

# 애드혹 네트워크에서 ZRP를 기반으로 하는 경로 탐색 기법

김 경 자<sup>†</sup> · 장 태 무<sup>††</sup>

## 요 약

애드혹 네트워크는 고정된 기반 구조 없이 이동 호스트들만으로 구성된 네트워크이다. 이러한 네트워크는 노드의 이동으로 인한 토폴로지의 잦은 변화로 관리면에서 많은 어려움이 있다. 따라서, 애드혹 네트워크의 라우팅 경로(Routing Path)에 대한 신뢰도를 높이는 것이 점점 중요해지고 있다. 본 논문에서는 기존의 ZRP(Zone Routing Protocol)를 기반으로 하여 라우팅 경로의 전체적인 홉(hop) 수를 줄이고, 경로상의 노드들끼리의 인증을 통하여 라우팅 경로의 신뢰성을 향상시키는 경로 탐색 방안을 제안하였다. 또한 토폴로지의 잦은 변화로 인한 라우팅 경로 유지의 어려움을 질의 제어 메커니즘을 통하여 해결하고자 시도하였다. 본 논문의 방안은 시뮬레이션을 통하여 그 효율성을 입증할 수 있었다.

## A ZRP-based Reliable Route Discovery Scheme in Ad-Hoc Networks

KyoungJa Kim<sup>†</sup> · TaeMu Chang<sup>††</sup>

### ABSTRACT

Ad hoc networks are groups of mobile hosts without any fixed infrastructure. Frequent changes in network topology owing to node mobility make these networks very difficult to manage. Therefore, enhancing the reliability of routing paths in ad hoc networks gets more important. In this paper, we propose a ZRP(Zone Routing Protocol)-based route discovery scheme that can not only reduce the total hops of routing path, but improve security through authentications between two nodes. And to solve the problem in maintenance of routing paths owing to frequent changes of the network topology, we adopt a query control mechanism. The effectiveness of our scheme is shown by simulation methods.

**키워드 :** 애드혹 네트워크(Ad-hoc Network), 인증(Authentication), 질의 제어 메커니즘(Query Control Mechanism), 존 라우팅 프로토콜(Zone Routing Protocol)

### 1. 서 론

애드혹 네트워크는 다음과 같은 몇 가지 특성을 가지며, 기존의 애드혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 이와 같은 다양한 네트워크 특성들을 고려하여 연구되고 있다. 첫째, 노드의 이동에 따라 네트워크의 토폴로지가 동적으로 변환한다. 네트워크 토폴로지의 변화는 빈번한 루트 정보의 갱신을 야기시켜 루트 정보의 관리를 복잡하게 하며, 이를 위한 라우팅 제어 메시지는 네트워크의 오버헤드로서 작용한다. 이에 라우팅 제어 메시지에 의한 오버헤드 감소를 위한 방안과 루트 정보의 효율적인 관리를 위한 연구들이 진행되어지고 있다. 둘째, 이동 노드들은 무선 인터페이스를 사용하여 서로 통신한다. 무선 인터페이스는 기본적으로 전송 대역폭 및 전송 거리 상의 제약이 있다. 따라서, 원거리 노드들간의 통신을 위해서는 멀티 홉 통신이 필수적이다. 멀티 홉 통신을 위해 각 노드는 호스트 기능 외에 라우팅 기능도 포함되어져야 한다. 셋째, 이동 노드들은 제한된 용

량의 배터리를 사용하기 때문에 에너지 사용에 있어 제약이 크다. 그럼에도 불구하고 일반적으로 기존 네트워크에서 적용되는 연결 접속 및 트래픽 요구 사항, QoS 등이 애드혹 네트워크에서도 동일하게 요구된다. 이는 애드혹 네트워크 기술의 다양성과 난이도를 어렵게 하는 요인이 된다. 따라서, 배터리 상태를 고려한 통신이 필요하다.

마지막으로 이동 노드들은 무선 인터페이스를 사용하여 서로 통신하고 있으며, 모든 노드들이 라우팅의 기능을 가지고 있기 때문에 보안 상으로 매우 취약한 단점을 가지고 있다. 특히, 브로드캐스팅되는 라우팅 제어 메시지는 해킹의 위험이 크다. 현재의 애드혹 네트워크의 연구들은 위의 특성들을 고려한 신뢰성 있는 라우팅 경로의 유지 방안과 라우팅 프로토콜들에 중점을 두고 있다.

본 논문에서는 애드혹 네트워크에서 토폴로지의 잦은 변화로 인한 라우팅 경로 유지의 어려움을 좀더 완화시킬 수 있는 방안을 제시한다. 즉, 라우팅 경로상의 노드간 인증을 통하여 라우팅 경로의 신뢰성을 향상시키고, 존 헤드(Zone Head) 선출 알고리즘에 의해 선출된 존 헤드 노드를 통해 라우팅 경로상의 전체적인 홉 수를 줄이고자 한다.

<sup>†</sup> 준 회 원 : 동국대학교 대학원 컴퓨터공학과

<sup>††</sup> 정 회 원 : 동국대학교 컴퓨터공학과 교수

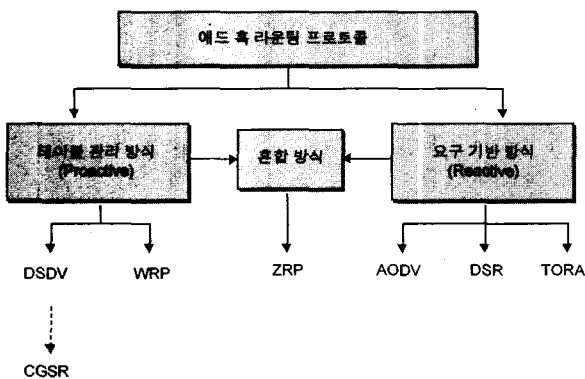
논문접수 : 2004년 3월 22일, 심사완료 : 2004년 5월 10일

본 논문은 일반적인 애드혹 네트워크의 특징과 본 논문의 방향을 제시하는 서론에 이어, 2장에서는 애드혹 네트워크에서의 일반적인 라우팅 프로토콜들을 알아보고, 라우팅 경로의 효율적인 관리의 필요성에 대해서 제시한다. 3장에서는 본 논문의 기반이 되는 ZRP의 구조와 특징을 알아보고, 4장에서는 제안하는 경로 탐색 기법에 대해 기술한다. 5장에서는 기존의 라우팅 프로토콜과 본 논문에서 제안한 경로 탐색 기법을 비교 실험한 결과를 제시하며, 마지막으로 6장에서는 결론과 앞으로의 향후 연구 과제를 제안함으로써 글을 맺는다.

## 2. 관련 연구

기존의 네트워크에서 사용이 되는 RIP(Routing Information Protocol) 또는 OSPF(Open Shortest Path First)와 같은 라우팅 프로토콜들은 유동성이 적은 안정된 네트워크 환경에서 주기적인 라우팅 테이블 관리로 동작하므로, 주기적인 메시지의 교환이 요구되어 대역폭의 낭비가 심하고 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응하지 못한다. 따라서, 이를 그대로 이동 애드혹 네트워크에 적용하기에는 많은 오버헤드가 따른다. 이에 애드혹 라우팅 프로토콜에 대하여는 기존의 라우팅 프로토콜을 변형하거나 새로운 방식의 라우팅 프로토콜이 주된 연구 대상이 되고 있다[1].

현재 애드혹 네트워크의 라우팅 프로토콜은 (그림 1)과 같이 크게 테이블 관리 방식(Table-driven 또는 Proactive)과 요구 기반 방식(On-Demand 또는 Reactive)으로 분류되어진다[2].



(그림 1) 애드혹 네트워크의 라우팅 프로토콜 분류

테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜은 주기적으로 또는 네트워크 토폴로지가 변화할 때 라우팅 정보를 브로드캐스팅함으로써 모든 노드가 항상 최신의 라우팅 정보 테이블을 유지한다. 이러한 라우팅 정보 테이블은 항상 최신의 경로 정보를 유지하기 때문에 경로 탐색을 요구하는 즉시 라우팅 경로의 사용이 가능하게 된다는 장점을 가진다. 반면

에, 주기적으로 라우팅 메시지의 교환이 이루어져야 하므로 제어 오버헤드가 높다는 단점이 있다. 따라서 테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜에서는 제어 메시지의 양을 최소화하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 이에 해당되는 라우팅 프로토콜에는 (그림 1)에서 보는 바와 같이 DSDV(Destination Sequenced Distance Vector Routing)와 DSDV가 변형된 CGSR(Clusterhead Gateway Switch Routing) 그리고 WRP(Wireless Routing Protocol)등이 있다.

애드혹 네트워크의 다른 분류의 라우팅 프로토콜인 요구 기반 방식은 라우팅 경로 요구가 있을 때 라우팅 메시지를 교환하여 라우팅 경로를 설정하게 된다. 요구가 있을 때에 경로가 설정되기 때문에 테이블 관리 방식이 가지는 제어 메시지 오버헤드의 문제를 해결한다. 반면, 첫 번째 패킷을 전송하기 전에 경로 탐색으로 인해 전송의 지연 시간을 가진다는 단점이 있다. 이러한 문제점으로 인하여 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜들은 최적의 경로 탐색과 더불어 경로 탐색 지연 시간을 최소화하는 데 초점을 맞추고 있다. 요구 기반 방식의 프로토콜로는 AODV(Ad Hoc On Demand Distance Routing), DSR(Dynamic Source Routing), TORA(Temporally-Ordered Routing Algorithm)이 대표적이다.

현재의 애드혹 네트워크에서는 라우팅 경로의 효율성뿐만 아니라 신뢰성 문제도 항상 논의가 되고 있다. 기존의 라우팅 프로토콜들은 경로 설정에 있어서 더욱 빠르고 효율적인 측면만을 고려해 왔으나, 기반 구조를 가지지 않는 애드혹 네트워크에서는 각 노드들의 이동성으로 인한 문제점들을 보완하기 위한 방안들을 제안하고 있다.

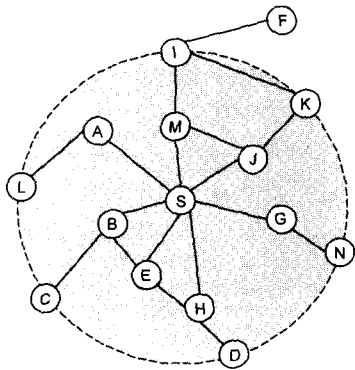
또한 신뢰성 측면에서는, 고정된 기반 구조를 기반으로 이루어진 네트워크와 같이 애드혹 네트워크의 보안 요구 조건은 동일하나, 일반 네트워크 보다는 더욱 보안면에서 취약한 점을 가지고 있다. 애드혹 네트워크에서의 각 노드에 대한 신분 검증을 할 수가 없고, 멀티 홉 방식에 의해 라우팅을 할 경우 악의적인 중간 노드에 의해 발생될 수 있는 데이터의 무결성 및 기밀성 문제가 제기된다. 반면에, 각 노드들 사이의 신뢰성 문제를 해결하기 위한 방안으로 서로간의 인증 절차를 따르다 보면 노드와 네트워크 전체에 심각한 부하를 주게 된다. 이에 애드혹 네트워크에 적합한 알고리즘이나 키 분배 및 인증 프로토콜 개발이 현실적으로 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 테이블 기반 방식과 요구 기반 방식을 혼합하여 만들어진 ZRP[3]를 바탕으로 하여 라우팅 경로의 전체적인 홉 수를 줄이고, 각 노드들 사이의 상호 인증 절차를 두어 신뢰성을 높일 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 또한 라우팅 경로 유지의 어려움을 질의 제어 메커니즘을 통하여 해결하고자 한다.

### 3. Zone Routing Protocol

본 장에서는 제안 기법의 기반이 되는 ZRP의 구조 및 특징을 알아보고, 각 구성별 역할과 라우팅 경로 설정 과정을 보인다.

본 논문에서 바탕이 되는 ZRP는 애드혹 네트워크에서의 테이블 기반 방식의 프로토콜과 요구 기반 방식의 프로토콜이 혼합된 방식으로 각 프로토콜의 장점만을 적용하여 만들어진 방식이다. 테이블 기반 방식에서 각 노드마다 최신의 라우팅 정보 테이블을 유지하는 방안과 요구 기반 방식에서 전송 요구 시 라우팅 경로를 생성하는 방안을 혼합한 방식으로 두 방식의 장점만을 적용하였다.



(그림 2) 2-홉으로 구성된 노드 S의 존

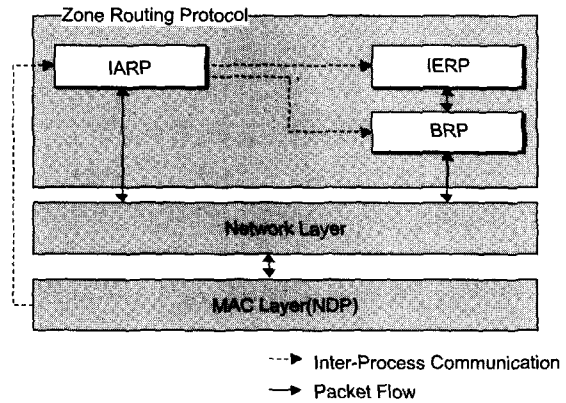
ZRP에서의 각 노드는 존(zone)이라는 범위를 가진다. 노드별 존의 구성은 임의의 홉 수에 따라 정의된다. 임의의 노드를 중심으로 정해진 홉 수에 포함되는 노드들로 존은 형성된다.

(그림 2) 2홉으로 구성된 노드 S의 존을 보인다. 노드 S의 존은 노드 F를 제외한 노드들이 속하게 된다. 그림에서 보는 바와 같이 점선의 동근 원은 노드 S의 존의 영역이 된다. 즉, 노드 S로부터 2홉의 범위 내에 존재하는 노드는 노드 S의 존의 영역에 속하게 된다. 존의 노드들은 경계노드와 내부노드로 나뉘게 된다. 경계노드는 중심 노드에서 정확하게 정해진 홉 수의 위치에 있는 노드를 말하며, (그림 2)의 노드 L, C, D, I, K, N가 해당된다. 또한 내부노드는 정해진 홉 수 보다 적은 거리에 존재하는 노드로서 A, B, E, H, J, M, G가 속한다. 반면에 노드 F는 존에 속하지 않는 경우로 외부 노드라 한다.

다음의 (그림 3)은 ZRP의 기본 구조를 보여준다[4]. 그림에서 보는 바와 같이 ZRP는 IARP, IERP, BRP와 MAC 계층의 NDP로 구성된다.

각 프로토콜중에서 IARP(Intra-zone Routing Protocol)는 테이블 기반 방식이 적용되었고, IERP(IntEr-Zone Routing Protocol)은 요구 기반 방식을 따른다. 이에 IARP는 임

의존에 존재하는 노드들의 라우팅 정보를 유지하는 기능을 가지고, IERP는 IARP에 의해 유지되는 라우팅 정보를 바탕으로 경로 탐색과 경로 유지를 담당하게 된다. 또한 BRP(BorderCast Resolution Protocol)은 RREQ(Route Request) 패킷을 다른 존에 전이시키고자 할 때 경계노드에게만 RREQ를 보내는 기능을 갖는다. 새로운 이웃 노드나 경로 손실을 탐지하기 위한 방안으로 ZRP는 MAC layer에 의해 제공되는 NDP(Neighbor Discovery Protocol)를 이용한다. NDP는 규칙적으로 "HELLO" 비컨(beacon)을 전송하여 응답 메시지를 보내는 노드에 대해 라우팅 테이블을 갱신하게 된다. 임의의 시간 안에 응답 메시지를 보내지 않는 노드에 대해서는 라우팅 테이블에서 제거된다.



(그림 3) ZRP의 구조

위의 (그림 3)에서 각 요소별 관계 및 패킷의 흐름을 살펴보면, 라우팅 갱신은 NDP에 의해 시작되고, 이웃 노드에 대한 테이블이 갱신되었을 때 IARP에게 갱신 정보를 알리게 된다. 또한 IERP는 라우팅 질의에 대한 응답을 위해 IARP의 라우팅 테이블을 이용한다. 그리고 IERP는 BRP에게 질의 메시지를 전이시킨다. 또한 BRP도 IARP의 라우팅 테이블을 바탕으로 메시지를 전이시키게 된다[4].

경로 탐색 과정을 각 프로토콜별로 살펴보면, 첫 번째 목적노드가 해당 존 내부에 있는 경우인지를 검사를 하게 된다. 내부에 있는 경우에는 RREP(Route Reply)를 소스노드에게 보내고, 외부에 있는 경우에는 IERP를 개시하고 RREQ를 경계노드에게 보더캐스팅(bordercasting)을 하게된다. RREQ를 받은 노드들은 위의 과정을 반복해 나가면서 목적노드를 찾게 된다.

IERP의 진행이 멈추게 되는 경우는 RREQ를 계속 전이를 진행하다가 기록된 경로에 자신의 존에 존재하는 노드가 포함되면 RREQ를 삭제하고(Loop-Back), 또한 기록된 경로상에 동일 요청 ID를 가지면 해당 RREQ를 무시하게 된다.

기존의 테이블 기반의 프로토콜들은 라우팅 정보를 유지

하기 위해 대역폭을 초과하여 사용한다. 반면에 요구 기반의 프로토콜은 긴 라우팅 지연 시간이라는 단점을 가진다. 또한, 라우팅 경로를 선정하기 위해서 네트워크 전체에 전이 시켜야 한다. 이에, ZRP는 두 방식의 장점을 혼합하여 만들어진 방식으로 (그림 1)에서 보는 바와 같이 혼합 방식으로 분류된다. ZRP는 존을 형성하여 존 안에서는 테이블 기반 방식을 따르고, 존을 벗어나는 경우에는 요구 기반 방식을 따른다. 이는 요구 기반 방식의 요청 패킷을 전체 네트워크에 전이 시켜야 되는 취약점을 보완한 방법이 된다.

기존 라우팅 프로토콜의 문제점을 살펴보면, 주기적인 메시지 교환을 필요로 하기 때문에 네트워크의 사용 가능 대역폭을 낭비하게 되고, 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응하지 못한다. 또한 이동 단말이 너무 많은 작업량을 필요로 하는 점들이 기존 라우팅 프로토콜의 문제점으로 들 수 있다.

이에, 본 논문에서는 ZRP를 바탕으로 하여 라우팅 경로의 길이를 줄이고 질의 제어 매커니즘을 적용하여 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응될 수 있도록 하였다. 반면에 주기적인 메시지 교환으로 인한 각 이동 단말의 작업량이 증가하게 되는 단점을 가진다.

#### 4. 제안한 경로 탐색 기법

##### 4.1 라우팅 경로 설정

본 장은 ZRP를 바탕으로 제안하는 경로 탐색 기법을 보인다. ZRP에서의 라우팅 경로 탐색 기법으로는 RREQ를 목적 노드에게 전달될 때까지 거쳐간 노드를 기록해 나가는 방식으로 해당 노드를 찾은 경우에 RREP를 전송하게 된다. RREQ에는 목적 노드, 소스 노드, 요청 ID를 통해 식별하게 된다.

RREQ를 받은 노드의 동작으로는 복제된 RREQ인 경우나 자신의 주소가 패킷에 기록된 경로상에 있으면 해당 요청을 무시하게 된다. 그리고 RREQ의 목적 노드가 자신이면 RREP를 전송하게 되고, 자신이 목적노드가 아닌 경우에는 RREQ를 다른 노드에게 전이시키게 된다.

본 논문에서는 ZRP를 기반으로 하여 ZH 선출 방식을 적용하여 소스 노드에서 목적노드까지의 라우팅 경로의 전체적인 홉 수를 줄이고, 경로상의 노드들끼리의 인증을 통하여 라우팅 경로의 신뢰성을 향상시키는 경로 탐색 방안을 제안한다.

##### 4.1.1 Zone Head 선출 및 기능

ZRP에서의 존의 범위는 각 노드를 중심으로 정해진 홉수까지의 노드를 해당 노드의 존이라 한다. 또한 본 논문에서는 ZH 선출 방식에 의해 선출된 ZH가 존재한다. 선출된

ZH는 라우팅 경로 설정 시, 라우팅 경로를 줄일 수 있는 역할뿐만 아니라, ZH간의 인증을 통해 라우팅 경로의 신뢰성을 높일 수 있다.

ZH 선출 방식은 CGSR(Clusterhead Gateway Switch Routing Protocol)[5]의 클러스터 헤드 선출 방식을 응용하였다. CGSR에서의 클러스터헤드 선출 방식과 동일한 Voting 알고리즘을 적용하여 선출하게 된다. 하나 이상의 Voting 패킷을 받은 노드에 대해서는 ZH의 역할을 부여하며, 다른 일반 노드와 같이 "HELLO" 비전을 전송하여 라우팅 정보 테이블에 필요한 정보를 유지하게 된다.

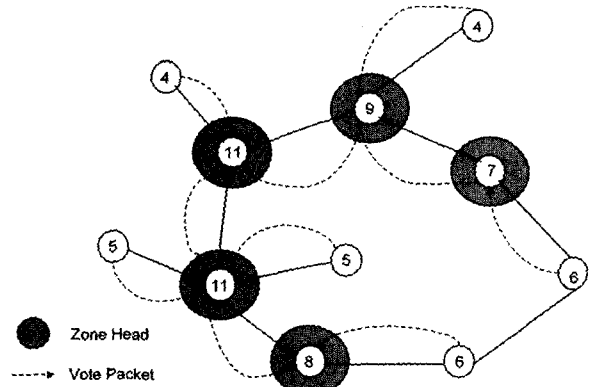
다음은 각 단계별 ZH 선출 과정이다.

- ① ZH 선출에 있어서 필요한 홉 수를 결정하는 단계이다. 네트워크에 존재하는 노드들에 비례한 ZH의 개수를 고려하여 설정하게 된다.
- ② 모든 노드는 연결되어 있는 노드들의 개수를 근접해 있는 노드들에게 보낸다.
- ③ 모든 노드는 연결 개수와 다른 노드들에게서 받은 연결 개수들을 합한 전체 연결 개수의 값 식 (1)을 네트워크내의 모든 노드들에게 보내게 된다.

$$S_i = C_i + \sum_j C_j \quad (1)$$

- ④ 이웃한 노드들 중에 연결 개수의 합(S<sub>i</sub>)이 가장 많은 노드에게 ZH 노드를 선택하기 위한 Voting 패킷을 보낸다.
- ⑤ 네 번째 단계에서 받은 Voting 패킷이 적어도 하나 이상이 되는 노드를 ZH로 선정되고, ZH의 기능을 부여 받게 된다.

다음의 (그림 4)는 위의 알고리즘을 적용하여 ZH를 선출하는 과정을 보여준다. 그림은 1홉을 기반으로 하였고, 노드 안의 숫자는 노드별 연결 개수의 합을 의미한다. 하나 이상의 Voting 패킷을 받은 노드가 ZH로 선출된 결과를 보여준다.



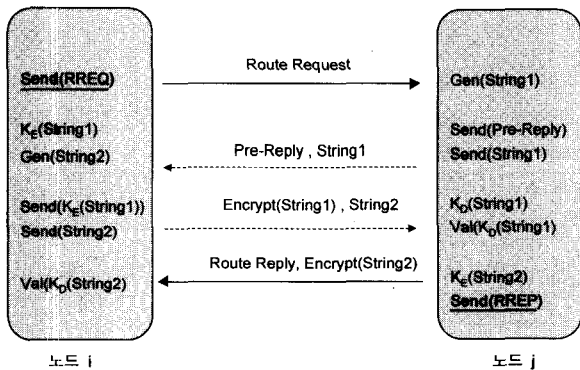
(그림 4) Zone Head 선출 과정

[6]에서의 전체 노드 수에 비례하여 네트워크 모니터로서의 선출된 노드의 수를 비교한 결과를 보면, 전체 노드 수가 일정 수준까지 증가해도 전체 ZH의 수는 대략 전체 노드의 10% 정도가 된다. 따라서, 알고리즘 적용 첫 단계에서 결정되는 홉 수에 따라 ZH로의 선출 노드 개수가 달라지게 되므로, 홉 수의 결정은 전체적인 네트워크에서의 ZH의 노드 수에 영향을 줄 뿐만 아니라, 전체적인 ZH의 수가 달라지면 그 만큼의 메시지 전송이 필요하게 된다.

4.1.2 노드 간 인증 방식

일반적으로 라우팅 경로의 설정 과정을 보면, RREQ를 근접한 노드들에게 보내고, 그에 해당되는 RREP를 받음으로 해서 라우팅 경로가 설정되게 된다. 이러한 라우팅 경로 설정 과정에서 RREP를 받는 동안 노드끼리의 인증을 통하여 라우팅 경로의 신뢰성을 향상시키고자 한다.

신뢰성 향상을 위한 제안 방법으로는 일반적인 상호인증 방식을 따른다. RREP를 보내는 과정에서 3중 통신 프로토콜(Three Way Communication Protocol)[7]을 적용하여 노드간 상호 인증을 하게 된다.



(그림 5) 두 노드간 3중 통신 프로토콜

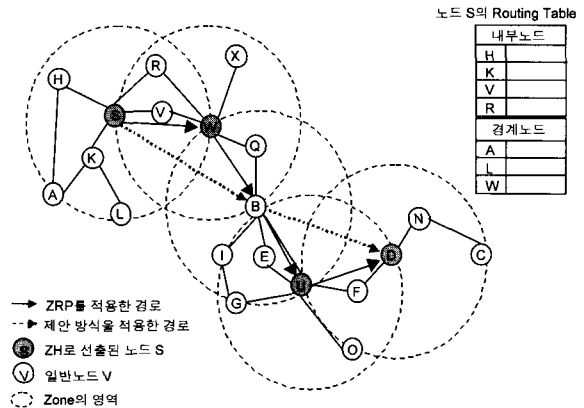
(그림 5)는 RREP를 보낼 때의 3중 통신 프로토콜을 이룬 상호 인증 과정을 보여준다. 일반적인 설정 과정은 노드 i는 노드 j에게 RREQ를 보내고, 노드 j는 RREQ에 해당되는 RREP를 보낸다. 그러나 3중 통신 프로토콜에서는 RREP를 보내기 전에 Pre-Reply와 무작위로 선정된 문자열 l(String1)을 같이 보낸다. 노드 i는 암호화 된 문자열1과 노드 i에서 생성한 문자열2(String2)를 같이 전송하게 된다. 노드 j는 암호화되어 전송되어진 문자열1(String1)을 복호화하여 자신이 생성된 문자열1(String1)과 일치하는지 검증할 하게 된다. 또한 노드 j는 노드 i에서 보낸 문자열2(String2)를 암호화하여 RREP와 함께 전송한다. 노드 i에서 문자열2(String2)의 검증 단계도 입증되면, 두 노드 i와 j는 상호 인증이 이루어지게 된다.

이러한 인증 단계를 진행하는 동안에 검증이 이루어지지 않는 경우에는 해당 패킷(RREQ)은 삭제된다. 라우팅 경로

설정 과정에서의 모든 노드들은 노드간 인증 절차인 3중 통신 프로토콜을 적용하여 라우팅 경로상의 모든 노드들은 인증을 받게 된다.

4.1.3 라우팅 경로 설정 과정

본 절에서는 제안한 경로 설정 방식을 적용하여 노드 S에서 노드 D까지의 라우팅 경로를 설정하는 과정을 보여준다.



(그림 6) 제안한 경로 탐색 기법에 의한 라우팅 경로 설정 과정

다음의 (그림 6)에서 노드 S, W, U, D는 각각의 존을 형성하면서 ZH 선출 방식에 의해 선출된 ZH 노드로 가정한다. 기존의 ZRP에 의해 설정된 라우팅 경로는 S, W, B, U, D이고, 제안한 경로 탐색 기법을 적용하여 S, B, D로 새로운 경로가 설정됨을 보인다.

<표 1> 노드별 라우팅 정보 테이블

노드	내부노드	경계노드
S	H, K, V, R	A, L, W
W	R, V, X, Q	S, B
B	Q, I, E	W, G, U
U	E, G, F, O	I, B, D

위의 <표 1>을 바탕으로 제안한 경로 탐색 과정을 살펴보면, ZRP와 같은 형식으로 목적노드 또는 라우팅 경로의 정보를 보유하고 있는 노드를 만날 때까지 RREQ를 전이시켜나간다. (그림 6)은 중간 경로를 알고 있는 노드가 없이 목적노드까지 RREQ가 전이된 상태로 본다. RREQ를 받은 목적노드 D는 RREQ의 전이 경로의 역으로 노드 U에게 3중 통신 프로토콜의 과정을 거쳐 인증을 한 후 RREP를 보낸다.

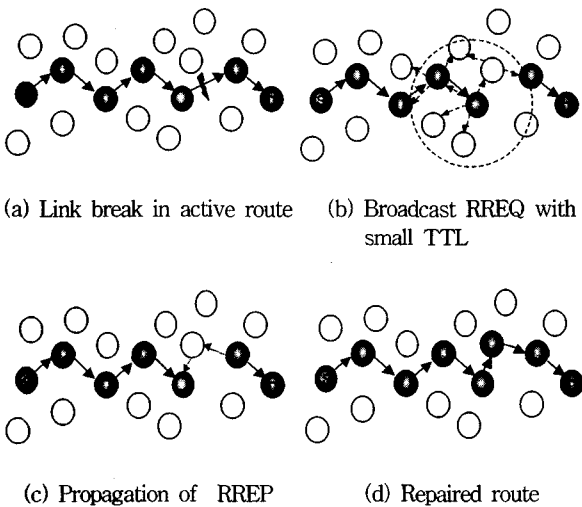
RREQ를 전이시켜나가는 과정은 <표 1>과 같이 내부노드와 경계노드로 구분하여 내부노드를 우선으로 RREQ를 보내어 해당되는 RREP를 기다린다. 해당 RREP가 없는 경우에는 경계노드로 RREQ를 전이시킨다. RREQ를 전이 받은 경계노드는 개별적으로 위의 과정을 반복하여 목적노드를 찾을 때까지 RREQ를 전이시켜나간다.

본 제안 방식에서는 RREP를 전이 시켜나가는 경로상에 노드 D, B가 노드 U의 같은 존에 존재하는 것과 같은 경우에는 ZH 노드 U는 노드 B와 D의 새로운 설정을 형성하게 된다. 이러한 과정을 통해서 본 제안 방식은 ZRP를 바탕으로 하는 라우팅 경로 S, W, B, U, D보다 두 홉이 줄어든 S, B, D의 경로로 설정되게 된다.

4.2 라우팅 경로 유지

일반적인 라우팅 프로토콜에서의 클러스터링 방법은 확장성 측면에서 많은 효율성을 나타내는 반면에 몇 가지 오버헤드를 가지고 있다. 질의 제어 메시지에 오버헤드가 높아지고, 클러스터 헤드와의 통신이 불가능 한 경우도 고려해야 한다. 또한 클러스터를 유지하기 위해서는 각 네트워크 노드로부터 주기적인 메시지 교환이 이루어져야 하는 단점을 가진다[8].

본 논문에서는 애드혹 네트워크의 주된 단점인 토폴로지의 잦은 변화로 인한 라우팅 경로 유지의 어려움을 질의 제어 매커니즘을 적용하여 해결하고자 한다. 질의 제어 매커니즘중에서 라우팅 프로토콜에서 확장성을 향상시키기 위해 제안된 방법인 부분 복구(Local Repair) 방식을 적용한다.



(그림 7) 액티브 라우팅 경로의 부분 복구 과정

부분 복구 방식은 액티브 라우팅 경로(최근에 자료 전송을 위해 사용되던 라우팅 경로)가 붕괴되었을 때 새로운 경로를 재설정하는 것이 아니라, 재설정하는 오버헤드를 줄이기 위해 붕괴된 영역에서만 복구하는 방법이다. (그림 7)은 액티브 라우팅 경로가 붕괴되었을 때 부분 복구하는 과정을 나타낸 그림이다[9]. (그림 7)(a)는 노드 S에서 노드 D까지의 액티브 라우팅 경로의 일부가 붕괴되는 경우를 보여주고, (그림 7)(b)는 임의의 TTL(Time-To-Live)만큼 부분 복구를 위한 라우팅 경로 설정의 RREQ를 전이 시켜나가는 과정을 보인다. (그림 7)(c)는 과정 (그림 7)(b)를 전이

시키는 과정에서 기존의 액티브 라우팅 경로의 정보를 가지고 있는 노드는 RREQ를 보낸 노드에게 RREP를 보내게 된다. (그림 7)(d)는 이러한 과정으로 새롭게 설정된 라우팅 경로를 보인다.

이러한 부분 복구 방법은 라우팅 경로가 붕괴되었을 때, 라우팅 경로를 새롭게 설정하는 것보다 부분 복구를 적용함으로써 네트워크 전체의 오버헤드를 줄이게 되고, 애드혹 네트워크의 잦은 변화에 대한 빠른 대응 시간을 보이게 된다.

5. 실험 및 성능 평가

5.1 실험 환경

본 논문에서는 기존의 ZRP와 제안한 경로 탐색 기법을 시뮬레이션을 통하여 경로 탐색 시간과 평균 데이터 수신율을 비교 분석하였다. 실험은 버클리(Berkeley) 대학의 Network Simulator 2.26(NS-2.26)[10]을 사용하였다.

실험 환경으로는 무선 애드혹 망을 기본으로 하고, 최대 20m/s의 속도의 이동성을 가지는 50개의 노드들이 1500m×300m의 지역 내에서 이동하게 된다. 각 노드의 속도는 1m/s, 10m/s, 20m/s로 변화를 주었고, 50개의 노드 중 10개의 노드가 소스 노드로써 RREQ를 요청하게 되고, 나머지 노드들은 중간 노드 또는 목적 노드의 역할을 하게 된다. 각 소스 노드는 512Kbyte의 패킷을 초당 4개씩 전송하게 되고, 실험에 사용된 MAC layer는 NS-2.26에 포함되어 있는 IEEE 802.11을 사용하였다.

또한, 노드들의 이동성에 인한 대응 시간을 알아보기 위해 휴지 시간(Pause time)의 변화를 주었다. 휴지 시간이 0인 경우는 노드들이 정지하지 않는 상황이다. 수치가 증가할수록 노드들이 정지하고 있는 시간이 길어지게 된다. 본 실험에서는 휴지 시간을 0, 30, 300초로 구분하여 실험하였다.

<표 2> 실험 환경 변수

환경 변수	변수 값
실험 크기	1500m×300m
실험 시간	900초
노드 수	50개
데이터 패킷 크기	512Kbyte
트래픽 형태	4 CBR

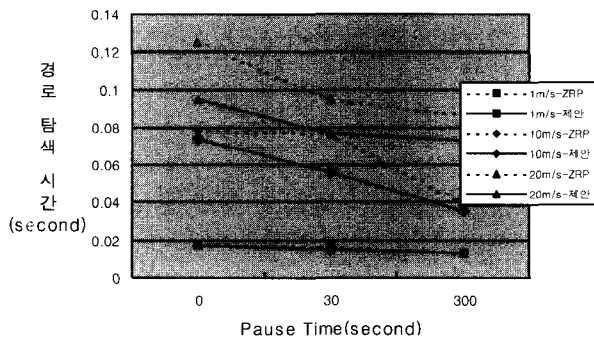
위의 <표 2>와 같은 실험 환경 변수를 바탕으로 휴지 시간과 노드의 이동 속도를 변화 시켜가며 실험하였다.

5.2 실험 결과 및 분석

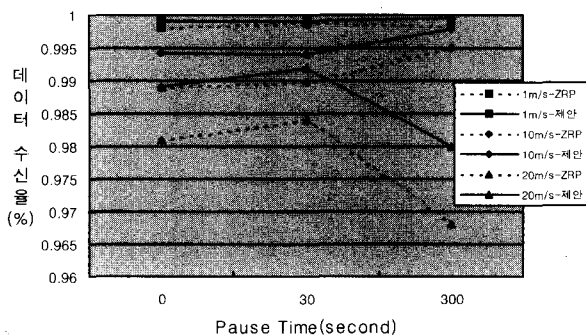
본 실험에서의 평균 경로 탐색 시간은 소스 노드에서 경로 탐색을 위해 RREQ를 보낸 후, RREP를 받을 때까지의 시간으로 측정되었고, 평균 데이터 수신율은 소스 노드에서 전송된 데이터에 비례하여 목적 노드에서 수신된 데이터의

비율을 계산하였다.

(그림 8)은 ZRP와 제안 방식의 평균 경로 탐색 시간을 나타낸다. 노드의 이동 속도를 변화시킨 모든 경우에 기존의 ZRP방식보다 제안 방식의 경로 탐색 시간이 짧음을 볼 수 있다. (그림 9)는 목적 노드에서의 평균 데이터 수신율을 나타낸다. 제안 방식은 기존의 ZRP보다 더 나은 데이터 수신율을 보인다. 노드의 이동 속도가 1m/s나 10m/s에서는 휴지 시간이 클수록 더 높은 수신율을 보인다. 이는 높은 휴지 시간일수록 더욱 안정적인 연결 상태임을 의미한다. 그러나, 이동 속도가 20m/s이고, 휴지 시간이 300인 경우에는 휴지 시간이 0인 경우와 30인 경우보다도 더 낮은 수신율을 보이고 있다. 이는 라우팅 경로 설정이 높은 이동 속도로 인한 노드의 빠른 위치 변화에 대한 대응 능력이 충분하지 않음을 의미하고, 결과적으로 더 많은 데이터 패킷 손실이 발생하게 된다. 반면에, 휴지 시간이 300이고, 노드 이동 속도가 20m/s인 경우에는 ZRP 방식보다 데이터 수신율의 감소율이 적음을 볼 수 있다. 이는 라우팅 경로가 붕괴되었을 때, 새로운 라우팅 경로를 설정하는 것보다 부분 복구를 적용하는 것이 더 빠른 대응 시간을 보임을 의미한다.



(그림 8) ZRP와 제안 방식의 경로 탐색 시간



(그림 9) ZRP와 제안 방식의 데이터 수신율

이러한 부분 복구를 위한 TTL 값은 전체적인 애드혹 네트워크의 크기를 고려하여 설정되어야 한다. 애드혹 네트워크 망의 전체 크기나 노드 수에 비례하여 TTL값을 크게 설정하게 되면 재설정을 위한 오버헤드보다 부분 복구에 드는 오버헤드가 많게 될 것이다. 즉, 애드혹 네트워크의 크

기에 비례하여 적당한 TTL값이 어느 정도인지 가늠할 수 있는 척도가 필요하겠다.

실험의 결과를 보면, 평균 경로 탐색 시간은 ZRP 방식보다 제안 방식이 대부분의 상황에서 매우 안정적이며 빠른 탐색 시간을 보여주었고, 평균 데이터 수신율의 경우에는 두 방식 모두 높은 노드 이동 속도에 대해서는 대응 시간이 충분하지 않음을 보였으나, ZRP 방식보다는 제안 방식의 데이터 수신 감소율이 적음을 보였다.

## 6. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 애드혹 네트워크의 테이블 기반 방식과 요구 기반 방식을 혼합한 ZRP를 바탕으로 하여 좀더 효율적이고 잦은 토폴로지의 변화에 빠르게 대응할 수 있는 라우팅 경로 탐색 기법을 제안하였다.

제안한 기법은 실험을 통하여 기존의 ZRP 방식보다 더 빠른 라우팅 경로 탐색 시간을 보임으로써 노드의 이동에 있어서 더 빠른 대응 능력을 보임을 입증하였다. 또한 데이터 수신율에 있어서도 적은 데이터 손실을 보임으로써 라우팅 경로 유지면에서 더 좋은 성능을 보이고 있다.

애드혹 네트워크에서는 각 노드가 라우터의 역할도 해야 하기 때문에, 일반 유선 기반 망에 비해 노드의 부하가 많은 단점을 가진다. 이러한 각 노드의 부하를 줄일 수 있는 방안에 대해서 향후 연구해 볼 계획이다. 또한 보안측면에서 외부로부터의 침입을 전체적인 네트워크측면에서 탐지하고 막을 수 있는 방법이 부족하기 때문에, 네트워크의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안과 침입 감내 방안을 모색하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. R. Elizabeth, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communication, pp.46-55, 1999.
- [2] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y. C. Hu, and J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," In Proc. of the ACM/IEEE MobiCom, October, 1998.
- [3] Z. J. Haas and M. R. Realman, "The Zone Routing Protocol for Ad Hoc Networks," Internet Draft draft-zone-routing-protocol-01.txt, Aug., 1998.
- [4] M. R. Pearlman and Z. J. Haas, "The zone routing protocol (zrp) for ad-hoc networks," Technical report, Internet Draft RFC, November, 1997.
- [5] C. Chinang, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," Proceeding of IEEE SICON, April, 1997.

- [6] O. Kachirski and R. Guha, "Intrusion Detection Using Mobile Agents in Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of the IEEE Workshop on Knowledge Media Networking(KMN'02), pp.153-158, 2002.
- [7] L. Venkatraman and D. P. Agrawal, "A novel authentication in ad hoc networks," Proceedings of the second IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Chicago, September, 2000.
- [8] Z. J. Haas and M. R. Pearlman, "The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol," Proceedings of the ACM SIGCOMM, Vancouver, Canada, September, 1998.
- [9] L. Sung-Ju, "Routing and Multicasting Strategies in Wireless Mobile Ad hoc Networks," University of California, Los Angeles, Ph.D Thesis, Oct., 2000.
- [10] F. Kevin and V. Kannan, The Network Simulator-NS2, The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, November, 1997. Available from <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.



### 김 경 자

e-mail : sunaunt@hanmail.net

1997년 한서대학교 전산정보학과 학사

1999년 동국대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사

2004년 동국대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사 수료

관심분야 : 애드혹 네트워크, 침입 탐지, 라우팅 프로토콜



### 장 태 무

e-mail : jtm@dgu.edu

1977년 서울대 전자공학과 학사

1979년 한국과학기술원 전산학과 석사

1995년 서울대 컴퓨터공학과 박사

1998년 미국 Southwest Louisiana University 방문교수

1981년~현재 동국대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 컴퓨터 구조, 병렬/분산 처리