

무선 에드혹 네트워크에서 지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅 프로토콜

준희원 임 정 은*, 정희원 유 상 조*

Region-based Tree Multicasting Protocol in Wireless Ad-Hoc Networks

Jung-Eun Lim* Associate Member, Sang-Jo Yoo* Regular Member

요 약

본 논문에서는 무선 에드혹 네트워크에서 효율적인 데이터 전송을 위한 멀티캐스팅 프로토콜을 제안한다. 기존에 제안된 유무선망에서의 멀티캐스팅 프로토콜들은 이동성에 의한 망의 동적인 변화, 제한된 대역폭, 높은 에러율 등의 특성을 지닌 무선 에드혹 네트워크 환경을 고려하지 못하여 이를 그대로 무선 에드혹 망에 적용할 경우 나쁜 성능을 보인다. 이를 해결하기 위하여 에드혹 네트워크 환경을 고려한 멀티캐스팅 프로토콜들이 제안되었다. 그러나 이들 프로토콜 또한 제어메시지 오버헤드와 대역폭의 낭비를 줄이는 동시에 높은 데이터 전달률을 제공하지는 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 개선한 지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅 프로토콜(RTMA)을 제안한다. 지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅은 위치 정보를 이용하여 지역을 나누어 지역 별로 트리를 구성한다. 이것은 송신자의 수가 많은 경우에도 제어 메시지의 오버헤드를 줄이는 동시에 효율적인 데이터 전송을 위한 것이다. 또한 이동성에 대처하지 못하는 트리 구조의 특성을 보완하기 위하여 속도정보를 이용하여 이동성이 큰 노드를 경로에서 제외시켜 신뢰성 있는 트리를 구성한다.

Key Words : Ad-hoc networks, Multicasting, Source-tree based, Shared-tree based

ABSTRACT

In this paper, we propose an effective multicasting protocol in wireless ad-hoc networks. Conventional wired and wireless network multicast protocols do not perform well in wireless ad hoc networks because they were designed without consideration of ad hoc environments such as node mobility, limited bandwidth, high error probability. To solve this problem, some multicasting protocols for ad hoc network have been proposed in the literature. However, these protocols can not provide high packet delivery ratio, low control packet overhead and low expended bandwidth at the same time. Therefore, in this paper, we propose RTMA that improves multicasting performance in wireless ad hoc networks. RTMA calculates its current region from its position information by using GPS in order to make tree among the multicast group nodes in the same region. The proposed region-based tree method is for high packet delivery ratio, low control packet overhead when many senders send data packets. RTMA makes a reliable tree by using speed information to fill a gap of the weak points of the tree structure. When searching the routing path, RTMA selects the reliable path excluding high speed nodes.

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망연구실(neutrino@hanafos.com, sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-09-373, 접수일자 : 2005년 09월 14일

※이 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2005-202-D00321)

※본 연구는 정보통신부/정보통신연구진흥원 정보통신기초기술 연구지원사업의 연구결과로 수행되었음

I. 서론

에드혹 네트워크 (ad-hoc network)란 기반망이 구축되지 않은 곳에서 각 이동 단말이 독자적인 망을 구성하여 통신을 수행하는 네트워크를 말한다. 에드혹 네트워크에서는 각 이동 단말이 라우터의 역할을 수행해야 하며 망의 구성이 매우 동적으로 변하는 것이 특징이다. 또한 대역폭이 낮고 에러율이 높은 무선 채널의 특성으로 처리할 수 있는 작업량에도 한계가 있기 때문에 대역폭의 낭비와 많은 작업량의 처리 없이도 망의 동적인 변화에 빠르게 대응할 수 있어야 한다.

멀티캐스팅(multicasting)은 멀티캐스트 그룹의 주소를 목적지 주소로 하여 전송되는 데이터를 그 그룹에 속하는 단말들에게 전송하는 방법으로 유니캐스트(unicast)가 같은 데이터를 중복하여 전송하는데 비해 대역폭의 낭비와 작업량 및 지연 시간을 최소화할 수 있다. 채널 용량이나 단말기의 능력이 제한된 에드혹 네트워크에서 멀티캐스트를 사용하면 대역폭의 낭비를 줄이면서 데이터를 서비스할 수 있기 때문에 효율적이다. 기존 유선망에서 제안된 멀티캐스팅 프로토콜로는 DVMRP^[1], MOSPF^[2], CBT^[3], PIM^[4] 등이 있다. 그러나 이러한 프로토콜들은 에드혹 네트워크 환경에서 매우 낮은 효율성을 나타낸다. 이는 이동성에 의한 망의 동적인 변화, 제한된 대역폭, 높은 에러율등의 무선 링크의 특성을 지닌 에드혹 네트워크 환경을 고려하지 못하기 때문이다. 이를 해결하기 위하여 에드혹 네트워크 환경에서의 멀티캐스팅 프로토콜들인 AMRIS^[5], DDM^[6], MAODV^[7], MZRP^[8], ODMRP^[9], FGMP^[10], CAMP^[11], Overlay Multicast^{[12][14]}, WARM^[13], RBM^[16], CBM^[17] 등이 제안되었다.

현재 에드혹 네트워크 환경에서 제안된 멀티캐스팅 프로토콜은 토폴로지의 구성 방법에 따라 크게 트리 기반(tree-based)과 메쉬 기반(mesh-based)으로 구분된다. 트리 기반 멀티캐스팅은 유선망에서 제안된 방법으로 송신자와 수신자 간의 경로를 오직 하나만 제공하여 대역폭의 낭비를 막는다. 그러나 이동성이 큰 환경에서 노드의 이동으로 인한 링크의 단절이 발생한 경우 여분의 경로가 존재하지 않아 낮은 데이터 전달률을 나타낸다. 이러한 노드의 이동으로 인한 데이터 전달률의 저하를 막기 위하여 메쉬 기반 프로토콜이 제안되었다. 메쉬 기반 프로토콜들은 송신자와 수신자 간의 경로를 한 개 이상 제공한다. 즉 노드의 이동에 의해 링크가 단절 되

라도 여분의 링크를 통해 데이터를 전달하므로 트리 기반 멀티캐스팅에 비해 보다 나은 성능을 보인다. 그러나 노드의 이동성에 대비하기 위해 동일한 데이터를 다중 경로로 중복하여 전송하므로 트리 기반의 멀티캐스팅에 비해 대역폭의 낭비가 크다.

이렇게 현재까지 제안된 에드혹 네트워크에서의 멀티캐스팅 프로토콜들은 에드혹 네트워크의 환경을 고려하여 설계되었다. 그러나 제어메시지 오버헤드와 대역폭의 낭비를 줄이는 동시에 높은 데이터 전달률을 제공하지는 못하고 있다. 따라서 제안된 논문에서는 높은 데이터 전달률을 제공하는 동시에 제어메시지 오버헤드와 대역폭의 낭비를 허용 범위 이하로 줄이는 새로운 멀티캐스팅 프로토콜인 지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅 프로토콜(RTMA)을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 멀티캐스팅 프로토콜의 문제점을 살펴보고, 제 3장에서는 제안한 RTMA 프로토콜의 매커니즘을 설명한다. 제 4장에서는 제안한 방법에 대한 성능 평가를 수행하였으며, 마지막으로 제 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 기존 멀티캐스팅 프로토콜의 문제점

현재 에드혹 네트워크 환경에서 제안된 멀티캐스팅 프로토콜은 토폴로지의 구성 방법에 따라 크게 트리 기반(tree-based)과 메쉬 기반(mesh-based)으로 구분된다. 트리 기반 멀티캐스팅 프로토콜로는 대표적으로 AMRIS, DDM, MAODV, MZRP 등이 있다. 트리 기반 멀티캐스팅은 유선망에서 제안된 방법으로 송신자와 수신자 간의 경로를 오직 하나만 제공하여 자원의 낭비를 막는다. 이동성이 큰 환경에서 링크의 단절이 발생한 경우 이를 대체할 여분의 경로가 존재하지 않아 경로를 복구할 때까지 데이터 전송이 지연된다. 결과적으로 여분의 경로가 존재하여 링크의 단절 시에도 데이터 전송이 가능한 메쉬 기반 멀티캐스팅에 비해 데이터 전달률이 떨어진다. 트리 기반 멀티캐스팅은 다시 송신자 트리 기반과 공유 트리 기반으로 나뉘어 분류한다.

송신자 트리 기반(source-tree-based) 멀티캐스팅은 멀티캐스트 그룹 내의 각 송신자들이 자신을 루트로 하는 별개의 트리를 구성하여 데이터를 전송하는 것으로 최단 경로 트리라고도 한다. 그림 1에서 송신자 S1은 자신을 트리의 루트로 하고 수신자

R1, R2, R3을 포함하는 송신자 기반 트리를 구성한다. 마찬가지로 송신자 S2, S3도 각각 자신을 루트로 하는 별개의 트리를 구성하여 데이터를 전달한다. 즉 전달 경로가 하나의 송신자에서 각 수신자에 이르는 최단 유니캐스트 경로를 기준으로 하기 때문에 모든 데이터는 전송 지연이 적은 최단 경로로 전송된다. 따라서 전송 지연 측면에서 효율적이다. 또한 송신자가 보내는 데이터는 각 송신자가 구성한 트리를 통해서 전달되므로 네트워크 내에서 일정 경로로 트래픽이 집중되는 현상이 적다. 그러나 한 멀티캐스트 그룹에 대하여 송신자의 수만큼 트리가 생성되므로 송신자의 수가 많거나 멀티캐스트 그룹의 구성원들이 네트워크에 산재되어 있는 경우 트리를 유지하기 위한 제어 메시지 수의 증가로 인하여 대역폭이 낭비되는 문제를 갖는다. 또한 한 그룹 당 송신자의 수만큼 트리가 구성되므로 많은 메모리를 소비한다. 이러한 제약으로 인해 송신자 트리 기반 방식은 효율성이 크에도 불구하고 대역폭이 낮고 에어로율이 높은 무선 채널을 사용하는 에드혹 네트워크에 적합하지 않다.

공유 트리 기반(shared-tree-based) 멀티캐스팅은 하나의 멀티캐스트 그룹에 대해 모든 송신자가 한 개의 멀티캐스트 트리를 공유하여 사용하는 방식으로, 송신자와 수신자 모두 공유 트리의 루트 노드에 이르는 최단 경로를 통해 데이터를 주고받는다. 그림 2에서 송신자 S1, S2, S3는 임의의 노드를 루트로 하는 한 개의 멀티캐스트 트리를 공유하여 사용한다. 따라서 그룹 당 공유 트리 한 개만 구성하면 되므로 송신자 트리 기반 방식에 비해 매우 우수한 확장성을 갖는다. 그러나 송신자에서 각 수신자에 이르는 최단 경로로 데이터를 전송하지 못하고 공유 트리의 관점에서의 최단 경로를 통해 데이터가 전송되므로 송신자 트리 기반 방식에 비해 전송 지연 시간이 길다. 또한 송신자들이 보내는 모든 데이터가 공유 트리를 통하여 그룹 멤버들에게 전달되므로 많은 수의 송신자가 동시에 데이터를 전송하려 시도한다면 트래픽이 공유 트리에 집중되어 링크의 대역폭이 작은 에드혹 네트워크의 경우 충돌이 발생하여 데이터를 전달하지 못할 확률이 높아질 수 있으며 이는 네트워크의 전반적인 효율에 악영향을 미칠 수 있다.

또한 공유 트리의 임의의 가치가 단절된 경우 모든 송신자들이 보내는 데이터의 전달에 영향을 미치기 때문에 각각 트리를 관리하는 송신자 트리 기반 방식에 비해 낮은 성능을 나타낸다. 그러나 송신

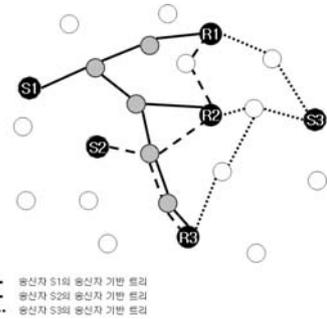


그림 1. 송신자 트리 기반 멀티캐스팅

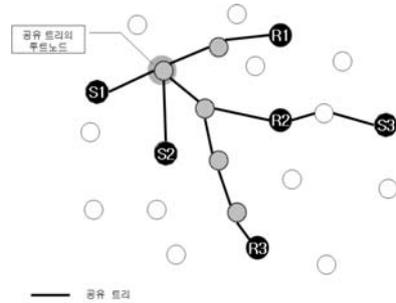


그림 2. 공유 트리 기반 멀티캐스팅

자 수와 전체 멀티캐스트 그룹의 수가 많지 않은 경우에는 비교적 효율적인 데이터 전달률을 나타낸다. 기존에 제안된 공유 트리 기반 에드혹 멀티캐스팅 프로토콜에는 MAODV^[7]가 있다.

트리 기반 멀티캐스팅은 이동성이 큰 환경에서 링크의 단절이 발생한 경우 이를 대체할 여분의 경로가 존재하지 않아 데이터 전달률이 떨어진다. 이러한 데이터 전달률의 저하를 막기 위하여 메쉬 기반 프로토콜이 제안되었다. 대표적인 메쉬 기반 프로토콜로는 ODMRP, DCMP, FGMP, CAMP 등이 있다. 메쉬 기반 멀티캐스팅은 송신자와 수신자간의 경로를 한 개 이상 제공한다. 다중 경로가 존재하므로 노드의 이동에 의해 링크가 단절되더라도 여분의 링크를 통해 데이터가 전달되므로 에드혹 네트워크에서 트리 기반 멀티캐스팅에 비교하여 보다는 성능을 보인다. 그러나 노드 이동에 대비하기 위해 동일한 데이터를 다중 경로로 중복하여 전송하므로 트리의 멀티캐스팅에 비해 대역폭이 낭비된다. 또한 메쉬 기반 멀티캐스팅으로 제안된 ODMRP^[9]의 경우 송신자의 수가 많을수록 제어 메시지가 과도하게 발생하여 충돌 및 혼잡으로 인한 성능 저하를 유발할 수 있다. 즉 송신자의 수가 많은 멀티캐스팅의 경우에는 적합하지 못하다.

에드혹 네트워크 환경의 문제점을 해결하기 위하

여 제안된 또 다른 개념으로는 비 연결 유지 (stateless) 방법이 있다. 비 연결 유지(stateless) 방법의 대표적인 프로토콜로는 DDM^[6]이 있다. 비 연결 유지(statless) 방법이란 노드들이 라우팅 테이블에 데이터 전달을 위한 현재 상태(state)를 따로 관리하지 않고 데이터 패킷에 상태를 유지함으로 해서 각 단말의 현재 상태(state)를 유지하기 위한 메모리 자원의 낭비를 막는 것이다. 그러나 멀티캐스트 그룹의 수가 많은 경우 데이터패킷에 실어야 할 상태가 많아져서 확장성의 문제를 갖는다.

기타 방법으로 멀티캐스트 그룹의 멤버만을 포함한 가상의 논리적 구조를 유지하여 오버헤드를 줄이고자 하는 오버레이(Overlay) 멀티캐스팅^{[12][13]}과 QoS(quality of service)를 보장하기 위한 멀티캐스팅^{[14][15]}, 사용자의 특정 사용 용도에 의존하는application-dependent 멀티캐스팅 프로토콜^{[16][17]} 등이 있다.

III. 지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅 프로토콜(RTMA)

3.1 지역 기반 트리의 구조

지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅 프로토콜(RTMA)은 트리 구조를 사용하여 자원의 낭비를 막는다. 이는 메쉬 기반 멀티캐스팅처럼 다중 경로를 제공하는 것이 신뢰성을 높이는 대신 그 대가로 단일 경로만을 제공하는 트리 기반에 비해 많은 대역폭을 소비하여 네트워크에 오버헤드를 가중시키기 때문이다. 대역폭의 제한이 많은 에드혹 네트워크에서 신뢰성을 높이기 위해대역폭을 소비하는 것은 좋은 해결책이 될 수 없다.

이전 장에서 살펴본 바와 같이 송신자 트리 기반과 공유 트리 기반 멀티캐스팅은 서로 트레이드오프를 지니고 있다. 송신자 트리 기반 방식은 송신자의 수만큼 트리를 가지고 있기 때문에 노드의 이동성에도 비교적 성능이 좋은 반면 송신자 수의 증가에 따른 트리 개수의 증가로 인한 제어 메시지의 오버헤드로 확장성의 문제를 지니고 있다. 반면 공유 트리 기반 방식은 확장성이 좋은데 반해 이동성이 커서 공유 트리의가치가 단절이 되는 경우 전체 송신자들이 보내는 데이터 전달에 영향을 미치기 때문에 송신자 기반 트리보다 낮은 성능을 나타낸다. RTMA는 이렇게 트레이드오프를 지닌 송신자 트리 기반 방식과 공유 트리 기반 방식의 하이브리드 방식을 사용한다.

본 논문에서 제안하는 지역 기반 트리를 이용한

멀티캐스팅 프로토콜은 노드의 위치 정보를 이용하여 지역을 나누어 지역별로 송신자들을 묶은 후 각 지역의 송신자들이 하나의 트리를 공유하여 데이터를 수신자에게 전달한다. 지역을 분할하는 방법은 다음과 같다.

그림 3과 같이 GPS 등을 통한 위치 정보에 기반을 두어 에드혹 네트워크를 여러 지역으로 나눈다. 각 노드는 자신의 현재 위치를 알 수 있으며 자신이 어떤 지역 안에 있는지 알 수 있다. 각 지역에 있는 노드들은 동일한 지역의 멀티캐스트 그룹 멤버 노드들 중에서 대표 노드를 선출하게 되며, 그림 3의 경우는 노드 B가 지역 1의 대표 노드이다. 지역의 대표가 아닌 노드는 다른 지역의 노드로 데이터를 전송할 수 없다. 만약 지역 1의 대표 노드가 아닌 노드 A가 다른 지역 3으로 데이터를 보낸다면 하더라도 노드 C는 데이터를 폐기시킨다.

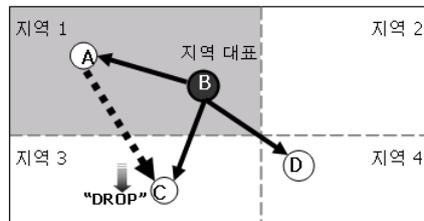


그림 3. 위치 정보를 이용한 지역 분할

이와 같이 본 논문에서 제안하는 RTMA 프로토콜은 지역을 나누기 위해 각 단말이 GPS 장치와 같은 위치 인식 장치를 가지고 있다고 가정한다. 현재 에드혹 네트워크 분야에서는 효율적인 라우팅 경로를 설정하기 위해 위치 정보를 이용한 프로토콜들이 연구되고 있다. 대표적인 프로토콜로 LAR^[19], GRID^[20] 등이 있으며 이 프로토콜들은 GPS 장치와 같은 위치 인식 장치를 가지고 자신의 위치 정보를 산출 한다는 전제를 가진다. 이는 망의 구성이 매우 동적으로 변하는 특징이 있는 에드혹 네트워크에서 효율적인 라우팅 경로를 구축하기가 매우 어렵고 복잡하기 때문에 위치 및 속도 등의 부가적인 정보를 이용하여 문제를 해결해보고자 하는 시도이다. 그러나 이러한 방법은 모든 단말들이 GPS와 같은 기능을 가지고 있어야 한다는 complexity를 지닌다. 그러나 최근에는 모든 단말들이 GPS를 가지는 것이 아니라 GPS를 가진 단말과 가지지 못한 단말이 섞여 있는 상황을 가정하고 GPS를 가지지 못한 단말들이 GPS를 가진 단말의 도움을 받아 정보를 유추하는 방법을 통하여 complexity를 줄이고자 하는

연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구의 예로는 localization system을 들 수 있는데 대표적인 예드혹 네트워크에서의 localization system으로는 RF based proximity method^[21], Picoradio project^[22]가 있다.

그림 4와 같이 각 지역 안에서는 지역 안에 존재하는 멀티캐스트 그룹 노드들을 포함하는 지역 내 공유 트리를 구성한다. 멀티캐스트 그룹 노드는 멀티캐스트 그룹에 가입 하면 송신자 혹은 수신자가 될 수 있다. 지역 안에 멀티캐스트 그룹 멤버가 없는 경우에는 지역 내 공유 트리가 존재하지 않는다. 지역 내 공유 트리를 구성하는 이유는 지역의 대표를 선출하기 위해서이다. 지역의 대표는 지역 내 공유 트리의 루트 노드로 정한다. 즉 위의 그림 3에서의 지역 대표 B는 지역 1의 공유 트리의 루트이다. 멀티캐스트 그룹에 가입하고자 하는 노드는 자신이 속해있는 지역 내 공유 트리에 가입 의사를 전달하고 공유 트리의 하단 노드로 붙게 된다. 만약 지역 안에 공유 트리가 없는 경우는 자신이 공유 트리의 루트가 된다.

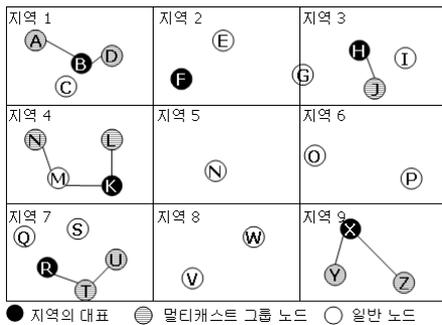


그림 4. 지역 안에서의 트리 구조

지역의 대표가 된 노드들은 자신의 지역 내에 송신자가 있는 경우 지역을 대표하여 글로벌 트리를 만들고 관리할 의무를 지닌다. 글로벌 트리란 지역의 대표가 자신이 포함하고 있는 송신자들이 전송하는 데이터를 다른 지역으로 전달하기 위하여 구성하는 트리이다. 그림 5의 경우 노드 1이 지역 1의 지역 대표이다. 만약 노드 3이 송신자가 되어 데이터를 전송하면 이 데이터를 받은 지역의 대표 노드 1은 기존에 구성했던 글로벌 트리가 없는 경우 새로 글로벌 트리를 구성한다. 그 후 노드 4가 송신자가 되어 데이터를 전송한다면 이전에 노드 3에 의해 만들어진 글로벌 트리를 통해 데이터를 타 지역으로 전송하면 된다. 따라서 어떤 지역 안에 송신자가 1개 이상 있는 경우라도 한번만 글로벌 트리를

를 구성하면 되므로 송신자 트리 기반 멀티캐스팅 프로토콜에 비해 제어 메시지의 오버헤드가 적다.

그림 5의 경우에서와 같이 노드 1이 글로벌 트리를 구성할 때 글로벌 트리의 멤버는 다른 지역의 지역대표들이다. 즉 노드 1이 다른 지역의 모든 수신자들을 포함하는 트리를 구성하는 것이 아니라 다른 지역의 지역 대표들을 포함하는 트리를 구성한다. 따라서 노드 1은 다른 지역 대표인 노드 6, 9를 포함하는 글로벌 트리를 구성한다. 각 지역의 대표는 지역 1이 구성한 글로벌 트리로부터 데이터를 전달받으면 자신의 지역 내 공유 트리도 데이터를 전달한다. 예를 들어 노드 1이 글로벌 트리를 구성하여 지역 2의 지역 대표인 노드 6에게 데이터를 전달하면 노드 6은 자신의 지역 내 공유 트리에 속하는 노드 7, 8에게 데이터를 전달하고 자신이 글로벌 트리의 중간 노드라면 글로벌 트리를 통해 데이터 전달을 계속 한다. 따라서 지역 4의 지역 대표인 노드 9 또한 데이터를 전달받는다. 노드 9는 자신 외에는 지역안에 멀티캐스트 그룹 멤버가 없고 글로벌 트리의 끝이므로 데이터 전송을 중단한다.

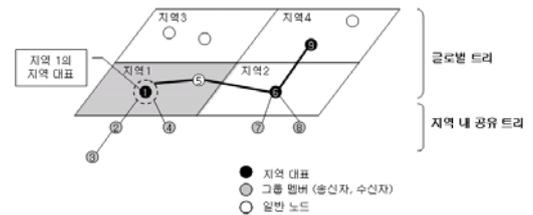


그림 5. 지역 대표의 글로벌 트리 구조

이렇게 RTMA는 노드의 위치 정보를 이용하여 지역을 나누어 지역별로 송신자들을 묶은 후 각 지역의 송신자들이 하나의 트리를 공유하여 데이터를 수신자에게 전달한다.

이는 트레이드오프를 지닌 송신자 트리기반 방식과 공유 트리 기반 방식의 하이브리드 방식이다. 즉 공유 트리 1개를 유지하는 것보다는 많고 송신자 개수만큼의 트리를 유지하는 것보다는 적은 수의 트리를 유지한다. 이는 인접한 지역에 위치한 송신자들이 구성하는 송신자 트리 기반 방식의 트리들이 매우 유사한 형태를 지니므로 지역을 나누어 같은 지역에 있는 송신자들끼리 한 개의 트리를 구성하도록 하여 송신자가 있는 지역의 개수만큼만 트리를 유지하도록 하는 것이다. 이는 지나친 제어 메시지의 오버헤드를 방지하여 확장성의 문제를 해결한다. 그리고 지역 간 통신에 있어 모든 송신자들이

1개의 공유 트리에 의존해 데이터를 전달하는 것이 아니라 여러 지역 기반 글로벌 트리를 통해 전달하므로 트래픽이 공유 트리 기반 방식에 비해 분산되는 효과를 얻을 수 있다. 이는 트래픽 집중으로 인한 충돌을 방지할 뿐만 아니라 노드의 이동에 의한 링크의 단절 시 해당 링크를 포함하는 지역 기반 트리만이 영향을 받게 되어 공유 트리 기반에 비해 좋은 성능을 내도록 한다. 또한 인접 지역의 송신자들이 트리를 공유하기 때문에 공유 트리 1개만을 유지하여 전달하는 것보다 데이터 전달 시 지연이 적다.

3.2 속도 정보를 이용한 신뢰성 있는 트리 구성

앞장에서 언급한대로 지역 기반 트리를 구성하여 데이터를 전달하면 송신자 트리 기반의 단점을 보완하면서 공유 트리 기반 보다 효율적으로 데이터를 전송할 수 있다. 그러나 여전히 단일 경로만을 제공하는 트리 구조를 사용함으로써 인해 메쉬 구조 등에 비해 노드의 이동성에 효과적으로 대처하지 못하는 문제점을 지니고 있다.

에드혹 네트워크에서 전체 네트워크의 노드의 이동성이 높다는 것은 모든 노드가 빠르게 움직이는 것이 아니라 모든 노드가 임의의 속도와 방향으로 움직이고 있고 평균적으로 노드의 이동성이 높다고 하는 것이 자연스러운 가정이다. 따라서 노드의 이동성이 큰 경우 단순히 최소 홉수를 기준으로 트리를 구성하는 것보다 속도 정보를 이용하여 이동성이 큰 노드가 포함된 경로를 제외시키는 것이 노드의 이동성으로 인한 링크의 단절을 미리 예방하여 보다 신뢰성 있는 트리를 구성할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 트리 구조를 사용함에 있어 단점인 노드의 이동성에 대한 취약성을 보완하고자 속도 정보를 이용하여 안정적인 경로로 트리를 구성하는 방법을 제안한다.

그림 6은 노드 A가 트리 멤버인 노드 C의 하단 노드로 붙고자 할 때의 경로 탐색 과정이다. 이 때 각 노드는 자신의 속도 정보를 알고 있고 경로 탐색 과정을 통해 A-B-C 경로와 A-D-E-C 경로, A-F-G-H 경로가 탐색되었다고 가정한다. 일반적으로 GPS등을 이용한 위치정보를 알 경우 주어진 시간 동안의 평균 이동 속도를 쉽게 구할 수 있다. 기존 트리 기반 멀티캐스팅의 경우 최소 홉수가 2인 A-B-C 경로를 선택한다. RTMA는 이 경우 찾은 경로 중에서 최소 홉수를 선택하는 대신 최대 이동 속도가 가장 작은 경로를 선택한다. 따라서 최대 이동 속도가 17로 가장 작은 경로 A-F-G-H-C를 선택한다.

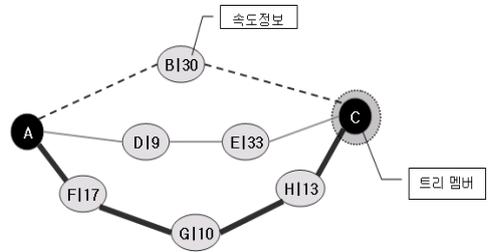


그림 6. 속도 정보를 이용한 안정적인 경로 선택

트리 구조는 루트 노드와의 홉수가 적은 가치, 즉 트리의 상단에 위치하는 가치일수록 단절 시 데이터를 받지 못하는 하단의 수신자들이 많기 때문에 큰 영향력을 가지게 된다. 따라서 지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅 프로토콜은 글로벌 트리 구성 시 글로벌 트리의 루트 노드와의 홉수가 적을수록 이동성이 적은 안정적인 경로를 선택한다. 따라서 트리의 상단에 하단에 비해 안정적인 경로를 선택하여 트리를 구성하고 트리의 하단 노드는 최소 홉수에 가깝게 경로를 선택한다. 만약 이동성이 같은 경우는 홉 수가 적은 길을 택한다.

본 논문에서 제안한 각 노드의 이동 속도 및 루트 노드와의 접근성을 고려한 멀티캐스팅 경로 설정 방법은 다음과 같다.

트리 멤버가 아닌 노드 i 에서 트리 멤버인 노드 j 로의 경로 설정에 있어, 다음 식 (2)를 만족하는 탐색 범위 홉수 $SR(\text{search range})$ 을 구한다.

$$X = \min_{\forall k \in P} \text{hop}_{ij}^k, P = \{\text{paths from } i \text{ to } j\} \tag{1}$$

$L = \text{hop}_{jR}, R = \text{root node of the global tree}$
 $V = \text{scale variable}$

$$SR(\text{search range}) = X + \frac{V}{L + 1} \tag{2}$$

여기서 X 는 i 에서 j 까지의 최소 홉이고 L 은 j 에서 글로벌 트리의 루트 노드까지의 홉, V 는 스케일 팩터로 본 논문의 모의실험에서는 $2X$ 를 사용하였다.

식(2)에 의해 탐색 범위 홉 수는 글로벌 트리의 루트에 가까울수록 크고(즉 안정성 있는 경로를 찾기 위해 홉 수 관점에서는 여유를 둔다) 글로벌 트리의 루트에 멀수록 그 중요도가 떨어지므로 탐색 범위 홉 수는 최소 홉수에 가까워진다.

식 (3)과 같은 i 에서 j 까지의 홉 수가 SR 보다

작거나 같은 모든 경로 q 에 대해 각 경로의 최대 이동 속도 값을 구하고 최종적으로 식(5)에 의해 최소 m_q 이동 속도를 갖는 경로 SP_{ij} 를 선택한다.

$$Q = \{\text{path } q \mid \text{hop}_{ij}^q \leq SR\} \quad (3)$$

$$m_q = \max_{\forall l \in \text{path}_q} v_l \quad (4)$$

여기서 l 은 path q 에 속한 노드, v_l 은 노드 l 의 속도

$$SP_{ij} = q \mid \min_{\forall q} m_q \quad (5)$$

그림 7은 홑 수에 따른 안정적인 경로 선택 방법을 설명한다. 노드 A는 자신이 속한 지역의 지역 대표이다. 노드 A의 지역 내 공유 트리에 속해있던 송신자가 데이터 전송을 시작하여 노드 A가 데이터를 받으면 글로벌 트리가 존재하는지 확인한 후 글로벌 트리가 존재하지 않는 경우 글로벌 트리를 구성하기 위하여 GLOBAL_HELLO 메시지를 네트워크에 브로드캐스팅한다. 다른 지역의 지역 대표가 GLOBAL_HELLO 메시지를 받은 경우 자신의 글로벌 라우팅 테이블을 확인하여 해당 경로가 없는 경우 새로운 글로벌 트리에 가입하기 위하여 GLOBAL_RREQ를 전송한다.

노드 F가 노드 A가 요청한 글로벌 트리에 가입하기 위하여 GLOBAL_RREQ를 보내면 GLOBAL_RREQ 패킷에 후보 경로 및 경로의 최대 속도가 기록된다. 따라서 노드 A는 GLOBAL_RREQ 패킷을 받은 후 노드 A와 노드 F 간의 후보 경로에 대한 정보를 얻을 수 있다. 다른 지역의 대표노드인 노드 F, N, L이 노드 A의 글로벌 트리에 가입하기 위하여 얻은 후보 경로들의 정보는 표 1과 같다. 이렇게 모아진 후보 경로들 중 식(1)을 이용하여 허용 홑수를 구하고 허용 홑수 안에서 최대 속도가 가장 적은 경로를 선택하여 GLOBAL_RREP를 보낸다. 표 1에서 회색으로 표시한 경로들이 각 노드들이 GLOBAL_RREQ를 받은 후 식 (1)에 의해 선택하여 GLOBAL_RREP를 보낸 경로이다. 노드 L의 경우처럼 글로벌 트리 멤버인 노드 D, E, F에게서 각각 GLOBAL_RREP를 받은 경우 자신과 가장 가까운 경로를 선택하여 GLOBAL_MACT 메시지를 보낸다. GLOBAL_MACT 메시지를 받은 노드는 자신을 글로벌 트리의 멤버로 라우팅 테이블을 변경한다.

표 1. 후보 경로

경로	후보경로	최소 홑수	SR (search range)	최대 속도
A-F	A-C-F	2	6 (X = 2, L = 0, V = 2X)	39
	A-B-C-F	3		39
	A-B-E-F	3		17
	A-B-C-E-F	4		39
	A-B-D-E-F	5		17
E-L	E-H-L	2	3 (X = 2, L = 3 V = 2X)	34
	E-I-H-L	3		34
	E-D-G-H-L	4		34
	E-D-G-K-L	4		22
	E-D-G-K-H-L	5		34
F-L	F-I-H-L	3	4.2 (X = 3, L = 4, V = 2X)	34
	F-E-H-L	3		34
	F-E-I-H-L	4		34
D-L	D-G-K-L	3	5 (X = 3, L = 2, V = 2X)	22
	D-G-H-L	3		34
	D-G-K-H-L	4		34
F-N	F-J-N	2	2.8 (X = 2, L = 4, V = 2X)	27
	F-I-M-N	3		17
	F-I-M-J-N	4		27

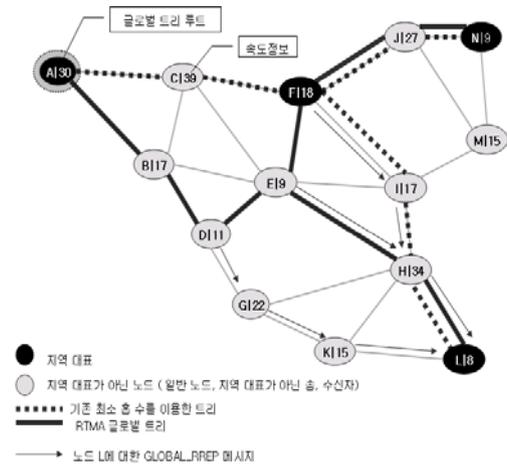


그림 7. 홑 수에 따른 안정적인 경로 선택

이와 같은 방법을 이용하여 구성된 트리는 그림 7에서와 같이 기존의 최소 홑수 방법으로 구성된 트리에 비해 속도가 높은 노드들이 제외되어 있고 트리의 상단이 하단에 비해 안정된 경로를 선택한다. 즉 속도가 높은 노드 C가 트리의 경로에서 제외되었고 노드 E-L의 경로는 해당 글로벌 트리의 하단에 속하므로 식 (1)에 의해 허용 홑수가 적어 속도가 높은 노드 H가 포함되더라도 홑수가 적은 경로를 택한다. 마찬가지로 노드 F-N의 경로 또한 트리의 하단에 해당하므로 속도가 높은 노드 J를 포함하더라도 홑수가 적은 경로 F-J-N을 선택한다.

표 2. RTMA 관련 용어 및 메시지 종류

지역 내 공유 트리	각 지역 안에서 지역 안에 존재하는 멀티캐스트 그룹 노드들로 구성되는 공유 트리. 지역의 대표를 선출하기 위해서 구성한다.
지역 대표	지역 내 공유 트리의 루트 노드. 자신의 지역 내 공유 트리에 송신자가 있는 경우 지역을 대표하여 글로벌 트리를 만든다.
글로벌 트리	지역 대표가 자신의 지역 내 공유트리에 포함된 송신자들이 전송하는 데이터를 다른 지역으로 전달하기 위하여 구성하는 트리
REGION_RREQ	맨 처음 노드가 멀티캐스트 그룹에 가입하고자 할 때 브로드캐스팅하는 메시지. REGION_RREQ 메시지의 브로드캐스팅은 현재 노드가 위치한 지역으로 한정된다.
REGION_RREP	REGION_RREQ를 받은 노드가 해당 지역 내 공유트리의 멤버이면 REGION_RREP 메시지로 응답한다.
REGION_MACT	REGION_RREQ를 보낸 노드가 한 개 이상의 REGION_RREP 메시지를 받은 경우 가장 가까운 경로로 REGION_MACT 메시지를 보낸다. REGION_MACT 메시지를 받은 노드는 REGION_TABLE에 자신을 해당 지역의 공유 트리 멤버로 변경한다.
GLOBAL_HELLO	다른 지역의 대표를 글로벌트리에 가입시키기 위해 브로드캐스팅하는 메시지
GLOBAL_RREQ	글로벌 트리에 가입하기 위한 메시지
GLOBAL_RREP	글로벌 트리의 멤버가 GLOBAL_RREQ를 받은 경우 식(1)에 의해 경로를 선택하여 GLOBAL_RREP를 전송한다.
GLOBAL_MACT	GLOBAL_RREQ를 보낸 노드가 받은 GLOBAL_RREP중에서 자신과 가장 가까이 있는 경로를 선택하여 전송하는 메시지. 이 메시지를 받은 노드는 자신이 가진 GLOBAL_TABLE에 자신을 트리 멤버로 변경한다.
REGION_TABLE	지역 내 공유 트리 관리 라우팅 테이블
GLOBAL_TABLE	글로벌 트리 관리 라우팅 테이블

이와 같은 방법으로 각 지역의 지역 대표는 자신의 지역 내 공유 트리에 송신자가 데이터를 보내는 경우 자신을 루트로 하는 지역 기반 트리인 글로벌 트리를 각각 구성하게 된다.

3.3 RTMA 프로토콜의 동작 과정

본 절에서는 RTMA 프로토콜에서 사용되는 메시지와 동작 절차를 설명한다. 표 2는 RTMA 프로토콜의 관련 용어 및 메시지이다.

그림 8은 지역 내 공유 트리의 생성 과정을 나타낸다. 맨 처음 노드가 멀티캐스트 그룹에 가입하기

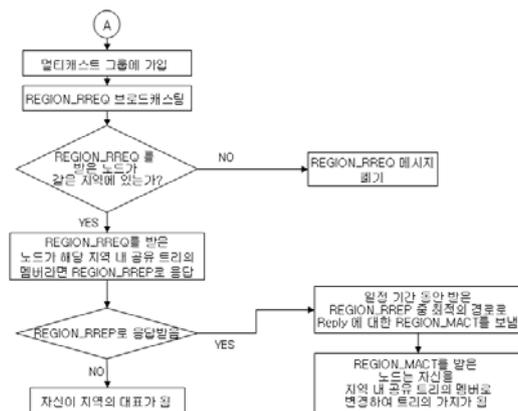


그림 8. 지역 내 공유 트리 생성 과정

를 원하면 그림 8과 같이 REGION_RREQ를 브로드캐스팅한다. 이 때 REGION_RREQ 메시지에는 이 메시지를 발한 노드의 지역 정보가 실려 있다. REGION_RREQ를 받은 노드가 REGION_RREQ 패킷에 실린 지역 정보와 같은 경우 브로드캐스팅을 계속 하고 다른 경우는 폐기시킨다. 이렇게 하여 지역 안으로 REGION_RREQ 패킷의 전송을 제한하여 지역 내 공유 트리를 생성한다.

그림 9는 송신자를 가진 지역의 대표가 자신을 루트로 하는 글로벌트리를 생성하는 과정을 나타낸다.

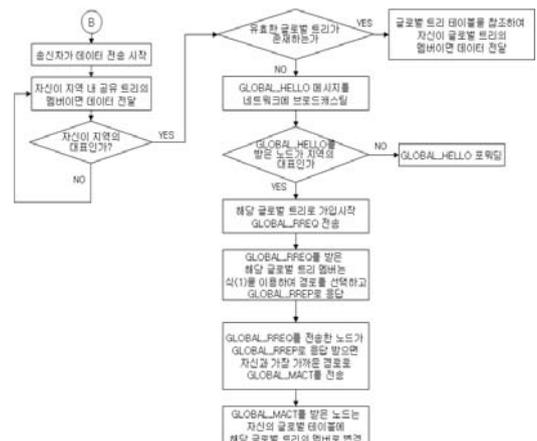


그림 9. 글로벌 트리 생성 과정

표 3. 모의실험 환경

총 노드 수	50 개
시뮬레이션 영역	800 x 600 meters
지역 크기	200 x 300 meters
시뮬레이션 시간	100 seconds
Mac Layer	IEEE 802.11 at 2Mbps, 250 meter transmission range
Mobility Model	Random waypoint model with no pause time
트래픽 발생	- 각 송신자가 초당 2 packets을 발생 - 모든 송, 수신자는 시뮬레이션이 시작하면 멀티캐스트 그룹에 가입하고 송신자는 30 seconds 후에 데이터를 보내기 시작한다. - 시뮬레이션에는 멀티캐스트 트래픽만 존재한다.
PDR (Packet Delivery Ratio)	$\frac{\text{total received packets}}{\text{total send packets} \times \text{the number of receivers}}$

IV. 모의실험

본 논문에서 제안한 지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 ns-2 [23] 시뮬레이터를 이용하였다. 비교 대상 프로토콜로는 MAODV 프로토콜을 사용하였다. 모의실험 환경은 표 3과 같다.

첫 번째 실험으로 총 이동 노드의 수를 50개, 평균 이동 속도를 5m/s, 수신자의 수를 15개, 송신자의 수를 1~35 개로 증가시켜 가면서 데이터 전달률(PDR)을 비교하였다.

그림 10에서 알 수 있듯이 공유 트리를 사용하는 MAODV의 경우 송신자의 수가 증가함에 따라 데이터 전달률이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 기존의 공유 트리 방식이 노드의 이동뿐만 아니라 송신자 수의 증가에도 한계를 지닌다는 것을 나타낸다. 이는 송신자들이 보내는 모든 데이터가 공유 트리를 통하여 멤버들에게 전달되어 링크의 단절 시 모든 송신자들이 보내는 데이터에 영향을 미치기 때문이다. RTMA는 1개 이상의 지역 기반 트리를 통해 데이터를 전달하므로 그림 10과 같이 공유 트

리 기반의 MAODV 프로토콜보다 송신자 수의 증가에 유연하다.

두 번째 실험으로 총 노드의 수를 50개, 송신자의 수를 5개, 수신자의 수를 15개, 평균 이동 속도를 1~40m/s로 증가시켜 가면서 데이터 전달률을 비교하였다. 송신자의 수가 5개로 트래픽의 부하가 크지 않은 경우이므로 노드의 이동에 의해서만 링크가 단절된다고 할 수 있다. 그림 11에서 공유 트리 기반인 MAODV의 경우 트리 구조를 사용함으로써 링크의 단절이 공유 트리 전체에 영향을 끼쳐 데이터 전달률이 떨어지는 성향을 보이고 있다. RTMA는 속도 정보를 이용하여 이동성이 큰 노드가 포함된 경로를 제외시켜 노드의 이동으로 인한 단절을 예방하기 때문에 기존 트리 방식에 비해 좋은 성능을 보여준다.

세 번째 실험으로 총 노드의 수를 50개, 수신자의 수를 15개, 송신자 수를 1~15개, 평균 이동 속도를 1~40m/s로 증가시켜 가면서 데이터 전달률을 비교하였다. MAODV의 경우 그림 12와 같이 송신자의 수가 큰 경우일수록 이동속도의 증가에 취약한 것을 볼 수 있다. 이는 공유 트리 한 개만을 유지하게 되기 때문에 송신자의 수가 많을수록 노드의 이동으로 인한 링크의 단절이 미치는 영향이 커지기 때문이다. RTMA의 경우 송신자의 수가 많은 경우라도 기존 MAODV 프로토콜에 비해 노드의 이동성에 의한 데이터 전달률의 감소가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 한 개만의 트리에 의존하지 않고 여러 지역 기반 글로벌 트리를 구성함으로써 송신자의 수의 증가에 대처하고 속도정보를 이용하여 신뢰성 있는 트리를 구성하여 노드의 이동성에 대처하지 못하는 트리 구조의 특성을 보완하기 때문이다.

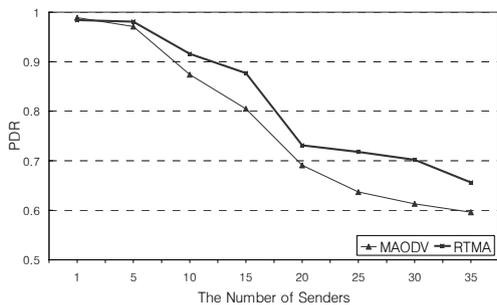


그림 10. 송신자 수의 증가에 따른 데이터 전달률의 변화

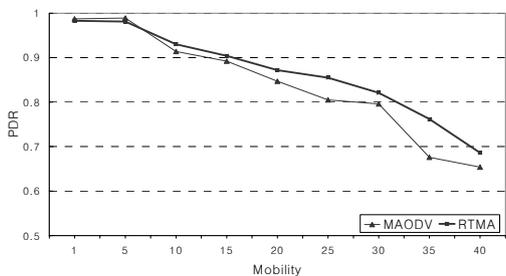


그림 11. 평균 이동속도의 증가에 따른 데이터 전달률의 변화

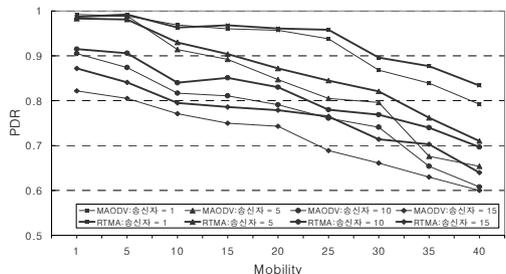


그림 12. 송신자 수와 평균 이동속도의 증가에 따른 데이터 전달률의 변화

공유 트리 기반의 MAODV 프로토콜은 하나의 멀티캐스트 그룹에 대해 모든 송신자가 한 개의 멀티캐스트 트리를 공유하여 사용하기 때문에 다른 프로토콜에 비해 제어 메시지 오버헤드와 메모리 소비가 적다. RTMA 프로토콜의 경우 송신자를 포함하는 지역의 수만큼 글로벌 트리를 구성하므로 MAODV에 비해 많은 제어 메시지 오버헤드와 메모리를 소비한다. 그러나 이러한 비용이 송신자의 수가 늘어날수록 많아지는 송신자 트리 기반 멀티캐스팅에 비해 송신자가 늘어나도 최대 지역의 수 이상 많아지지 않고 수렴하게 된다. 따라서 RTMA는 높은 데이터 전달률을 제공하는 동시에 과도한 제어 메시지 오버헤드 및 메모리 소비를 막을 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 각 단말이 이동성을 가지는 에드혹 네트워크에서의 효율적인 데이터 전송을 위한 멀티캐스팅 프로토콜을 제안하였다. 기존에 제안된 에드혹 네트워크에서의 멀티캐스팅 프로토콜들은 에드혹 네트워크의 다양한 환경에서 몇 가지 문제점들을 가지고 있다. 트리 기반 멀티캐스팅의 경우 송신자와 수신자 간의 경로를 오직 하나만 제공하여 대역폭의 낭비를 막지만 노드의 이동성에 취약한

성능을 나타낸다. 메쉬 기반 멀티캐스팅의 경우 노드의 이동성에 대비하기 위해 동일한 데이터를 다중 경로로 중복하여 전송하므로 트리 기반에 비해 좋은 성능을 나타내지만 중복 전송으로 인한 대역폭의 낭비가 크다. 송신자 트리 기반 방식은 제어 메시지의 오버헤드 문제가 있으며 공유 트리 기반 방식은 트래픽의 집중으로 인한 취약성을 가지고 있다. 본 논문에서 제안하는 지역 기반 트리를 이용한 멀티캐스팅(RTMA)은 위치 정보를 이용하여 지역을 나누어 지역 별로 트리를 구성한다. 이것은 송신자의 수가 많은 경우에도 제어 메시지의 오버헤드를 줄이는 동시에 여러 트리를 구성하여 트래픽을 분산시켜 노드의 이동성에도 효율적인 데이터 전송을 하기 위한 것이다. 또한 이동성에 대처하지 못하는 트리 구조의 특성을 보완하기 위하여 속도 정보를 이용하여 이동성이 큰 노드를 경로에서 제외시켜 신뢰성 있는 트리를 구성한다. 모의실험을 통하여 기존의 공유 트리 기반 멀티캐스팅 프로토콜인 MAODV보다 송신자 수의 증가와 노드의 이동성의 증가에 높은 데이터 전달률을 보임을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] D. Waitzman, C. Partridge, and S. Deering, "Distance Vector Multicast Routing Protocol" Request For Comments 1075, November 1988.
- [2] J. Moy, "Multicast Routing Extensions for OSPF" Communications of the ACM, Vol. 37, No. 8, pp. 61-66, August 1994.
- [3] A. Ballardie, P. Francis, and J. Crowcroft, "Core-Based Trees(CBT): An Architecture for Scalable Multicast Routing", Proceedings of ACM SIGCOMM 1998, pp. 85-95, September 1993.
- [4] S. Deering, D. L. Estrin, D. Farinacci, V. Jacobson, C. G. Liu, and L. Mei, "The PIM Architecture for Wide-Area Multicast Routing", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 4, No. 2, pp. 153-162, April 1996.
- [5] C. W. Wu, Y. C. Tay, and C. K. Toh, "Ad Hoc Multicast Routing Protocol Utilizing Increasing id-numberS(AMRIS) Functional Specification", Internet draft(work in prog-

- ress), draft-ietf-manet-amris-spec-00.txt, November 1998.
- [6] L. Ji, M. S. Corson, "Differential Destination Multicast(DDM) Specification", Internet draft(work in progress), draft-ietf-manet-ddm-00.txt, July 2000.
- [7] E. M. Royer, C. E. Perkins, "Multicast Operation of the Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol", Proceedings of ACM MOBICOM 1999, pp. 207-218, August 1999.
- [8] V. Devarapalli, A. A. Selcuk, D. Sidhu, "MZR:A Multicast Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", Internet draft(work in progress), draft-vijay-manet-mzr-01.txt, July 2001.
- [9] S. J. Lee, M. Gerla, and C. C. Chiang, "On-Demand Multicast Routing Protocol", Proceedings of IEEE WCNC 1999, pp. 1298-1302, September 1999.
- [10] C. C. Chiang, M. Gerla, and L. Zhang, "Forwarding Group Multicasting Protocol for Multi-Hop, Mobile Wireless Networks", ACM/Baltzer Journal of Cluster Computing: Special Issue on Mobile Computing, Vol. 1, No. 2, pp. 187-196, 1998.
- [11] J. J. Garcia-Luna-Aceves, E. L. Madruga, "The Core-Assisted Mesh Protocol", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 8, pp. 1380-1994, August 1999.
- [12] C. Gui, P. Mohapatra, "Efficient Overlay Multicast for Mobile Ad Hoc Networks", Proc. 2003 IEEE Wireless Comm, and Networking Conf., Vol. 2, pp. 1118-1123, 2003.
- [13] G. D. kondylis, S. V. Krishnamurthy, S. K. Dao, and Gregory J. Pottie, "Multicasting Sustained CBR and VBR Traffic in Wireless Ad Hoc Networks", Proceedings of IEEE ICC 2000, pp. 543-549, June 2000.
- [14] Li Xiao, Lionel M. Ni, Abdol-Hossein Esfabanian, "Prioritized Overlay Multicast in Mobile Ad Hoc Environments", IEEE Computer, Vol. 37, No. 2, pp. 67-74, February 2004.
- [15] I. Karthingeyan, B. S. Manoj, and C. Siva Ram Murthy, "Multicast Priority Scheduling Protocol for Ad Hoc Wireless Networks", Technical Report, Department of Computer Science and Engineering, Indian Institute of Technology, Madras, India, January 2004.
- [16] L. Briesemeister, G. Hommel, "Role-Based Multicast in Highly Mobile But Sparsely Connected Ad Hoc Networks", Proceedings of ACM MOBIHOC 2000, pp.45-50, August 2000.
- [17] H. Zhou, S. Singh, "Content-Based Multicast (CBM) in Ad Hoc Networks", Proceedings of ACM MOBIHOC 2000, pp. 51-60, August 2000.
- [18] Young-Bae Ko, Sung-Ju Lee, "A Multicast Protocol for Physically Hierarchical Ad Hoc Networks", IEEE VTC '03 Spring, Jeju, Korea, Apr. 2003.
- [19] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya, "Location Aided Routing(LAR) in mobile ad hoc networks", In Proc. of the Fourth ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(Mobcom' 98), pp. 66-75, 1998.
- [20] Wen-Hwa Liao, Yu-Chee Tseng, and Jang-Ping Sheu "GRID: A Fully Location Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network", Telecommunication Systems Vol. 18, No. 1-3 pp. 37-60, 2001.
- [21] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices, IEEE Personal Communications Magazine, Special Issue on Networking the Physical World, August 2000.
- [22] J. Beutel, Geolocation in a PicoRadio Environment Masters Thesis, UC Berkeley. July 1999.
- [23] www.isi.edu/nsnam/ns/.

임 정 은 (Jung-Eun Lim)

준회원



2004년 2월 인하대학교 컴퓨터
공학과(공학사)
2004년 3월~현재 인하대학교
정보통신대학원 석사과정
<관심분야> Ad hoc Multicas-
ting

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자통
신공학과(공학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과(공학석사)
2000년 8월 한국과학기술원 전
자전산학과(공학박사)
1990년~2001년 한국통신(KT)
연구개발본부 전임연구원
1994년~1995년 미국 국립표준기술연구원 (NIST) 초
빙연구원
2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
<관심 분야> 인터넷 QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티
미디어 네트워킹, 무선 센서네트워크