제18회 한국정보처리학회 추계학술발표대회 논문집 제9권 제2호 (2002.11)

MANET을 위한 존 라우팅 프로토콜의 효율적인 경로 설정

추성은** 김재남* 강대욱**

* 광주여자대학교 정보통신학부 ** 전남대학교 컴퓨터정보학부

jnkim@kwu.ac.kr* {sechu,dwkang}@chonnam.ac.kr**

An Effective Routing of Zone Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks

Seong-Eun Chu** Jae-Nam Kim* Dae-Wook Kang**

* Dept. of Information & Communication, Kwangju Women's University

** Dept. of Computer and Information Science, Chonnam National University

요 약

MANET은 전형적인 무선 네트워킹과는 다른 새로운 무선 네트워킹 파라다임으로써 기존 유선 망의 하부 구조에 의존하지 않고 이동 호스트들로만 구성된 네트워크이다. Ad Hoc망에서 통신을 하기 위해서는 출발지 노드에서 목적지 노드까지 데이터 전송을 위한 라우팅에 관한 문제이다. Ad Hoc망에서는 모든 단말기의 위치변화가 가능하기 때문에 경로설정에 어려움이 따른다. 노드간에 정보를 보내고자 할 때 노드가 인접한 상태가 아니면 정보를 직접 보낼 수 없고 여러 중간 노드들을 거쳐서 정보를 보내는 다중-홉 라우팅 방식을 사용해야 한다. 따라서 중간 노드들은 패킷 라우터의 역할을 해야하는데 무선 통신 자체가 좁은 대역폭과 한정된 채널을 가지고 전송 범위가 제한되는 문제가 있다. 또한 노드 자체의 이동성과 전력 소모 등으로 인한 이탈은 망 위상을 수시로 변화시키므로 노드간에 정보를 전송하는데 가장 좋은 경로는 수시로 변경될 수 있으므로 많은 어려움이 따르게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제의 해결방안으로 경로유지 과정에서 Ad Hoc망 내의 노드들은 이동성의 특성으로 인해 현재 사용되는 경로 보다 더 짧고 효율적인 경로가 발생하고 중간 노드가 이동 될 때 새로운 경로로 갱신하여 손기없는 최적의 경로를 유지할 수 있는 방법을 제안한다. 제안 방법은 ZRP의 IERP에서 감청모드를 통하여 사용중인 경로보다 최적의 경로를 감지하여 새로운 경로로 갱신하는 방법과 중간 노드가 이동하여 경로가 깨진 경우 부분적으로 경로를 복구하는 방법을 제시하여 항상 최적화된 경로를 유지함으로써 Ad Hoc망의 위상변화에 대한 적응성을 높일 수 있도록 한다.

1. 서 론

Ad Hoc망은 서로 통신하는 이동 노드로 구성된다. 노드의 이동성은 시간이 변함에 따라 네트워크 위상이 변하게 된다. 망 위상의 변화율은 노드의 움직이는 속도에 의존한다. 무선 Ad Hoc망을 위한 많은 라우팅 프로토콜이 제안되었다[2]. 이 프로토콜은 주로 순향적 또는 반응적 프로토콜로 분류할 수 있다. 순향적 라우팅 프로토콜이 사용될 때 노드는 목적지에 자료 전송이 실제로 필요로 하기 전에 목적지에 대한 라우팅 정보를 갖고 있게 된다. 반면에 만일 반응적 라우팅이 사용되면, 목적지에 자료를 발송할 필요가 있을 때 노드는 주어진 목적지에의 경로 계산을 하게된다. 동적으로 변화하는 이동 Ad Hoc망에서, 노드는 라우팅 갱신을 주기적으로 변경할 필요가 있다. 경로를 변경하는 것은 대역폭을 소비할 것이고 만일 네트워크가 크면, 이 제어 메시지는 많은 오버헤드를 갖게된다. 반응적 라우팅 프로토콜이 사용되면 자료가 목적지에 발송될 때 출발지 노드는 목적지 검색을 시작하는 것이 요구된다. 만일 네트워크가 크면, 목적지가 발견되기 전에 엄청난 지연을 초래하게 될지도 모른다. 이와 같이, 순향적 라우팅 프로토콜(table-driven)과 반응적 라우팅 프로토콜(on-demand)의 확장성은 제한된다.

각 노드는 만일 목적지가 출발지 노드에서 어떤 최대 홉 카운트(지역 반경) 내에 있으면 단지 목적지에 경로를 제공하게될 라우팅 테이블을 유지하게 된다. 만일 목적지가 지역 반경밖에 있으면, 출발지 노드는 bordercasting이라고 불리는 on-demand 검색 메커니즘을 호출하게 된다[4]. Bordercasting은 중간 노드의 라우팅 테이블을 순서대로 사용하여 목적지를 검색하기 위해 효율적인 수단으로 제공한다. bordercasting하는 동안 쿼리 스레드를 제어할 수 있는 효율적인 메커니즘이 [3]에 기술되었다.

본 논문에서는 Ad Hoc망 내의 경로유지 과정에서 노드들은 이동성의 특성으로 인해 현재 사용되는 경로 보다 더 짧고 효율적인 경로가 발생하고 중간 노드가 이동 될 때 새로운 경로로 갱신하여 손기없는 최적의 경로를 유지할 수 있는 방법을 제안한다. 제안 방법은 ZRP(Zone Routing Protocol)의 IERP에서 감청모드를 통하여 사용중인 경로보다 최적의 경로를 감지하여 새로운 경로로 갱신하는 방법과 중간 노드가 이동하여 경로가 깨진 경우 부분적으로 경로를 복구하는 방법을 제시하여 항상 최적화된 경로를 유지함으로써 Ad Hoc망의 위상변화에 대한 적응성을 높일 수 있도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련 연구로써 기존 Ad Hoc망을 링크 상태 변경에 반응하는 방법에 따라 분류하여 특성을 파악하고 존 라우팅 프로토콜의 설정방식을 분석하여 기존 프로토콜에서 야기되는 문제점을 파악하여 문제해결에 방법을 모색한다. 3장에서는 경로유지 과정에서 Ad Hoc망 내의 노드들은 이동성의 특성으로 인해 현재 사용되는 경로보다 더 짧은 경로가 발생할 수 있는데 감청 모드를 통해 경로의 단축을 감지하고 중간 노드가 이동하여 경로가 깨진 경우 부분적으로 경로를 복구하여 새로운 경로로 갱신할 수 있는 ZRP의 효율적인 경로 설정 방안을 제시한다. 마지막 4장에서 결론을 맺고 추후 연구 방향을 설정한다.

2. 기존 Ad Hoc망의 경로 설정 프로토콜

ZRP(Zone Routing Protocol)[1]은 그림 2.1과 같이 전체 네트워크를 몇 개의 라우팅 구역(routing zone)으로 나누어 관리하는 IARP(Intrazone Routing Protocol)인 순향적(proactive) 설정 방식과 IERP(Interzone Routing Protocol)인 반응적(reactive) 설정 방식의 복합적(hybrid) 방식이다. 각 노드에서, 미리 정의되는 홉 수(r) 이내에 있는 노드들의 집합을 구역(zone)이라고 부른다. 이와 같이, 네트워크는 그 크기가 같은 많은 구역을 가지고 있다. 구역 이내의 라우팅은 순향적 설정방식으로 이루어지고 구역 사이의 라우팅은 반응적 설정방식으로 이루어진다. 순향적 프로토콜에서, 상태 변화가 발견될 때마다 이동 호스트는 링크 상태 정보를 방송한다. 정보를 받은 호스트는 자신의 링크 상태와 받은 정보를 근간으로 하여 변경된 내용으로 다시 방송을 한다. 링크 상태 정보의 양은 통상적으로 MANET의 규모에 비례한다. 반면에, 반응적 방식의 프로토콜은 단지 경로를 요구에 의해 구성한다. 반응적 방식의 프로토콜은 일반적으로 3개의 구성 요소로 이루어져 있다. 첫째, 경로 발견 : 경로를 요청하고 그 요청에 응답하는 방법을 기술한다. 둘째, 데이터 전송 : 패킷이 목적지 노드에 전달되는 방법, 그러한 데이터 패킷의 형식과 경로 테이블들을 기술한다. 셋째, 경로 유지 : 경로가 깨질 경우의 경로 문제와 경로 복구에 관해 설명한다.

2.1 순향적(proactive) 설정 방식

순향적 설정 방식 프로토콜은 Table driven 방식으로서 각 이동 호스트가 자신의 Routing Information을 주기적으로 Broadcast한다. 또한 이동 호스트들은 네트워크 내의 경로 정보(Routing Information)를 항상 유지하고 목적지(Destination)에 대한 경로 정보가 필요할 때 즉시 경로정보를 사용할 수 있는 방법이다.

순향적 라우팅 프로토콜에는 DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector Routing) 프로토콜, CGSR(Clusterhead Gateway Switch Routing) 프로토콜, 그리고 WRP(The Wireless Routing Protocol)가 있다.

DSDV 프로토콜은 각 이동 노드가 라우팅 테이블을 유지하여 네트워크내의 모든 목적지와 각 목적지까지의 Hop(두 개의 네트워크 노드 또는 라우터 사이의 데이터 패킷 통로)의 수를 기록하고 일련번호(Sequence number)로 예전의 라우트와 새로운 라우트를 구분한다. 일련번호는 라우팅 루프(패킷이 수신 장치에 절대로 도달할 수 없고, 일정한 일련의 네트워크 노드들을 반복적으로 돌기만 하는 경로)가 형성되는 것을 방지하기 위하여 사용된다. 가장 최근의 일련번호를 가진 것이 라우트로 사용된다.

CGSR은 heuristic 라우팅 방법을 사용하는 군집된 다중 홉 무선 이동 네트워크이다. 몇 개의 노드를 무리 지어 Cluster를 형성하고 Clustering을 통하여 Cluster head와 member를 갖는 Cluster를 구성한다. Ad-Hoc 노드 그룹에 클러스터 헤드 제어를 둠으로써 코드

분리, 채널 접근, 라우팅, 대역폭 할당을 위한 framework가 가능하여 진다. 클러스터 헤드 선택 알고리즘은 클러스터 내의 노드들 중 클러스터 헤드를 선택하는데 사용된다.

WRP는 네트워크 내의 모든 경로 정보를 유지하려는 테이블 기반 프로토콜이다. 각 노드들은 Distance table, Routing table, link-cost table(hop count, 대역폭, 기타 측정값), Message retransmission list(MRL) table의 네 가지 테이블을 유지한다. MRL은 갱신 메시지의 일련번호, 재전송 카운터, acknowledgement-required flag vector, 전송된 갱신 리스트를 가지고 있다. 이동 단말기들은 갱신 메시지를 이용하여 다른 이동 노드들과의 연결에 대한 정보를 가져와서 서로 링크의 변화를 알게된다. 갱신 메시지는 이웃 노드간에만 전송되며, 목적지와 목적지까지의 거리 및 ACK응답까지 포함한다.

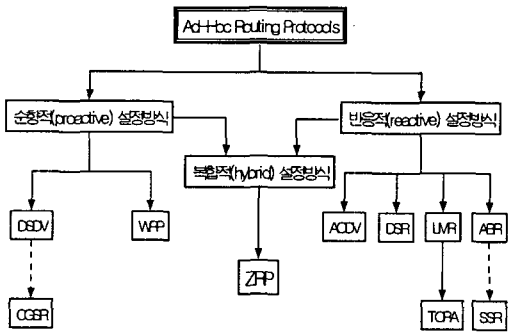

그림 2.1 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 분류

2.2 반응적(reactive) 설정 방식

반응적 설정 방식 프로토콜은 Source-initiated on demand 방식으로서 특정 목적지에 대한 경로 설정이 요구되는 경우(데이터 전송이 시작되기 바로 전)에 경로 설정 절차를 수행하는 방식이다.

반응적 라우팅 프로토콜에는 AODV(Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing), DSR(Dynamic Source Routing), TORA(Temporally Ordered Routing Algorithm), ABR(Associativity Based Routing), SSR(Signal Stability Routing)이 있다.

AODV는 Ad-Hoc망을 구성하고 유지하려는 노드들에 의한 멀티-홉 경로설정이 가능하며 목적지 순서 번호를 사용해서 최신 경로를 보장하고 주기적인 브로드캐스트에 의한 부하를 줄이기 위해 오로지 요구가 있을 경우만 경로 설정을 수행한다. 또한 hello 메시지를 이용하여 이웃 노드의 정보를 유지하기 때문에 국부적인 연결관리와 전체 망 위상관리 간의 구별이 요구되며 이웃하는 두 노드간의 연결은 양방향이라고 가정한다. 1홉 반경의 브로드캐스트에 의한 hello 메시지는 노드의 근거리 이동에 대해 최적의 응답시간과 새로운 노드 설정시 빠른 응답 시간을 제공하여 각 노드의 이웃 노드 테이블 설정과 갱신을 수행한다. 그러나 링크 손실에 따른 지역적 정보 갱신은 경로 재 설정 부하를 증가시킨다[11].

AODV는 목적지를 찾을 때까지 flooding되는 RREQ(Route Request) 패킷과 출발지 노드로 유니캐스트되는 RREP(Route Reply) 패킷 두 개를 사용한다. 라우팅 테이블은 목적지 IP 주소, 홉 수(Hop count), 다음 홉(Next hop), 생존시간(Life time), 목적지 일련번호(Destination Sequence Number)의 내용으로 구성되어 있고 목적지 일련번호는 목적지에 대해 생성되는 일련 번호로서 라우팅 정보가 최신의 것임을 보장하고 라우팅 루프를 방지하는 역할을 한다.

TORA는 분산구조의 라우팅 프로토콜이며 기본적으로 다중 경로를 지원할 뿐만 아니라 매우 동적인 이동 네트워킹 환경에서 동작할 수 있도록 제안되었다. TORA는 height metric을 사용하는 DAG(Directed Acyclic Graph)로 라우팅 메커니즘만을 제공하며, 다른 하위계층 기능을 지원하기 위해서 IMEP(Internet MANET Encapsulation Protocol)를 하위 프로토콜로 사용한다.

Node Height를 구성하는 요소로는 Link failure 발생 시각, Originator node ID(동시에 서로 다른 노드가 새로운 reference level을 정의하는 경우 그들간의 순서를 생성), A reflection indicator bit(이전 reference level에 속하는지 새로운 reference level 에 속하는지를 나타냄), A propagation ordering parameter, 노드의 ID이다.

위상 변화가 일어나면 그 근처 노드에 제어 메시지(control message)를 국한하여 각 노드들은 인접한 노드에 대한 Routing information을 유지하고 망에 생긴 partition을 검출한다. 프로토콜이 수행하는 세 가지 기능은 경로 설정(*Route creation*), 경로유지(Route maintenance), 경로삭제(Route erasure)이다.

ABR는 Association stability의 degree를 나타내는 metric을 사용하는 프로토콜로서 경로는 이 degree를 기준으로 하여 선택된다. ABR 프로토콜의 기본 목적은 조금이라도 더 오래 유지되는 경로를 찾는 것이다.

SSR는 노드간 신호의 세기를 기준으로 하여 경로를 선택하는 프로토콜로서 두 개의 프로토콜을 협동적이고 유기적으로 사용한다.

Dynamic Source Routing(DSR)[10]은 반응적 방식의 프로토콜로서 출발지 노드(source node)에서 생성한 패킷(packet)의 헤더(header)에 목적지 노드까지의 경로를 순차적으로 기록하여 완전한 노드 경로를 생성하는 방식이다. 각 데이터 패킷은 그 헤더에 목적지 노드까지의 경로를 명시해 전송한다. 노드가 데이터 패킷을 받으면 노드는 단지 경로에 있는 다음 노드에 데이터 패킷을 전송해야 한다. 중간 호스트가 다른 라우팅 정보를 유지할 필요가 없다는 것이다. 그러나, 오버헤드가 더 긴 패킷 헤더는 여러 개의 홉을 통과할 수도 있다.

메시지 전송이 필요한 경우 경로 발견 프로토콜(Route discovery protocol)을 수행하고 모든 노드가 자기 자신을 중심(root)으로 하는 Shortest path tree를 유지한다. 라우트 캐쉬에는 자신이 습득한 경로를 저장하고 라우트 캐쉬에 자신이 원하는 경로가 없으면 경로 발견을 수행한다. 경로 발견시 경로 요청 메시지는 원하는 목적지 노드를 명시하고 자신의 주소, Request ID를 통해 유일하게 식별된다. 또한 목적지 노드에게 전달될 때까지 거쳐간 노드를 기록해 나간다. 경로 요청을 받은 노드는 중복된 경로 요청(Duplicated route request)이면 무시하고 자신의 주소가 패킷에 기록된 경로 상에 있으면 무시한다. 또한 경로 요청의 목적지가 자신이면 경로 응답을 전송하고 아니면 경로 요청을 브로드캐스트한다. 경로 에러 메시지는 패킷 전달 실패시에 출발지 노드에게 전달하고 에러가 발생한 링크의 양단 노드를 명시한다.

DSR을 Ad-Hoc 망에 적용하기 위한 몇 가지 가정을 보면 첫째, Ad-Hoc 망을 구성하는 모든 노드는 라우팅 기능과 라우팅 캐쉬를 갖는다. 둘째, Ad-Hoc 망 양끝 두 노드간에 패킷이 전달되기 위하여 필요한 최소 홉 수를 반경이라고 하는데 Ad-Hoc 망의 반경은 최소한 한 홉보다는 크지만 비교적 작은 범위를 가지게 된다. 셋째, 노드의 이동이 빈번하고 빠르게 진행되면 현재 어떠한 프로토콜로도 지속적인 연결을 보장할 수가 없으므로 노드의 이동속도는 망 변화를 반영할 수 있는 적당한 속도를 가져야 한다. 넷째, 노드의 무선 망 인터페이스는 패킷의 목적지 주소를 필터링하지 않는 감청 모드(promiscuous mode)를 사용할 수 있다[10].

2.3 ZRP 구조

ZRP 구성 요소 프로토콜[3]의 관계는 그림 2.2에서 설명된다. 라우팅 구역 위상의 순항적 방식 경로 유지는 경로 갱신 패킷의 교환을 통하여 IARP에 의해 수행된다. 경로 갱신은 MAC-수준 NDP에 의해 이루어지고 이웃 노드들의 링크가 설정되거나 깨질 때 IARP에 통지한다. IERP는 질의-응답 메커니즘을 사용하고 있는 라우팅 구역을 넘어 노드의 경로를 반응적으로 얻는다. IERP는 BRP의 bordercast 패킷 전달 서비스를 사용하여 질의를 전파한다. Bordercasting은 질의 근원지로부터 떨어진 경로 질의를 효율적으로 이끌기 위해 지역 위상의 최근 IARP를 이용한다. IERP는 경로 질의에 응답하기 위해 IARP 지역 경로를 사용한다. 경로 응답은 네트워크 층 유니캐스트를 통하여 질의 근원지에게 방송된다.

처음에 IARP와 IERP의 관계는 ZRP가 계층적인 라우팅 프로토콜이다라고 하는 인상을 줄지도 모른다. 사실, ZRP는 그런 프로토콜과 단지 표면적으로 비슷하게 보인다. 계층형 라우팅은 전 네트워크를 위한 서브넷의 계층을 확립하기 위하여 게이트웨이 또는 랜드마크의 전략적 할당에 의지한다. 서브넷으로의 접근은 서브넷의 할당된 게이트웨이 또는 랜드마크를 통하여 제공된다. 결과적으로, 2개의 노드는 양쪽 노드에 공통인 서브넷 계층의 위로 그들의 통신을 보내야 하는 다른 서브넷에 속한다. 이 제약은 하부 조직을 최대한으로 이용한 경로를 자주 가져오게 한다. 이와는 대조적으로, ZRP 라우팅 구역으로의 접근은 하나의 게이트웨이 또는 랜드마크를 통하지 않고 구역의 확장을 정의하는 최선의 다양한 주변 노드를 통하여 제공된다. 라우팅 구역을 넘은 통신은 더 폭넓은 범위와 더불어 더 높은 계층까지 peer-to-peer방법으로 라우팅 구역을 중첩하면서 가로질러 통과한다. 결과적으로, 계층형 라우팅 프로토콜과 관련되는 비능률적인 라우팅은 ZRP에서 피하고 목적지 노드에 대한 최적 라우팅을 허락한다. 더군다나, 이것은 무선 스펙트럼의 재사용 증가를 가져온다. 이 점에서, 계층 구조 라우팅 프로토콜보다는 평면 구조로서 ZRP를 분류하는 것은 더 정확하다.

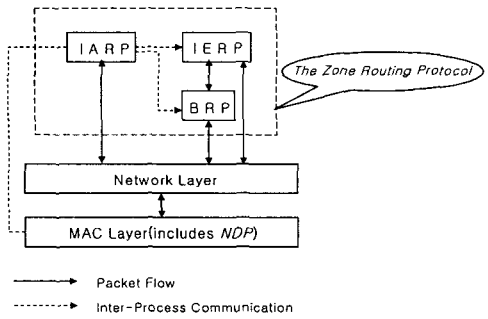

그림 2.2 ZRP의 구조

2.4 기존 라우팅 프로토콜의 문제점

IARP(Intrazone Routing Protocol)인 순행적(proactive) 설정 방식은 Table-Driven 라우팅 프로토콜로서 각 이동 호스트가 자신의 라우팅 정보를 주기적으로 Broadcast하여 네트워크 내의 경로 정보를 항상 유지함으로써 목적지에 대한 경로 정보가 필요할 때 즉시 경로 정보를 사용할 수 있다. 그러나, 경로에 대한 최신 정보를 유지하기 위해 많은 네트워크 트래픽이 발생하고 Routing information broadcast의 주기가 길어지면 대부분의 경로 정보는 쓸모 없게 된다. 이러한 방식은 무선 자원이 제한적인 ad hoc 환경에서는 적합하지 않다.

한편 IERP(Interzone Routing Protocol)인 반응적(reactive) 설정 방식은 Source-Initiated On-Demand 라우팅 프로토콜로써 데이터 전송이 시작되기 바로 전에 경로 설정 절차를 수행하기 때문에 네트워크 트래픽이 감소할 뿐만 아니라 상대적으로 적은 메모리 공간이 필요하다. 그러나, 경로를 설정하는데 시간 지연이 발생하고 데이터 전송 중 경로 실패가 발생할 수 있으므로, 경로 재 설정 작업이 요구될 수 있다. 이러한 방식은 실시간 데이터 전송과 비대칭 링크를 대처하는데는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 이 두 부류 프로토콜의 문제점을 보완하기 위한 방안으로 ZRP와 같은 hybrid 방식이 제안되었다. 그러나 이러한 ZRP의 경우에도 다양한 트래픽 속성과 비대칭 링크에 대한 고려가 아주 미흡한 실정이다.

향후 ad hoc 환경에서 기존의 경로 설정 프로토콜을 그대로 사용할 경우 다양한 데이터 트래픽의 속성에 맞는 차별화된 서비스를 제공할 수 없을 뿐만 아니라 노드가 전력을 독립적으로 소비함으로써 실제적인 Ad Hoc망에서는 노드의 비대칭성이나 무선환경 특성으로 인한 단방향 링크가 존재하게 되는 문제가 발생하게된다. 그러므로 기존의 경로 설정 프로토콜을 이용하기 위해서는 이에 대처할 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜이 제공되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하는 방안으로 비대칭 링크에서 라우팅 캐쉬를 최대 이용하여 항상 최단의 경로를 대체 경로를 설정하여 솔기없는(seamless) 전송을 위한 메커니즘을 hybrid방식 ZRP(Zone Routing Protocol)의 IERP(IntErzone Routing Protocol)에 적용한다.

3. ZRP의 경로 설정 최적화 방법

3.1 사용중인 경로를 새로운 경로로 갱신하는 경우

경로 최적화를 위하여 이동 호스트는 최소의 비용으로 가능한 많은 새로운 정보를 수집해야한다. 무선 전송은 사실상 방송으로 이루어진다. 또한, 무선 전송 특성 중 하나는 지역 내에서 한 쌍의 통신으로 존재하게 된다. 즉, 이 전송과 관련이 없는 모든 다른 노드들은 유휴 상태로 있게 된다. 본 논문에서는 유휴 상태에 있는 노드들이 새로운 라우팅 정보를 모으기 위해 감청 수신 모드에서 네트워크간의 인터페이스를 구성하도록 한다. 라우팅 정보를 전송하는 패킷은 데이터 패킷, RREQ 패킷(Route REQuest packet : 경로설정 요구 패킷)과 RREP 패킷(Route REPly packet : 경로 응답 패킷)을 포함한다. 아래에서 ZRP의 경로 최적화 방법을 보여준다.

ZRP에서 노드는 항상 그 존 구역에서 어떤 노드라도 최선의 경로를 알고 있다. 그래서 경로 최적화가 intra-zone 라우팅에서는 필요가 없다. Inter-zone 에서는 수정된 DSR 프로토콜이 사용된다.

경로 유지 과정에서 Ad Hoc 망내의 노드들은 이동성의 특성으로 인해 현재 사용되는 경로보다 더 짧은 경로가 발생할 수 있는데 감청모드를 통해 경로의 단축을 감지하고 새로운 경로로 갱신할 수 있다.

예를 들어 반경이 2인 ZRP를 사용하고 있는 MANET을 고려하자. 그림 3.1에 있는 것처럼 S에서 D까지의 경로가 $S\rightarrow\cdots\rightarrow N1\rightarrow N2\rightarrow\cdots\rightarrow N3\rightarrow\cdots\rightarrow D$라고 가정한다. 경계 노드들이 라우트가 되므로 그림 3.1에서 노드 $N2$는 노드 $N1$ zone에서 경계 노드이다. 또 다른 경로 $N5\rightarrow N7\rightarrow\cdots\rightarrow N3\rightarrow\cdots\rightarrow N4$가 있어 노드 $N5$에서 노드 $N3$까지 경계 노드 수가 $N2$에서 $N3$까지 경계노드 수보다 적다고 가정하자. 만일 노드 $N5$가 노드 $N1$에서 노드 D까지 보내는 패킷 내용을 듣고, 노드 $N5$가 더 좋은 경로 $S\rightarrow\cdots\rightarrow N1\rightarrow N5\rightarrow N7\rightarrow\cdots\rightarrow N3\rightarrow\cdots\rightarrow D$를 산정하여 출발지 노드 S에게 추천을 한다.

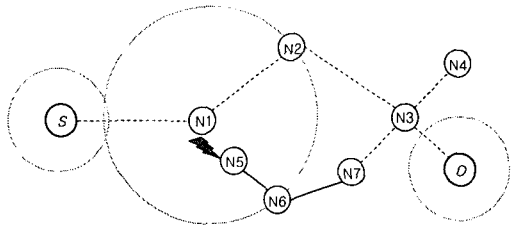

그림 3.1 ZRP 프로토콜에서 경로 최적화 과정

비록 목적지 노드 D로 데이터 패킷을 성공적으로 보낼 수 있는 새로운 경로를 알고 있을 지라도 노드 $N5$가 노드 $N1$의 경계 노드가 아니기 때문에 그 라우트는 본래의 ZRP 프로토콜 정의에 위배되는 것이다(가령 홉 수가 1인 반경 미만인 경우). 이것은 다음과 같이 해결될 수 있다. 노드 S는 노드 $N5$에 의해 추천되는 새로운 경로를 사용하여 데이터 패킷을 전송한다. 노드 $N5$가 노드 $N1$로부터 데이터 패킷을 받을 때, 노드 $N6$이 노드 $N7$을 통과하는 노드 $N1$의 경계 노드인 것을 intra-zone 라우팅 테이블에서 발견하게 된다.

그래서 노드 $N5$는 패킷 헤더에 자기 자신 노드 $N5$를 노드 $N6$으로 바꾸고 노드 $N6$에 데이터 패킷을 보낸다(지금 새로운 경로는 $S\rightarrow\cdots\rightarrow N1\rightarrow N6\rightarrow N7\rightarrow\cdots\rightarrow N3\rightarrow\cdots\rightarrow D$가 될 것이다). 그러면 intra-zone 라우팅은 데이터 패킷을 노드 $N6$에 보내기 위해 이용될 것이다. 노드 $N6$이 데이터 패킷을 받고 있는 동안 노드 $N6$에 의해 비슷한 시나리오가 발견되면 데이터 패킷의 경로를 계속해서 수정되어 진다. 이것은 목적지 노드 D에 패킷이 도착할 때까지 계속적으로 이루어진다. 지금 경로는 이미 ZRP 프로토콜 형식으로 되어 노드 D는 수정된 경로로 $ROUTE_REPLY$를 노드 S에 보낸다. 본 논문에서 다음과 같은 프로토콜을 제시한다. 프로토콜은 노드 D를 목적지로 하여 노드 $N1$에서 노드 $N2$로 보내는 데이터 패킷을 임의의 노드 $N5$가 받아들임으로써 실행된다.

1) 패킷 헤더의 경로 : Let $P=S\rightarrow\cdots\rightarrow N1\rightarrow N2\rightarrow\cdots\rightarrow N3\rightarrow\cdots\rightarrow D$
2) Let $T_{mp}=P$
3) **for**(노드 $N5$의 inter-zone 라우팅 테이블에 있는 각 패스 P') **do**
   for(each $d\in P'$ such that d is a downstream node of $N5$ in P) **do**
      Let $P''=$(P'에서 노드 $N2$부터 d까지의 부분 경로를 노드 $N5$에서 d로 대체한 경로)
      If (length of P'' < length of T_{mp})
      then
         Let $T_{mp}=P''$
      endif
   end for
end for
4) **If** $T_{mp}\neq P$
then
   새로운 경로 T_{mp}를 출발지 노드 S에 경로 응답 패킷을 전달
endif
5) 출발지 노드S가 목적지 노드D에 대한 Inter-Zone 라우팅 테이블의 경로 P를 T_{mp}로 변경
6) 임의의 노드 $N5$가 노드 $N1$에서 받은 데이터 패킷을 전달
   If($N5\neq$목적지 노드 & $N5\neq N1$의 경계 노드)
   then
      데이터 패킷의 경로에서 다음 경계 노드 $N7$을 발견
      $N5$의 intra-zone 라우팅 테이블에서 패스 P'의 노드 $N5$에서 $N7$까지 경로를 계산
      패스 P'에서 N1의 경계 노드를 계산
      If(계산된 경계 노드 = $N6$)
      then
         데이터 패킷 경로를 $N5$에서 $N6$으로 대체
         노드 N6으로 데이터 패킷 전달
      endif
   endif

3.2 중간 노드가 이동하여 경로가 깨진 경우

경로가 깨진 것이 발견되면 최소의 비용(시간과 대역폭)으로 가능한 빨리 문제를 해결하는 것이 바람직하다. 그래서 문제가 출발지 노드에게 보고되기 전에 구역 경로 회복을 수행하기 위한 제안을 한다. 출발지 노드 S에서 목적지 노드 D까지의 경로를 그림 3.2의 위쪽 부분으로 가정한다. 만일 노드 N3이 그림 3.2의 아래쪽과 같이 호스트 N2의 전달 범위로부터 벗어나면 경로는 깨지게 된다.

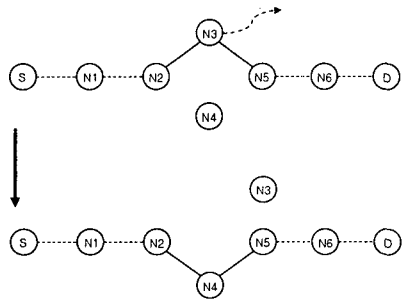

그림 3.2 부분적 경로 회복 과정

사실, 깨어진 경로를 복구하기 위해서 N3 노드의 최초 위치에 가까이 있었던 N4 노드를 새로운 연결 노드로 하는 것이 가장 적합하다. 이 문제를 해결하기 위한 방법은 노드 N2가 깨진 노드 N3 대신에 다른 노드와 연결하기 위하여 제한된 작은 범위 내에서 지역 RREQ 패킷을 가지고 방송을 하면 적은 노력으로 경로를 재구성할 수 있다. 그러면 N4, N7, N5 노드는 경로를 재구성하기 위해 노드 N2에게 RREP 패킷을 보낼 수 있다. 이 문제는 지역적인 문제이므로 단지 매우 작은 홉(2 또는 3)으로 충분할 것이다. 또한, 처음 RREQ를 요청할 때 타이머를 셋업하고 만일 깨진 경로가 타임아웃 기간 이내에 경로가 재구성될 수 없으면 정상적인 경로 에러 패킷을 출발지 노드로 보내어 전역 RREQ(global ROUTE_REQ) 패킷을 보낼 수 있도록 한다. 지역 경로 복구를 위하여 제한된 홉 수가 2라고 가정하자. 홉 수가 3인 부분적인 경로가 발견될 수도 있다.

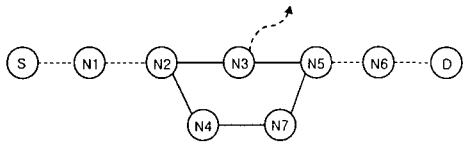

그림 3.3 노드가 이동할 때 최소의 홉으로 경로를 복구하는 과정

그림 3.3의 N2→N4→N7→N5는 N3 노드가 이동함으로 깨진 경로를 복구한 것이다. 이유는 N2 노드에서 2개의 홉으로 지역 ROUTE_REQ를 방송하여 노드 N7이 얻어진 것이다. 그래서 N5 노드는 ROUTE_REPLY 응답을 하게된다. 마찬가지로 제한된 홉 수를 3으로 사용하면 4개의 홉 수를 갖는 일부분의 경로가 설정될 수 있다.

본 논문에서 제안한 내용과 비슷한 ABR 프로토콜[6]에서는 만약 노드 x가 깨진 다음 노드를 연결하고자하는 것을 알게 된다면 두 가지 경우가 발생한다. 만일 노드 x가 경로 1/2지점에 위치(즉, 출발지 노드가 목적지 노드보다 더 가깝게 위치)하면 경로 에러는 출발지 노드에게 보고된다. 다른 경우라면, 경로가 깨지기 전에 운행하기로 되어 있었던 나머지 홉 수와 같은 홉의 제한으로 ROUTE_REQ를 방송을 한다. 만일 이것이 성공하면, 이 경로는 복구가 되고 경로 에러를 보고 받는 일이 없다. 다른 경우라면, 경로 에러는 x 노드의 전 노드에게 보고될 것이고 상기 2개의 경우를 다시 시도하는 것을 순번대로 되풀이한다. 이것은 깨진 경로 복구되던지 최초 경로의 첫 번째부터 1/2지점에 하나의 노드가 도달할 때까지 재귀적으로 되풀이하게 된다. 이 접근이 만일 상기의 되부름이 계속 실패하고 있으면 더 많은 대역폭과 더 긴 지연을 초래할지도 모른다.

따라서 본 논문에서는 최소의 노력으로 깨진 경로를 위치 상으로 복구하기 위하여 경로 길이에 상관없이 네트워크 크기를 확장한 것이다.

4. 결론 및 추후연구

본 논문에서는 MANET을 위한 경로 설정 프로토콜의 경로 유지 과정에서 Ad Hoc망 내의 노드들은 이동성의 특성으로 인해 현재 사용되는 경로보다 더 짧은 경로가 발생할 수 있는데 ZRP의 IERP에서 유휴상태에 있는 노드들이 감청 수신 모드에서 구성된 네트워크간의 인터페이스로 경로의 단축을 감지하여 새로운 경로로 갱신할 수 있는 방법과 중간 노드가 이동하여 경로가 깨진 경우 출발지 노드에게 보고되기 전에 부분적으로 경로를 복구하는 방법을 제시하였다. 제안한 메커니즘은 항상 최적화된 경로를 유지하게 되고 Ad Hoc망의 위상변화에 대한 적응성을 높일 수 있도록 하였다. 차후 연구로는 ZRP의 다양한 트래픽 속성과 비대칭 링크에 대한 연구를 지속적으로 하고 본 연구의 타당성을 검증하기 위한 시뮬레이션을 실시하여 타 연구 결과와 효율성을 비교 분석할 예정이다.

참고문헌

[1] Z. J. Haas and M.R. Pearlman "The Zone Routing Protocol(ZRP) for Ad Hoc Networks" , IETF Internet draft, Nov. 1997.

[2] Elizabeth M. Royer and Chai-Keong Toh "A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks", *IEEE Personal Communications*, vol.6, no.2, pp. 46-55, April 1999.

[3] Z. J. Haas and M. R. Pearlman. "The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol", IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 9, NO. 4, August 2001.

[4] Z. J. Haas, "The Routing Algorithm for the Reconfigurable Wireless Networks", ICUPC'97, San Diego, CA, Oct 1997.

[5] Charles E. Perkins Editor "AD HOC NETWORKING" ADDISON-WESLEY 2001.

[6] C-K. Toh, "Associativity-Based Routing For Ad-Hoc Mobile Networks", In *Proc. IPCCC '96.*, Feb. 1996.

[7] Z. J. Haas and M.R. Pearlman "The Interzone Routing Protocol(IERP) for Ad Hoc Networks" , IETF Internet draft, 1. 2001, Work in progress

[8] Z. J. Haas and M.R. Pearlman "The Bordercast Resolution Protocol(BRP) for Ad Hoc Networks" , IETF Internet draft, 1. 2001, Work in progress

[9] Z. J. Haas and M.R. Pearlman "The Intrazone Routing Protocol(IARP) for Ad Hoc Networks" , IETF Internet draft, 1. 2001, Work in progress

[10] J. Broch, D. Johnson & D. Maltz "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", IETF Internet draft, 3. 2001, Work in progress

[11] Samir R. Das & C. E. Perkins "Ad Hoc on-demand Distance Vector(AODV) Routing for Mobile Ad Hoc Networks", IETF Internet draft, 3. 2001, Work in prgress