 작으면, AEW의 값은 상대적으로 더 높다. 반면, 그룹의 크기가 크면, AEW의 값은 작아지면서 더 안정적으로 된다.

(그림 10)에서와 같이 지역의 크기를 250m X 250m으로 설정하면 전체 네트워크의 지역의 수는 64이고, 1000m X 1000m으로 설정을 하면 지역의 수는 4가 된다. 지역의 수가 증가함에 따라 HOMA에 의해 생성되는 제어 패킷은 증가하는 반면, AEW는 감소하고, 트래픽의 지역성은 더 좋아진다. 모든 경우에 있어서 그룹의 크기가 커질수록 데이터 패킷의 전송 오버헤드는 줄어든다.

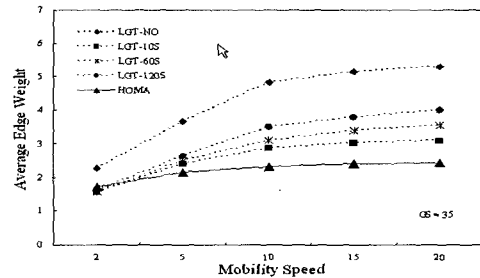
다음으로, (그림 11)에서는 네 가지의 프로토콜을 AEW로 비교하였다. 위치정보 보고 주기가 짧을수록 제어 오버헤드는 커진다. 그러나, AEW 관점에서 빈번한 보고는 최신의 멀티캐스트 트리를 유지하는데 도움이 된다. 그러나, HOMA가 LGT-NO 스타일의 지역 멀티캐스트 프로토콜을 적용하는데도, AEW에서 좋은 성능을 보여준다. (그림 12)에서 3홉보다 작게 이동한 패킷의 수와 비율을 보여준다. HOMA에서는 76%의 메시지가 3홉 미만으로 트래픽의 지역성을 잘 나타낸다.



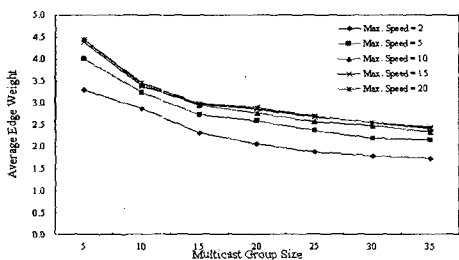
(그림 10) Average Edge Weight (Region Size)



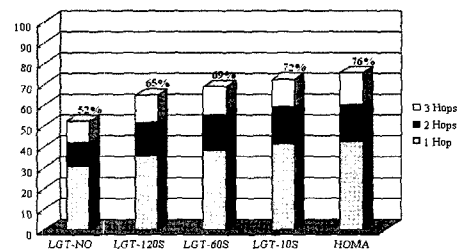
(그림 8) Average Edge Weight (Speed)



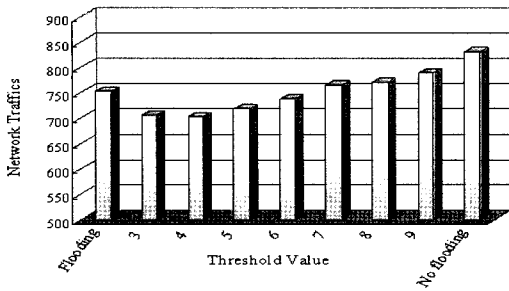
(그림 11) Average Edge Weight (Protocols)



(그림 9) Average Edge Weight (Group Size)



(그림 12) Locality of Traffic

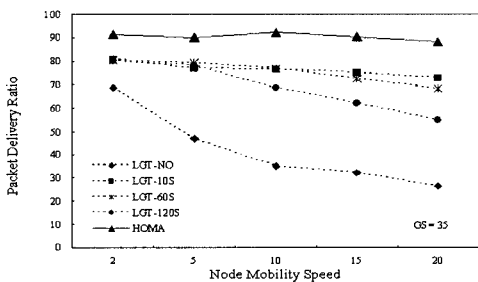


(그림 13) Threshold

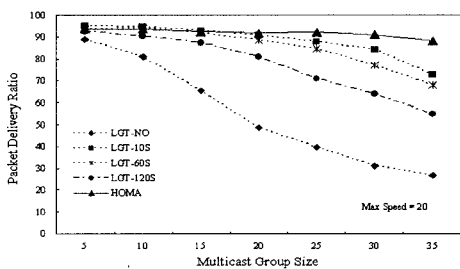
HOMA의 Hot-Spot 임계값은 (그림 13)에서와 같이 측정되었다. 200개의 노드들 중 35개가 멀티캐스트 그룹의 구성원이 되는 상황에서 네트워크 트래픽 값이 측정된다. MAC 계층에서 IP계층으로 전송된 모든 패킷의 수가 계산된다. 실험 결과로 볼 때, 플러딩이 적용된 경우가 오버레이 멀티캐스트만 사용한 경우보다 좋은 성능을 나타낸다. 오버레이 멀티캐스트에서 플러딩으로 데이터 전송 메커니즘을 변경하는데 사용되는 실험적으로 얻어진 최적의 임계값은 4이다. 낮은 임계값이 선택되면, 플러딩은 총 네트워크 트래픽을 증가시키고, 높은 임계값이 선택이 되면, LMT를 위한 유니캐스트가 트래픽을 증가시킨다.

(그림 14, 15)에서, 이동 속도와 그룹 구성원의 수가 증가하면 LGT의 성능은 단계적으로 HOMA보다 떨어진다. 초기의 오버레이 멀티캐스트 트리를 유지하는 LGT-NO는 빠르게 떨어지는 반면, 10초 주기로 위치정보를 보고하는 LGT-10S는 천천히 떨어진다. 이동속도가 20m/s이고 그룹의 구성원이 35인 경우에, LGT-NO는 HOMA의 PDR의 30%, LGT-120S는 62%, LGT-60S는 77%, LGT-10S는 82%를 보여준다.

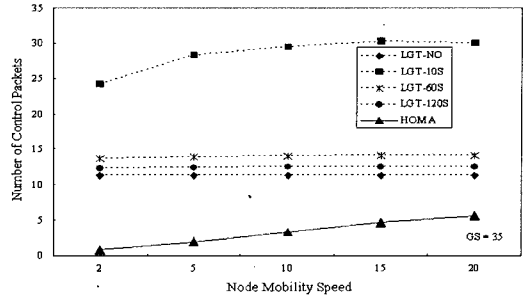
(그림 16, 17)에서, LGT의 NCP는 노드의 이동 속도에 영향을 받지 않지만, 그룹의 크기에는 비례한다. 반면, HOMA



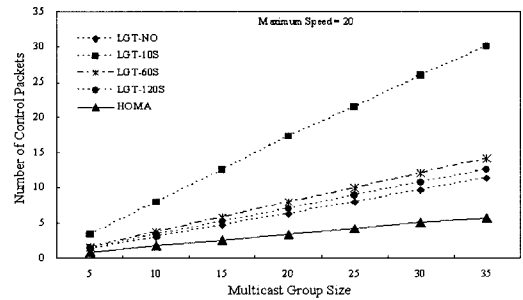
(그림 14) Packet Delivery Ratio(Speed)



(그림 15) Packet Delivery Ratio(Group Size)



(그림 16) Number of Control Packet(Speed)



(그림 17) Number of Control Packet(Group Size)

의 NCP는 노드의 이동 속도와 그룹의 크기에 모두 영향을 받아 비례한다. HOMA는 제어 패킷을 그룹 내에서만 브로드캐스트하고, LGT는 전체 네트워크에 브로드캐스트 함으로 HOMA가 좋은 성능을 보여준다. HOMA의 각 지역에 사용된 LGT는 위치정보를 주기적으로 보고하지 않는다.

### 5. 결론

본 논문에서는 애드 hoc 네트워크에서의 오버레이 멀티캐스트 방법에 대한 연구를 수행하였다. 오버레이 멀티캐스트의 효율성은 어떻게 노드의 위치정보를 최신의 값으로 관리하는가에 달려있다. 그러나, 정확한 위치정보를 관리하기 위해서는 상당한 오버헤드가 발생한다. 우리는 HOMA라고 부르는 2-계층의 오버레이 멀티캐스트 구조를 제안하였다. 노드의 정확한 위치보다는 지역정보로 멀티캐스트 트리를 생성함으로써, 제어 메시지의 오버헤드를 줄이고, 효율적인 오버레이 멀티캐스트 트리를 생성하였다. 시뮬레이션의 결과로 볼 때, HOMA는 많은 제어 패킷을 생성하지만, HOMA의 제어 메시지에 의해 사용되는 네트워크 자원은 LGT에 의한 것보다 작다. HOMA는 패킷 전송률과 제어 메시지 수에서 다른 프로토콜보다 더 나은 성능을 보여주었고, 노드의 이동 속도와 그룹의 크기에 대하여 확장성을 보여준다. 그리고, HOMA가 그룹의 크기와 이동 속도에 확장성이 있고, 대부분의 HOMA 패킷은 지역 내에서의 트래픽을 발생시키므로 Hot-Spot 임계값으로 최적화 될 수 있다. Hot-Spot 영역에서는 오버레이 멀티캐스트 보다는 플러딩을 사용할 것을 제안한다. 향후 연구로는 독립적으로 선택될 수 있는 지역 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 따른 성능의 변화와 Hot-Spot 영역에서 적용 가능한 효율적인 플러딩 기법

들과 지역 내의 LMS의 선출에 대한 방법들에 대하여 살펴 보고자 한다. 추가로, 현재 제안된 HOMA의 좀 더 객관적인 성능 비교를 위해서 LGT의 다른 프로토콜과의 성능 비교를 위한 시뮬레이션의 구현도 진행할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. Mohapatra, C. Gui, and J. Li, "Group Communications in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Computer Magazine, pp.52-59, Feb., 2004.
- [2] A. Detti, C. Loreti, and P. Loreti, "Effectiveness of Overlay Multicasting in Mobile Ad Hoc Networks," Communications, 2004 IEEE International Conference on, Vol.7, pp.3891-3895, Jun., 2004.
- [3] L. Xiao, A. Patil, L. M. Ni, and A. H. Esfahanian, "Prioritized Overlay Multicast in Mobile Ad Hoc Environments," IEEE Computer, Vol.37, pp.67-74, Feb., 2004.
- [4] J. Biswas and S. K. Nandy, "Application Layer Multicasting for Mobile Ad Hoc Networks with Network Layer Support," Proceedings of the 29th IEEE LCN'04, 2004.
- [5] C. M. Cordeiro, H. Gossain, and D. P. Agrawal, "Multicast over Wireless Mobile Ad Hoc Networks: Present and Future Directions," IEEE Network, pp.52-59, Jan/Feb., 2003
- [6] C. Gui and P. Mohapatra, "Efficient Overlay Multicast for Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of 2003 IEEE WCNC, Vol.2, pp.1118-1123, 2003.
- [7] K. Chen and K. Nahrstedt, "Effective Location-Guided Tree Construction Algorithms for Small Group Multicast in MANET," In Proceedings of INFOCOM, Vol. 3, pp.1180-1189, Jun., 2002.
- [8] L. Ji and M. Corson, "Differential Destination Multicast - A MANET Multicast Routing Protocol for Small Groups," In Proceedings of IEEE INFOCOM, pp.1192-1202, Apr. 2001.
- [9] S. J Lee, W Su, J. Hsu, M. Gerla, and R. Bagrodia, "A Performance Comparison Study of Ad Hoc Wireless Multicast Protocols," IEEE INFOCOM 2000, Vol.2, pp.565-574, Mar., 2000.
- [10] E. M. Royer and C. E. Perkins, "Multicast Operation of the Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol," ACM MobiCom, pp.207-218, Aug., 1999.
- [11] M. Joa-Ng and L. I-Tai, "A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Aug., 1999.
- [12] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing," In Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp.90-100, Feb., 1999.
- [13] Y. B Ko and N H Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," Wireless Networks, Vol 6, Issue 4, pp.307-321, Jul., 2000.
- [14] W. H. Liao, Y. C. Tseng, and J. P. Sheu, "GRID: A Fully Location-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," <http://citeseer.ist.psu.edu/liao01grid.html>
- [15] GlomMoSim, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>

### 김 갑 동



e-mail : kdkim71@etri.re.kr  
 1997년 충남대학교 컴퓨터학과(학사)  
 2000년 충남대학교 대학원 컴퓨터학과  
 (이학석사)  
 2000년~2002년 (주)베리텍 연구소 팀장  
 2002년~현재 한국전자통신연구원 디지털  
 홈연구단 연구원

관심분야 : 컴퓨터 통신, AdHoc 네트워크, 멀티캐스트 프로토콜

### 박 준 희



e-mail : juni@etri.re.kr  
 1995년 충남대학교 컴퓨터학과(학사)  
 1997년 충남대학교 컴퓨터학과(석사)  
 2005년 충남대학교 컴퓨터학과(박사)  
 1997년~현재 한국전자통신연구원 디지털  
 홈연구단 선임연구원

관심분야 : 홈네트워크, 무선/이동 통신

### 이 광 일



e-mail : leeki@etri.re.kr  
 1993년 충남대학교 컴퓨터학과(학사)  
 1996년 충남대학교 컴퓨터학과(석사)  
 2001년 충남대학교 컴퓨터학과(박사)  
 2002년 미국립표준기술연구원(NIST)  
 객원연구원

2004년 메릴랜드주립대 연구원

2005년 텍사스주립대학 연구원

20061년~현재 한국전자통신연구원 디지털홈연구단 선임연구원

관심분야 : 무선/이동 통신, QoS, 스위칭/라우팅, 홈 네트워크

### 김 학 영



e-mail : h0kim@etri.re.kr  
 1983년 경북대학교 전자공학과(학사)  
 1985년 경북대학교 대학원 전자공학과  
 (공학석사)  
 2003년 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과  
 (공학박사)

1988년~현재 한국전자통신연구원 디지털홈연구단 인터넷서버  
 그룹 책임연구원(팀장)

관심분야 : 시스템 소프트웨어, GRID, AdHoc 네트워크

### 김 상 하



e-mail : shkim@cnu.ac.kr  
 1980년 서울대학교 화학과(학사)  
 1984년 University of Huston(석사)  
 1989년 University of Huston(박사)  
 1992년~현재 충남대학교 전기정보통신  
 공학부 교수

관심분야 : 무선/이동 통신, 컴퓨터 통신