

# 노드 밀집도 기반 애드혹 라우팅

김 상 경<sup>†</sup> · 최 승 식<sup>\*\*</sup>

## 요 약

본 논문은 새로운 대체경로 확보 방안을 통하여 라우팅 성능을 개선하는 요구형 애드혹 라우팅 프로토콜인 Node Density Based Routing (NDBR)을 제안한다. 모바일 노드들의 이동이나 전력 고갈 등으로 인해 애드혹 망의 연결은 장애를 일으킬 가능성이 매우 높기 때문에 발신지에서 목적지까지의 연결 설정 시 대체경로를 확보해 두는 것이 중요하다. NDBR은 목적지까지의 대체경로들을 확보하기 위해 상대적으로 더 많은 이웃 노드들을 갖는 중간 노드들로 구성되는 연결 설정을 목표로 하며 이를 위해 노드 밀집도라는 새로운 경로선택기준을 도입한다. NDBR은 경로 장애 발생 시 발신지에 의한 경로재탐색 절차 없이 목적지에 대한 도달성을 향상시킴으로써 경로장애의 영향을 국소화시키고, 제어 트래픽에 의한 오버헤드를 줄이며, 경로재설정 시간을 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 노드 밀집도를 이용하여 대체경로를 포함하는 경로설정 절차와 경로 상의 중간 노드에서 대체경로 정보를 유지하여 활용하는 방법에 대해 기술하고 시뮬레이션을 통한 기존 프로토콜과의 비교를 통해 라우팅 성능이 개선됨을 보였다.

키워드 : 애드혹 망, 요구형 애드혹 라우팅, 노드 밀집도 기반 라우팅

## Node Density Based Routing in Ad Hoc Networks

Sangkyung Kim<sup>†</sup> · Seung Sik Choi<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

This paper proposes an on-demand ad hoc routing protocol, Node Density Based Routing (NDBR), which enhances the routing performance applying a new method to establish alternate paths. It is important to reserve alternate paths for the route from source to destination in mobile ad hoc networks that are susceptible to failure due to the movement or the power exhaustion of mobile nodes. NDBR aims to establish a route that contains more alternate paths toward the destination by involving intermediate nodes with relatively more adjacent nodes in a possible route, and introduces a new routing criterion called 'node density.' This approach can localize the effects of route failures, and reduce control traffic overhead and route reconfiguration time by enhancing the reachability to the destination node without source-initiated route re-discoveries at route failures. This paper describes the route setup procedure using node density and the route re-configuration procedures employing alternate path information at the intermediate nodes. We show the performance of our routing schemes through a series of simulations using the Network Simulator 2 (ns-2).

Key Words: Mobile Ad Hoc Network, On-demand Ad Hoc Routing, Node Density Based Routing(NDBR)

### 1. 서 론

애드혹 망은 기간통신망의 도움 없이 모바일 노드들로만 구성되어 상호간 통신이 가능한 임시로 구성되는 망이다 [4]. 따라서 애드혹 망은 노드의 예측 가능하지 않은 이동성으로 인하여 망 토폴로지가 역동적으로 변할 수 있다는 특징을 가지며, 노드간 통신을 유지하기 위하여 망 연결에 대한 지속적인 추적을 필요로 한다. 또한 애드혹 망에서의 라우팅은 토폴로지 변화에 적응적으로 대처할 수 있어야 한다.

망의 구성이 상당히 안정적인 유선망을 위하여 개발된 라우팅 기법 [10], [11] 들을 애드혹 망에 적용하는 것은 비효율적이기 때문에 많은 연구자들이 애드혹 망에 적합한 라우팅 프로토콜들을 제안하여 왔다. 대부분의 애드혹 라우팅 프로토콜들은 잦은 경로재설정에 의한 제어 트래픽 오버헤드를 줄이고 발신지 (source)로부터 목적지 (destination)까지의 안정적인 경로설정에 목표를 두고 요구형 (on-demand) 라우팅 기법을 채택하고 있다. 요구형 라우팅 프로토콜은 송신할 데이터를 갖는 발신지 노드가 데이터를 전송하고자 할 때만 목적지 노드까지의 경로를 탐색하여 경로를 생성, 유지함으로써 라우팅 테이블 유지형 (table-driven) 프로토콜 [7]보다 제어 트래픽에 의한 부하를 줄일 수 있다. 일반적으로 경로설정은 경로탐색 메시지의 플러딩 (flooding)과 그에 대한 응답과정

<sup>†</sup> 정 회 원 : 강릉대학교 정보전자공학부 조교수  
<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 인천대학교 정보기술대학 컴퓨터공학과 전임강사  
 논문접수 : 2005년 1월 13일, 심사완료 : 2005년 5월 23일

을 통해 이루어지는데 플러딩이 유발하는 트래픽량을 줄이고 경로재구성 과정에서 요구될 수 있는 경로재탐색의 회수를 최소화하기 위한 여러 가지 기법들이 개발되어 왔다.

DSR [5] 프로토콜은 소스 라우팅에 기반하며 홉 거리(hop distance)를 경로선택 기준(routing metric)으로 사용하여 발신지-목적지간 최단 경로를 경로로 선택하며, 경로 캐시를 이용하여 라우팅 오버헤드를 줄인다. AODV [15] 프로토콜은 라우팅 정보의 생성 및 유지에 있어서 라우팅 테이블 유지형 라우팅 프로토콜인 DSDV [14]의 성능 특성을 향상시키기 위하여 고안되었다. AODV는 발신지의 요구에 의해 경로를 설정함으로써 라우팅 정보 갱신과 모든 경로에 대한 라우팅 테이블 유지를 위하여 DSDV에서 수행되는 주기적인 라우팅 정보의 교환에 따른 제어 트래픽 오버헤드를 개선한다. ABR [17] 프로토콜은 경로선택기준으로서 'associativity state'를 사용하여 안정된 경로를 설정하는 것을 목표로 하는 요구형 라우팅 프로토콜이다. 'Associativity state'는 링크 안정성을 표시하며 인접 노드들로부터 수신되는 제어 메시지(Beacon)의 개수를 이용하여 산출한다.

LAR [6]은 GPS를 통해 얻어진 위치정보를 이용하여 새로운 경로탐색을 위한 플러딩 범위를 'request zone'이라는 좁은 영역으로 국한하며, 결과적으로 라우팅 메시지의 수를 줄임으로써 라우팅 성능을 향상시킨다. LAKER [9]는 DSR의 캐싱 전략과 LAR의 제한된 플러딩 방법을 결합한 형태의 라우팅 프로토콜로서 지리적인 위치 정보와 경로 캐시를 이용한 플러딩 오버헤드의 개선 방안을 제시하고 있다.

한편, 노드의 에너지 고갈에 따른 경로재구성을 피하고 경로의 생존성을 개선하기 위한 라우팅 프로토콜들이 제안되어 왔다. SEADSR [2]은 DSR의 확장된 형태로서 경로탐색 메시지의 전파 시 중간 노드의 배터리 용량을 기반으로 한 지연을 일으킴으로써 경로선택에 노드의 에너지를 반영하는 방법을 채택하고 있다. Doshi et al. [3]은 최소 에너지 경로 정보를 저장하는 'energy aware' 링크의 사용을 통해 데이터 패킷들을 목적지 노드로 전달할 때 최소의 에너지를 소비하는 경로를 선택함으로써 애드혹 망 내 노드들의 에너지 소비량을 줄이는 라우팅 프로토콜을 제안했다.

앞서 살펴본 바와 같이 애드혹 망에서 라우팅 오버헤드를 줄이는 것은 매우 중요하며 특히, 경로재탐색 절차에 의하여 유발될 수 있는 과도한 제어 트래픽은 패킷 전송 지연을 초래할 수 있기 때문에 경로의 생존성을 극대화하여 경로재탐색 회수를 최소화 하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 초기 설정된 경로 상의 발신지 및 중간 노드들이 대체 경로들을 유지하도록 하여 장애 발생 시 신속한 경로재구성을 가능케 하는 요구형 라우팅 프로토콜인 Node Density Based Routing (NDBR)을 제시한다. NDBR은 경로선택기준의 하나로 노드 밀집도(node density)를 적용하여 중간 노드들이 상대적으로 풍부한 대체경로를 확보할 수 있게 하는 새로운 방안을 제안한다. 노드 밀집도는 한 노드의 전파 범위 내에 있는 인접한 노드의 수로서 정의되는데 노드 밀집도가 높은 노드들로 구성되는 경로를 설정함으로써 목적지로 향하

는 대체경로들을 상대적으로 많이 확보하여 유지하는 것이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절은 대표적인 요구형 라우팅 프로토콜인 AODV와 기존에 제안된 대체경로 유지 라우팅 프로토콜들을 분석한다. 3절은 NDBR의 상세한 알고리즘과 절차에 대해 기술한다. 4절은 시뮬레이션을 통한 NDBR의 성능 분석 결과를 설명한다. 마지막으로 5절에서 결론과 추가적으로 요구되는 연구에 관해 기술한다.

## 2. 관련 연구

AODV [15]는 Route Request (RREQ) 패킷을 방송함으로써 경로탐색 절차를 시작한다. RREQ 패킷은 목적지 노드 또는 목적지 노드로의 라우팅 정보를 유지하고 있는 노드에 도달할 때까지 전파된다. RREQ 패킷을 수신한 노드는 목적지 노드로의 라우팅 정보를 알고 있고 목적지 순서번호를 이용하여 그 정보가 가장 최신의 것으로 확인한다면, Route Reply (RREP) 패킷을 발신지 노드를 향하여 전송함으로써 경로를 설정한다. 경로 장애의 발생 시 장애를 인지한 상위 노드는 링크 장애 사실을 발신지 노드를 향하여 전파하며, 발신지 노드는 RREQ를 이용한 경로재탐색 절차를 시작하게 된다. AODV는 목적지 노드로의 최근 경로를 쉽게 찾아냄으로써 연결설정에 의한 지연을 줄일 수 있으나 하나의 RREQ 패킷에 대해 여러 개의 RREP 패킷을 발생시킴으로써 제어 오버헤드가 커질 수 있으며, 장애 처리를 국소화하지 않아 경로재구성에 따른 지연을 유발할 수 있다.

Split Multipath Routing (SMR) [8]은 최대한 중첩되지 않는(maximally disjoint) 경로들의 설정을 목표로 하는 요구형 라우팅 프로토콜이다. SMR은 DSR에 기반하고 있지만 DSR과는 달리 중첩되지 않는 경로들을 발견할 수 있도록 중간 노드들에 의한 RREQ 패킷의 중복 전송을 허용한다. 목적지 노드는 하나 이상의 경로들을 선택하여 발신지 노드를 향하여 각 경로 상으로 개별적인 RREP패킷을 전송함으로써 경로들을 설정한다. SMR에서는 데이터 트래픽이 여러 경로들로 분리되어 전송되도록 함으로써 좋은 패킷 전달율을 나타내고 망의 부하 분담에 도움을 줄 수 있지만 데이터 패킷 전달 순서의 어긋남으로 인한 목적지 노드에서의 재정렬을 초래할 수 있으며, 특히 RREQ 패킷의 중복 전송 허용으로 경로 설정 시 상당한 오버헤드를 야기한다.

Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) [13]은 link reversal 알고리즘을 사용하며, 목적지 노드로의 루프가 없는 다중 경로를 제공하는 요구형 라우팅 프로토콜이다. TORA는 장애에 의한 경로재구성 시 제어 패킷을 국소적으로 제한하는 특징을 가지며, 이를 위해 경로 상의 노드들은 인접한 노드들에 대한 라우팅 정보를 유지한다. TORA는 초기 경로설정 시 Query/Update 매커니즘을 이용하여 목적지 노드 중심의 directed acyclic graph (DAG)를 생성하는데 DAG는 목적지 노드로부터의 거리를 주요한 파라미터로 이용하여 만들어진다. 장애 발생 시 경로의 재구성은 DAG의 변

경을 통해 이루어진다. TORA는 경로재구성을 위한 제한 패킷의 전달 범위를 국소화함으로써 제어 오버헤드를 줄일 수 있으나 여러 경로에서 동시에 경로재구성이 진행될 경우 일시적인 oscillation과 루프의 발생을 초래할 수 있으며, 국소적인 경로재구성으로 인해 최적이지 아닌 경로를 유지할 수도 있다.

A. Nasipuri, et al. [12]는 목적지 노드에 도착하는 첫 번째 Query 메시지에 의해서 형성되는 경로를, 즉 최단 거리 경로를 주 경로로 선택하고, 주 경로 상의 각 중간 노드에서 목적지 노드로 주 경로와 중첩되지 않게 전달되는 Query 메시지를 이용하여 대체 경로를 구성하는 요구형 라우팅 프로토콜을 제안했다. 주 경로에 장애 발생 시 최단 거리의 대체 경로가 사용되며, 모든 경로에 장애가 발생할 때까지 이 과정이 반복된다. 이 프로토콜은 대체 경로의 제공으로 경로탐색 회수를 줄이고 경로재구성에 소요되는 시간을 줄일 수 있으나 대체 경로의 형성이 최단 경로에 국한되어 대체 경로의 확보에 어려움을 초래할 수 있으며, 대체 경로의 길이에 대한 제한을 두지 않아 지나친 데이터 패킷의 전송 지연을 나타낼 수도 있다.

### 3. Node Density Based Routing

NDBR은 노드 밀집도가 높은 노드들로 구성되는 경로가 목적지로 향하는 보다 많은 대체경로를 가질 수 있을 것이라는 아이디어에 기반하고 있다. 경로탐색 과정에서 여러 개의 잠재적인 경로가 발견된다면 경로의 노드 밀집도, 즉 경로 상에 위치하는 발신지 노드와 중간 노드들의 노드 밀집도의 합이 적합한 경로를 선택하는데 있어서 주요한 기준이 된다. 그렇지만 선택된 경로의 홉 거리는 발신지에서 목적지까지 최단 거리를 선택하는 DSR 과 같은 라우팅 프로토콜의 경우보다 길어질 수 있다. 상대적으로 지나친 홉 거리를 갖는 경로가 선택되는 것을 방지하기 위해 NDBR은 경로의 노드 밀집도의 합과 함께 홉 거리 (hop distance)를 고려하여 적합한 경로를 결정한다.

#### 3.1 경로 설정

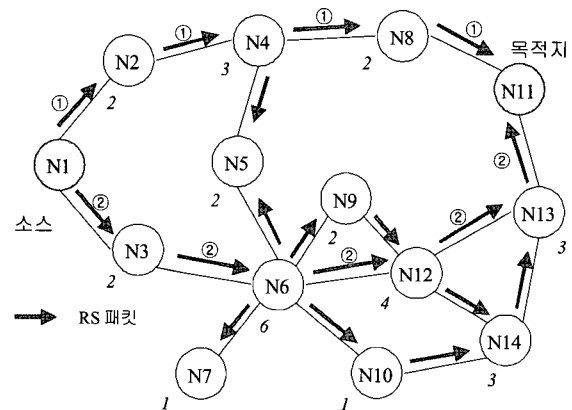
NDBR에서 경로설정은 일반적인 요구형 애드혹 라우팅 프로토콜에서와 같이 경로탐색과 그에 대한 응답과정에 의해 이루어진다. 경로설정 과정 중에 주 경로와 대체경로들이 설정된다. NDBR의 동작은 인접한 노드들간 무선 링크가 대칭적이며, 노드 밀집도는 링크 계층의 도움으로 파악된다는 가정에 기반을 둔다.

##### 3.1.1 경로탐색 과정

전송할 데이터 패킷을 갖는 노드는 경로탐색(RS: Route Search) 패킷을 방송함으로써 경로설정 절차를 시작한다. RS 패킷은 (그림 1)에서와 같이 네트워크 전체로 전파되며, 거쳐가는 노드의 노드 밀집도와 발신지 노드까지의 홉 거리에 관한 정보를 운반한다. RS 패킷을 수신한 노드  $N_{rs}$ 는 다음과 같이 동작한다.

- 수신한 RS 패킷이 새로운 것이라면,  $N_{rs}$ 는 패킷을 전달한 노드를 상위 노드 (upstream node)로서 기록하고 RS 패킷에 자신의 노드 밀집도를 더하여 갱신한 후 이웃 노드들로 전파한다. 기록된 정보는 경로탐색응답 과정에서 경로를 설정하는데 이용된다.
- $N_{rs}$ 가 동일한 RS 패킷을 중복하여 수신하면, 패킷을 전달한 노드를 대체 상위 노드로서 기록하고 해당 패킷을 폐기한다. 기록된 노드 정보는  $N_{rs}$ 가 최종적으로 목적지 노드에 의해 선택된 경로에 포함될 경우 대체경로를 설정하는데 이용된다.
- $N_{rs}$ 가 목적지 노드라면,  $N_{rs}$ 는 패킷을 전달한 노드 및 패킷에 포함되어 전달된 홉 거리, 패킷이 거쳐온 경로 ①의 노드 밀집도에 관한 정보를 기록한다. 목적지 노드는 보다 높은 노드 밀집도를 갖는 경로를 선택하기 위해 다른 경로로 전달되는 RS 패킷들을 일정한 개수만큼 추가적으로 더 수신한 후 노드 밀집도와 홉 거리를 고려하여 적절한 경로를 선택한다. 후속적인 RS 패킷이 수신되면 ①을 포함하는 잠재적인 경로들 중에서 경로의 노드 밀집도를 경로의 홉 거리로 나눈 값이 가장 큰 경로를 선택하여 RSR 패킷으로 응답한다. 이때 ①보다 정해진 홉 수 이상 긴 잠재적인 경로는 대상에서 제외한다. 한편, 첫 번째 RS 패킷을 수신한 후 일정 시간 동안 추가적인 RS 패킷이 수신되지 않으면, 목적지 노드는 ①을 경로로 선택한다.

(그림 1)은 RS 패킷이 네트워크에 전파되는 과정을 예시한다. 노드 아래의 이탤릭 숫자는 해당 노드의 밀집도를 가리킨다. (그림 1)의 예에서 가장 높은 노드 밀집도를 갖는 노드는 N6이다. 각 노드는 동일한 RS 패킷을 중복하여 전파하지 않는다. 그러므로 (그림 1)에서는 2개의 RS 패킷이 목적지 노드인 N11에 도착한다. 한 RS 패킷은 N1-N2-N4-N8-N11의 경로로, 다른 RS 패킷은 N1-N3-N6-N12-N13-N11의 경로로 전달된다. 두 경로 중 후자가 홉 거리는 더 길지만 노드 밀집도의 합은 8이 더 크므로 최종적인 경로로 선택된다.



(그림 1) 경로탐색 패킷의 전파과정

3.2.2 경로탐색응답 과정

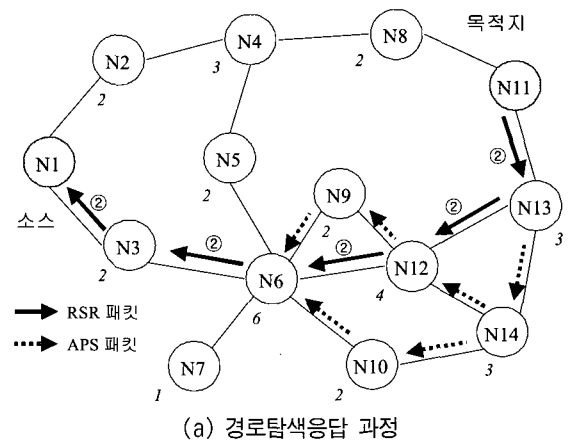
대체경로를 포함하는 경로의 설정은 경로탐색응답 과정에서 이루어진다. 목적지 노드는 선택된 경로에 해당하는 RS 패킷을 전달한 노드를 통해 경로탐색응답(RSR: Route Search Reply) 패킷을 발신지 노드로 향하여 전송함으로써 경로탐색응답 과정을 시작한다. RSR 패킷은 RS 패킷이 전달된 순서를 역으로 하여 전달된다. RSR 패킷을 수신한 노드는 그 패킷을 전달한 노드를 해당 목적지를 위한 다음 홉(next hop)으로서 기록하고, 경로탐색 과정에서 기록된 상위노드로 전달한다. 또한, 노드가 대체 상위노드를 가지고 있다면 대체경로 설정(APS: Alternate Path Setup) 패킷을 생성하여 전송한다. 발신지 노드가 RSR 패킷을 수신하면 패킷을 전달한 노드를 해당 목적지를 위한 다음 홉으로 라우팅 테이블에 지정하고 데이터 패킷의 전송을 시작한다.

APS 패킷은 대체경로를 설정하기 위해 사용된다. APS 패킷은 대체 상위노드들을 갖는 주 경로 상의 노드들에 의해서만 발생된다. APS 패킷은 대체 상위노드들에 의해서 발신지 노드 방향으로 전달된다. APS 패킷을 수신한 노드  $N_{APS}$ 는 다음과 같은 동작을 수행한다.

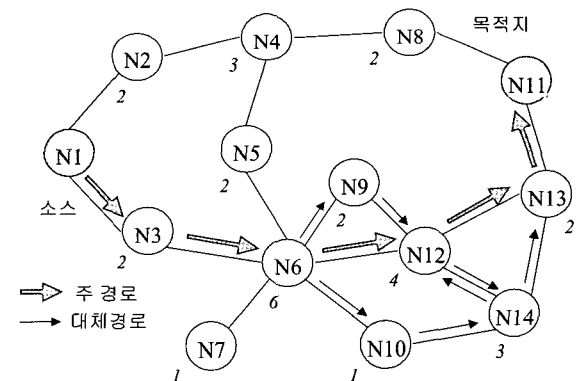
- $N_{APS}$ 가 주 경로 상에 위치한 노드라면, 대체경로를 위한 라우팅 테이블인 대체경로 테이블(APT: Alternate Path Table) 엔트리를 생성한다. APT 엔트리는 APS 패킷을 전달한 노드(이후  $N_{fwd}: APS$ )를 대체경로의 다음 홉으로 기록한다.
- $N_{APS}$ 가 대체경로 상의 노드이고 동일하게 식별되는 APS 패킷을 이미 수신하였다면, 그 패킷은 폐기된다. 이것은 대체경로는 그 자신을 위한 대체경로를 가질 수 없다는 것을 의미한다<sup>1)</sup>.
- 그 외의 경우  $N_{APS}$ 는  $N_{fwd}: APS$ 를 해당 목적지를 위한 APT 엔트리에 대체경로의 다음 홉으로 기록하고 상위 노드들로 전달한다.

(그림 2)는 대체경로 설정을 포함하는 경로탐색응답 과정을 예시한다. (그림 1)에 보여진 바와 같이 N11이 잠재적인 경로 ① 과 ② 로부터 2개의 RS 패킷들을 수신할 때, N11은 상대적으로 길지만 노드 밀집도가 높은 경로 ② 를 선택한다. 이 경로는 N6과 N12에서 N11로 향하는 대체경로를 갖는다. N6은 2개의 대체경로 N6-N9 과 N6-N10을 갖는다. 경로설정을 위해서 N11은 선택된 RS 패킷을 전달한 N13으로 RSR 패킷을 전송한다. RSR 패킷은 발신지 노드를 향하여 (그림 2)에서와 같이 전달된다. RSR 패킷을 수신한 노드는 해당 목적지에 대한 경로 정보를 생성하거나 갱신한다. RSR 패킷이 발신지 노드에 도달하게 되면 발신지 노드는 데이터 패킷의 전송을 시작한다. 그림의 예에서 데이터 패킷들은 설정된 경로 N1-N3-N6-N12-N13를 통해 전송된다. 한편, 대체경로 설정을 위해서 RSR 패킷을 수신한 노드는

대체 상위노드에 대한 정보를 가지고 있다면 APS 패킷을 생성한다. (그림 2)의 (a)에서 N13은 주 경로 상에 위치하고 대체 상위 노드 N14를 가지고 있기 때문에 APS 패킷을 생성하여 N14로 전송한다. N14가 APS 패킷을 수신하면 대체경로정보를 기록한다. APS 패킷은 주 경로 상의 다른 상위 노드들을 향하여 전파된다. (그림 2)의 네트워크에서 N13에서 발생된 APS 패킷은 N12와 N6으로 전달된다. N6과 N12는 목적지 노드 N11을 위한 APT 엔트리를 생성하여 유지한다. N12는 하나의 대체경로 N12-N14-N13을 가지며, N6은 3개의 대체경로 N6-N9-N12 (4 홉), N6-N10-N14-N12 (5 홉), N6-N10-N14-N13 (4 홉)을 갖는다. (그림 2)의 (b)는 최종적으로 설정된 경로를 나타낸다. N6과 N12간 링크 장애가 발생한다면 N6은 3개의 대체경로 중 하나를 이용하여 전송 중에 있는 데이터 패킷들을 전달할 수 있다.



(a) 경로탐색응답 과정



(b) 설정된 경로의 예  
(그림 2) 경로설정 예

3.2 경로재구성

노드가 링크 장애를 감지했을 때 목적지로 향하는 대체경로를 가지고 있다면, 그 노드는 전송 중에 있던 패킷들을 대체경로를 경유하여 계속해서 전달한다. 그러나 대체경로에 관한 정보를 유지하고 있지 않다면, 장애통지(FN: Failure Notification) 패킷을 사용하여 장애 사실을 상위 노드로 알린다. FN 패킷을 수신한 노드  $N_{FN}$ 는 다음과 같이 동작한다.

1) 대체경로를 위한 대체경로를 유지하는 것은 노드들이 가져야 하는 경로정보의 재귀적인 증가를 초래한다

- $N_{FN}$ 이 주 경로 상에 위치하고 FN 패킷이 데이터 패킷 전달에 참여하는 노드로부터 발생되었다면, APT를 참조하여 대체경로를 찾는다. 대체경로가 존재한다면, 그것을 통해 데이터 패킷들을 우회한다. 대체경로를 찾을 수 없다면 FN 패킷을 상위 노드로 전파하고 장애경로에 관련된 정보를 삭제한다.  $N_{FN}$ 이 발신지 노드라면 경로재탐색 절차를 시작한다.
- $N_{FN}$ 이 주 경로 상의 노드이고 FN 패킷이 대체경로 상의 노드로부터 발생되었다면 해당하는 대체경로에 관한 정보를 APT에서 삭제한다.
- $N_{FN}$ 이 데이터 패킷 전달에 참여하는 대체경로 상의 노드라면 해당하는 라우팅 테이블과 APT 엔트리를 삭제하고 수신한 FN 패킷을 상위 노드로 전파한다.
- $N_{FN}$ 이 데이터 패킷 전달에 참여하고 있지 않은 대체경로 상의 노드라면 해당하는 APT 엔트리를 삭제하고 FN 패킷을 상위 노드로 전파한다.

#### 4. 성능분석

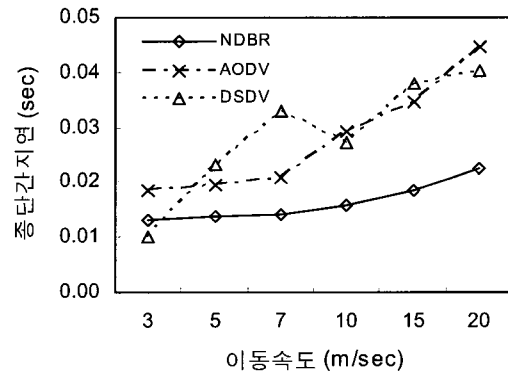
Network Simulator 2 (ns-2) [16]를 이용한 시뮬레이션을 통하여 NDBR의 성능을 단일 경로 라우팅 프로토콜 및 대체 경로 유지 라우팅 프로토콜들과 비교 분석하였다. Ns-2에서 제공되는 IEEE 802.11 무선 및 MAC 모델이 시뮬레이션 상의 노드들에 적용되었으며 각 노드의 무선 전파 범위는 250 미터이다. 트래픽 데이터를 생성하기 위해 CBR (Constant Bit Rate) 발신지가 사용되었고, 트래픽의 페이로드 크기는 512 바이트, 데이터 속도는 4 패킷/초이며, 노드의 이동은 Random Waypoint 모델 [1]을 따르며, 이동 시나리오는 다음과 같다.

- 각 노드는 초기에 시뮬레이션 영역 내의 임의의 장소에 위치한다.
- 시뮬레이션이 진행됨에 따라 각 노드는 현재 위치에 일정 시간 - 정지시간 동안 머문다.
- 이후 임의의 새로운 위치를 목적지로 선정하여 0과 최대 속도 사이에서 균일하게 분포된 속도로 이동한다.
- 목적지에 도착하면 노드는 다시 정지시간 동안 머문 후 새로운 위치를 선정하여 이동하는 과정을 반복한다.

성능 척도로는 종단간 지연 (end-to-end delay)과 패킷 전달율 (packet delivery ratio), 제어트래픽 오버헤드 (overhead due to control traffic)를 이용하였다. 시뮬레이션의 결과는 최소 5회 이상의 실험을 통해서 얻어진 것이며, 다양한 환경에서의 실험을 위하여 노드의 이동속도, 노드의 수, 네트워크 크기, 트래픽 발신지의 수, 시뮬레이션 시간 등의 조건을 변화시키면서 성능분석을 실시하였다.

##### 4.1 기존 단일 경로 라우팅 프로토콜과의 비교

4.1.1 시뮬레이션 유형 1 - 노드의 이동속도 변화  
 노드의 이동 속도를 변화시켜가면서 NDBR을 DSDV

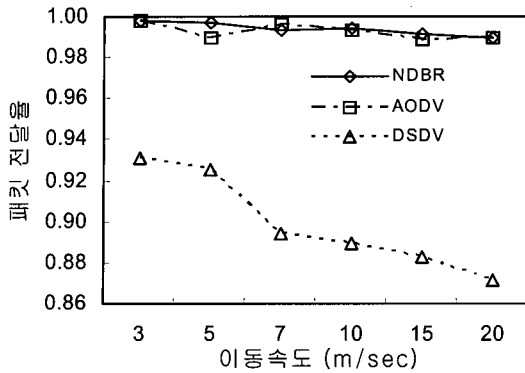


(그림 3) 종단간 지연시간

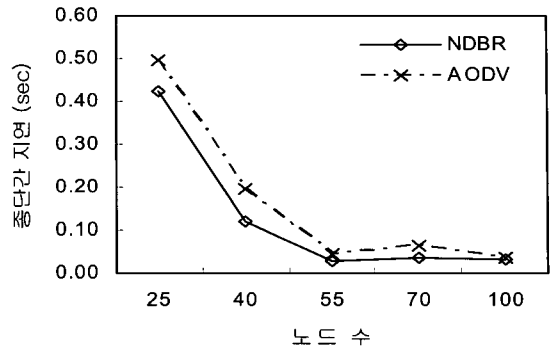
[14] 및 AODV [15]와 비교 분석하였다. 본 시뮬레이션은 750 미터 x 750 미터 크기 내에 50개의 노드가 정지시간 값 10초를 갖고 3m/s에서 20m/s의 사이의 최대 속도로 이동하는 네트워크를 모델링 하였다. 시뮬레이션 시간은 1000초이며, 트래픽 발신지의 수는 15개로 설정하였다.

(그림 3)은 데이터 패킷의 종단간 지연을 보여준다. NDBR은 2개의 다른 프로토콜보다 짧은 지연시간을 가지며, 이 차이는 이동속도가 증가됨에 따라 보다 뚜렷해진다. 짧은 지연시간은 NDBR이 경로장애의 영향을 극소화하기 때문인 것으로 판단된다. 장애를 인지한 노드는 목적지로의 대체경로에 대한 정보를 유지하고 있다면 장애사실을 발신지 노드를 향해 전파할 필요 없이 신속하게 대체경로를 통하여 데이터 패킷들을 우회할 수 있다. 반면, AODV는 경로를 재구성하는데 일정 시간이 소요되기 때문에 더 큰 지연시간을 나타낸다. 링크 장애가 감지되면 그 사실은 발신지 노드를 향해 전파되며, 궁극적으로 발신지 노드는 경로 탐색 절차를 새롭게 시작하게 된다. 새로운 경로가 발견될 때까지 데이터 패킷들은 발신지 노드에 대기하게 되며, 이 대기시간이 더 큰 종단간 지연을 초래하게 된다. DSDV에서는 각 노드에서 모든 가능한 목적지를 위한 라우팅 테이블을 유지한다. 즉, 요구형 라우팅 프로토콜과 달리 한 노드가 전송할 데이터 패킷을 갖게 될 때 경로는 이미 가용한 상태에 있기 때문에 지연 없이 전송할 수 있다. 이것은 (그림 3)에 보여진 바와 같이 낮은 이동속도에서는 효과적이다. 각 노드에서 라우팅 테이블의 내용을 일치되게 유지하기 위해서 테이블 정보를 주기적으로 교환하여야 하며, 링크 장애를 감지한 즉시 정보를 교환하여야 한다. 교환되는 라우팅 정보의 양은 이동속도가 증가함에 따라 크게 증가하며 종단간 지연 또한 증가한다.

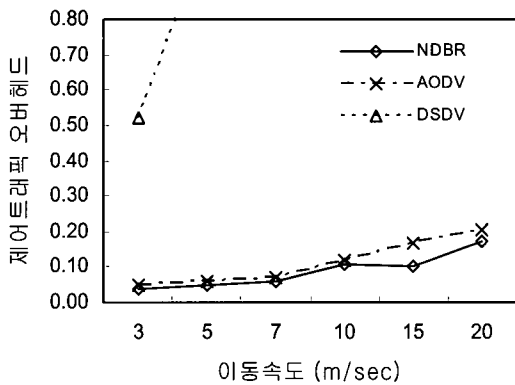
(그림 4)는 세 라우팅 기법의 데이터 패킷 전달율을 나타낸다. 패킷들은 단절된 경로, 혼잡, 충돌 등에 의해서 목적지로 전달되는 도중에 손실될 수 있다. DSDV는 나쁜 전달율을 보이는데 이것은 많은 제어 트래픽의 발생에 기인한 충돌이 주요 원인인 것으로 판단된다. DSDV와는 달리 NDBR과 AODV는 이동속도가 증가함에 따라 전달율이 약간 감소하기는 하지만 전반적으로 좋은 성능을 나타내었다. NDBR에서는 링크 장애가 발생될 때 전달 중에 있던 데이터 패킷



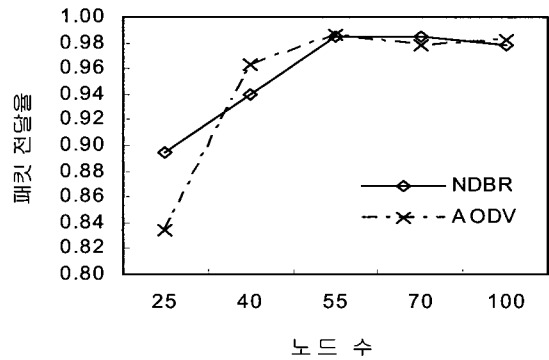
(그림 4) 패킷 전달율



(그림 6) 종단간 지연시간



(그림 5) 제어 트래픽 오버헤드



(그림 7) 패킷 전달율

들이 장애 인지 노드에서 대기하며, 손실 없이 대체경로를 통해 전달될 수 있다.

(그림 5)는 각 라우팅 기법의 제어 트래픽 오버헤드를 보여준다. 제어 트래픽 오버헤드는 발신지로부터 목적지 노드까지 데이터 트래픽을 성공적으로 전달하기 위해 얼마나 많은 제어 트래픽이 요구되는지를 표시한다. 앞서 언급한 바와 같이 DSDV로부터의 결과는 예측과 다르지 않았다. DSDV는 낮은 이동속도에서조차 매우 큰 제어 트래픽 오버헤드를 나타냈다. NDBR은 AODV보다 나은 성능을 보였다.

3.2.2 시뮬레이션 유형 2-노드 수의 변화

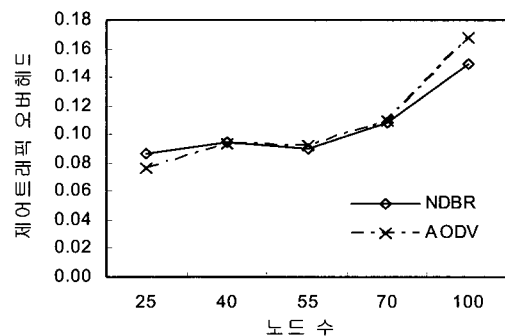
시뮬레이션 네트워크 내 노드의 수를 변화시켜가면서 NDBR을 AODV와 비교 분석하였다. 본 시뮬레이션은 1000미터 x 1000미터 크기 내에 노드의 수가 25개에서 100개로 변화되는 네트워크를 모델링 하였다. 시뮬레이션 시간은 600초, 노드의 속도는 12m/s, 정지시간은 30초, 트래픽 발신지의 수는 10개로 설정하였다.

(그림 6)은 종단간 패킷 지연시간을 표시한다. 시뮬레이션 네트워크 내의 노드 수가 25개일 때 NDBR과 AODV는 가장 긴 지연을 보인다. 네트워크의 크기에 비해 노드의 수가 작은 경우는 발신지에서 목적지까지의 경로를 찾아 유지하는 것에 대한 가능성이 낮아지기 때문이다. 노드 수가 일정한 개수에 도달할 때까지 두 프로토콜 모두 긴 지연시간을 갖는다. 전반적으로 NDBR은 AODV에 비해 좋은 성능을

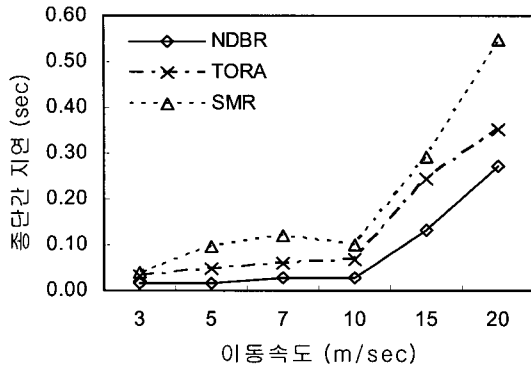
나타냈는데 이것은 장애 발생 시 중간 노드들에서 유지되는 대체경로들의 활용에 기인한 것으로 판단된다.

(그림 7)은 패킷 전달율을 나타낸다. 노드 수가 작을 때 두 프로토콜 모두 나쁜 성능을 보였다. 경로 장애 시 새로운 경로를 탐색하는데 시간이 오래 걸려 전송시간 만료로 인해 많은 패킷이 폐기되기 때문이다. 이러한 현상은 노드의 수가 증가함에 따라 개선되었으나 노드의 수가 일정한 수를 넘어서면서 제어 트래픽의 증가로 인한 패킷 충돌로 인해 데이터 패킷 전달율은 약간 감소하였다.

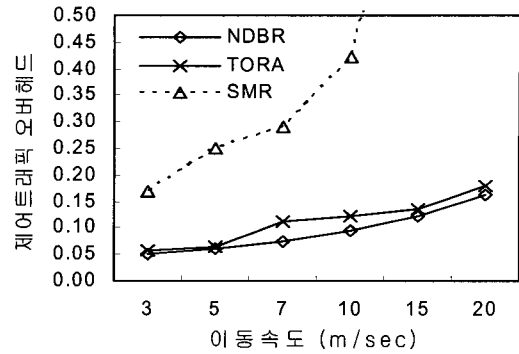
(그림 8)은 각 라우팅 프로토콜의 제어 트래픽 오버헤드를 보여준다. 두 프로토콜은 유사한 오버헤드를 나타내었으나 네트워크 내 노드 수가 많을 때 NDBR이 AODV보다 약간 나은 성능을 갖는다.



(그림 8) 제어 트래픽 오버헤드



(그림 9) 종단간 지연시간



(그림 11) 제어 트래픽 오버헤드

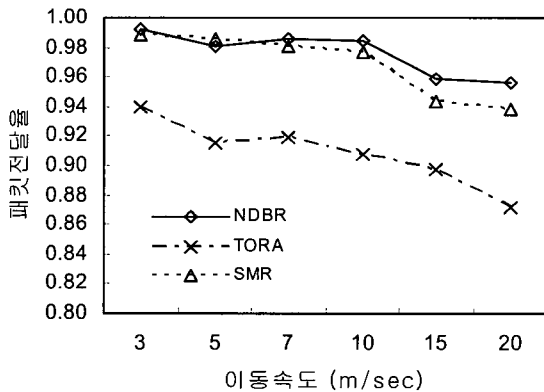
4.2 기존의 대체경로 유지 라우팅 프로토콜과의 비교

본 절에서는 NDBR을 SMR 및 TORA와 비교 분석하였다. 시뮬레이션은 1000미터 x 1000미터 내의 영역에 50개의 노드가 정시 시간 값 10초를 가지고 이동하는 네트워크를 모델링 하였다. 시뮬레이션 시간은 1000초, 트래픽 소스의 수는 10개, 데이터 속도는 2 패킷/초로 설정하였다.

(그림 9)에서 시뮬레이션 결과는 SMR이 TORA와 NDBR 보다 더 긴 지연시간을 갖는 것을 보인다. 이것은 SMR의 경로탐색 정책에 기인한다고 믿어진다. SMR은 RREQ 패킷의 중복전송을 허용함으로써 네트워크 상에 많은 RREQ 패킷들을 생산하며, RREQ 패킷들의 처리는 데이터 패킷의 전송을 지연시킬 수 있기 때문이다. 한편, NDBR은 TORA보다 짧은 지연을 나타내는데 이것은 TORA가 경로탐색 및 재구성 절차에서 DAG를 형성하는데 어느 정도 시간을 필요로 하기 때문으로 판단된다.

(그림 10)은 TORA가 SMR과 NDBR에 비해 매우 안 좋은 패킷 전달율을 갖는 것을 나타낸다. 이것은 TORA가 경로재구성 후에 때때로 루프에 기인하여 패킷을 폐기하기 때문이다.

(그림 11)은 SMR이 다른 두 프로토콜보다 상당히 큰 제어 트래픽 오버헤드를 갖는 것을 보인다. 이와 같은 결과는 SMR에서 RREQ 패킷의 중복 전송을 허용하기 때문이다. 경로탐색 메시지의 플러딩을 이용하는 요구형 라우팅 프로토콜에서 경로설정에 관련된 제어 트래픽은 전체 제어 트래픽



(그림 10) 패킷 전달율

중에서 차지하는 비중이 높다. NDBR은 TORA보다 작은 오버헤드를 나타내는데 이것은 TORA가 링크 장애 시 마다 Update 패킷을 이용하여 DAG를 갱신하기 때문으로 보여진다.

5. 결론

본 논문은 발신지 노드 및 주 경로 상의 중간 노드들에서 대체경로를 위한 정보를 유지함으로써 장애 발생시 신속한 경로재구성을 가능하게 하는 새로운 요구형 애드혹 라우팅 프로토콜을 제안한다. Node Density Based Routing (NDBR)은 라우팅 선택기준으로서 노드 밀집도를 채택하여 경로 설정 시 상대적으로 보다 많은 대체경로를 확보할 수 있다. NDBR은 경로장애의 영향을 국소화하고 경로재탐색 절차 없이 목적지 노드로의 도달성을 높임으로서 경로재구성 시간을 줄일 수 있다. 그러나 네트워크 전반에 걸쳐 노드들이 밀집되어 분포되어 있는 상황에서는 노드 밀집도를 경로선택의 기준으로 이용하는 것은 효과적이지 않을 수 있으며, 노드 밀집도 자체가 목적지 노드로의 대체경로 수를 나타내는 것이 아니기 때문에 보다 정확하게 안정적인 대체경로들을 확보하여 이용할 수 있는 라우팅 알고리즘의 개발을 위한 연구를 진행할 필요성이 있다. 추가적으로 중간 노드들의 개별적인 노드 밀집도를 고려하여 가능한 노드 밀집도가 높은 노드들로 경로를 구성하기 위한 연구를 추진할 필요성이 있다.

참고 문헌

[1] T. Camp, J. Boleng and V. Davies, 'A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research', Wireless Communications & Mobile Computing(WCMC), Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications, 2(5), pp.483-502, 2002

[2] M. C. Domingo, D. Remondo and O. Leon, "A Simple Routing Scheme for Improving Ad Hoc Network Survivability," in Proc. IEEE GLOBECOM'03, pp.718-

723, 2003.

[3] S. Doshi, S. Bhandare and T. X Brown, 'An On-demand Minimum Energy Routing Protocol for a Wireless Ad Hoc Network', in Mobile Computing and Communications Review, Vol.6, No.3, pp.50-66, 2002.

[4] Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networks (MANET) Working Group Charter. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.

[5] D. B. Jhonson, D. A. Maltz, and J. Broch, 'DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-hop Whireless Ad Hoc Networks', Ad Hoc Networking, edited by C. E. Perkins, pp.139-172, Addison-Wesley, 2001.

[6] Y-B KO and H. H. Vaidya, 'Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks', ACM/Baltzer Wireless Networks journal, Vol.6-4, pp.66-75, 2000.

[7] S. Lee and M Gerla, 'A Simulation Study of Table-Driven and On-Demand Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks', IEEE Network, pp.48-54, 1999.

[8] S. Lee and M. Gerla, 'Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks', Technical Report, Computer Science Dept., UCLA, 2000.

[9] J. Li and P. Mohapatra, "LAKER: Location Aided Knowledge Extraction Routing for Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. IEEE WCNC 2003.

[10] G. Malkin, "RIP Version 2 - Carrying Additional Information," Internet Draft, draft-ietf-ripv2-protcol-v2-05.txt, (work in progress), 1998.

[11] J. Moy, 'Link-State Routing', Routing in Communications Networks, edited by M.E. Steenstrup, Prentice Hall, pp.135-157, 1995.

[12] A. Nasipuri and Samir R. Das, "On-demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. of IEEE ICCCN'99, pp.64-70, 1999.

[13] V. Park and S. Corson, Temporally-Ordered Routing

Algorithm Version 1, *Internet Draft*, draft-ietf-man-et-tora-spec-04.txt, 2001, (work in progress)

[14] C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced vector routing (DSDV) for mobile computers," ACM SIGCOMM, 1994.

[15] C. Perkins and E. Royer, 'Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing', Ad Hoc Networking, edited by C. E. Perkins, pp.174-201, Addison-Wesley, 2001.

[16] The VINT Project, The UCB/LBNL/VINT Network Simulator-ns (version2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

[17] C-K Toh, 'Associativity-based routing for ad hoc mobile networks', Wireless Personal Communications, Vol.4, No.2, pp.1-36, 1997.



### 김 상 경

e-mail : skkim98@kangnung.ac.kr

1985년 고려대학교 전자공학과(학사)

1987년 고려대학교 대학원 전자공학과  
(공학석사)

1989년~2004년 KT(선임연구원/부장)

1994년~1995년 TINA-C Core Team  
Member

2002년 고려대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

2004년~현재 강릉대학교 정보전자공학부 조교수

관심분야: 이동망, 서비스 구조, 미들웨어 등



### 최 승 식

e-mail : sschoi@incheon.ac.kr

1988년 연세대학교 전자공학과(학사)

1990년 KAIST 전기 및 전자공학과  
(공학석사)

2002년 KAIST 전자전산학과(공학박사)

1990년~1998년 KT 통신망연구소

2002년~2004년 KT 서비스/컨버전스연구소 책임연구원

2004년~현재 인천대학교 컴퓨터공학과

관심분야: 무선MAC, 액세스 제어, 자원관리