

碩士學位論文

차량간 통신을 위한 AODV 라우팅
프로토콜의 구현



濟州大學校 大學院

通信工學科

李恩珠

2007年 12月

차량간 통신을 위한 AODV 라우팅 프로토콜의 구현

指導教授 左政祐

李恩珠

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

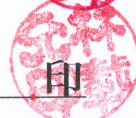
2007年 12月

李恩珠의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 康鎮植



委員 林載允



委員 左政祐



濟州大學校 大學院

2007 年 12 月

Implementation of the AODV routing protocol for inter-vehicle communication

Eun-ju Lee

(Supervised by professor Jeong-woo Jwa)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree
of Master of Engineering

2007. 12.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Jin-shig Kang, Prof. of Telecom. Eng.

Jin Shig Kang

Thesis director, Jea-yun Lim, Prof. of Telecom. Eng.

Jea Yun Lim

Thesis director, Jeong-woo Jwa, Prof. of Telecom. Eng.

Jeong Woo Jwa

(Name and signature)

2007. 12. 14

Date

Department of Telecommunication Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Abstract	1
I. 서론	3
II. 차량간 통신관련 연구	5
1. 차량간 통신의 문제점 및 개선 방향	5
2. AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)	6
3. AODV 라우팅 프로토콜 관련 연구	14
III. 차량간 통신을 위한 AODV 라우팅 프로토콜	20
1. AODV 라우팅 프로토콜의 개선 방향	20
2. Hello 패킷을 이용한 MAODV 라우팅 프로토콜	21
IV. 성능평가	30
1. 이동성 모델	30
2. 시뮬레이션 환경	32
3. 시뮬레이션 시나리오	34
4. 시뮬레이션 결과	35
V. 결론	41
참고문헌	43

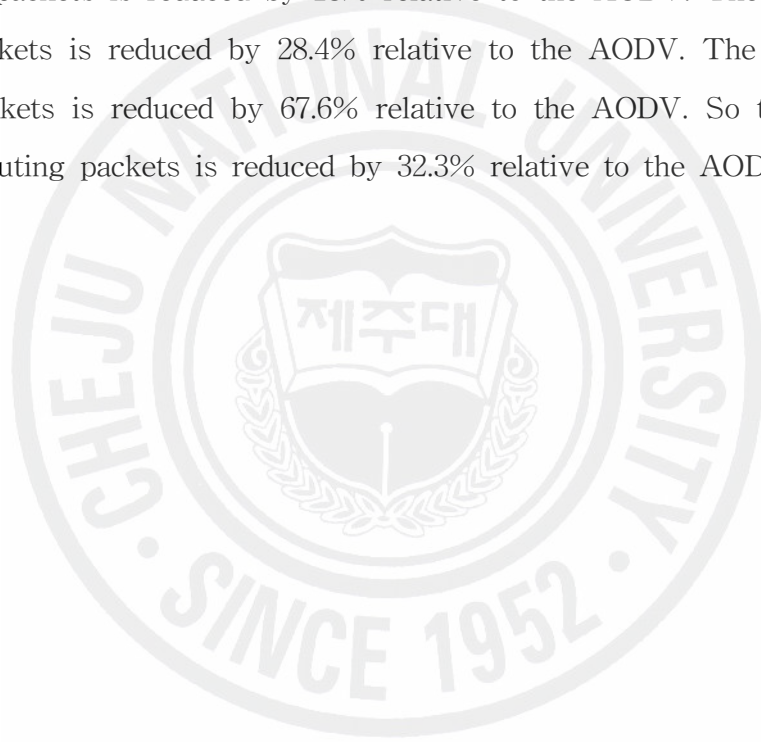
Abstract

In order to realize Intelligent Transport System(ITS) without any road facilities, Inter-Vehicle Communication(IVC) is preferable. IVC makes it possible to exchange real-time information among vehicles without centralized infrastructure. The IVC network uses an ad hoc network, which consists of a set of vehicles that communicate through radio frequencies, without the use of a centralized administration. IVC exchanges various kinds of vehicular information in order to avoid collisions between vehicles and to ensure accurate automatic driving. IVC improves the traffic efficiency and traffic safety. In IVC, occurrence of a traffic accident should be immediately reported to the following vehicles to prevent secondary accident. And this information can also be transmitted through a vehicle-to-vehicle. The IVC systems rely on multi-hop broadcast to disseminate information to location beyond the transmission range. In the IVC networks, the topology changes frequently and the vehicles communicate between them using radio channel. To transmit broadcast message, IVC uses the ad hoc routing protocols. Among the ad hoc routing protocols, the AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector) routing protocol is used for the IVC network. However, the AODV routing protocol has the problems of the frequent link failure and delay of link recovery.

In this paper, we propose the improved AODV routing protocol called MAODV(Modified AODV). The MAODV routing protocol uses a node distance table for fast link recovery. We use the Hello packet with location information to calculate the distance between source node and neighbors node. If node receives the Hello packet from neighbors node, node calculates the distance and stores which are far distance from source node.

If link break occurs, upstream node transmits the Unicast RREQ(URREQ) packet to First_Priority_Node(FPN) in its node distance table. Using the URREQ packet can mitigate the overhead problem of the RREQ packet's broadcast.

We confirm the throughput of the MAODV routing protocol compared with AODV using Qualnet ver.3.8 simulator. Simulation scenario composes 39 nodes in 6 line. The simulation results show that the MAODV routing protocol improves throughput by 32.3% relative to the AODV. The number of RREQ packets is reduced by 18% relative to the AODV. The number of RREP packets is reduced by 28.4% relative to the AODV. The number of RERR packets is reduced by 67.6% relative to the AODV. So the number of total routing packets is reduced by 32.3% relative to the AODV.



I. 서론

우리나라의 자동차 보유대수는 1600만대 정도로, 이는 인구 3명당 1명꼴로 자동차를 보유하고 있음을 의미한다. 이로써 우리나라는 미국, 일본, 독일 및 캐나다 등에 이어 세계 13번째 자동차 보유국으로 부상하게 됐다. 자동차가 대중화됨으로써 인간 생활에 편리함을 주었지만, 이로 인한 교통 혼잡, 교통사고, 공해의 위험 등 부정적인 면도 간과할 수 없는 실정이다. 이로 인해 발생할 수 있는 문제를 해결하기 위해 현재 많은 연구들이 진행되고 있으며, IT 기술을 이용한 교통체계의 관리를 위해 텔레매틱스 기술이 부각되고 있다.^[1] 텔레매틱스는 이동통신 서비스, 초고속 인터넷 인프라와 GPS 기술, GIS/LBS/ITS 등 대표적인 첨단 기술의 융합 산업으로서 경제적 파급효과가 다른 어떤 산업보다 클 것으로 예상된다. 또한 발전된 통신 및 차량 기술을 이용해 운전자와 탑승자에게 다양한 정보를 제공함으로써, 물리적인 공간의 한계를 극복하도록 해 유비쿼터스 시대를 대표할 수 있는 기술 및 서비스가 될 것으로 기대된다.^[2] 이를 위해서는 텔레매틱스의 기본 기술 중 하나인 차량간 통신(Inter-vehicle Communication)을 위한 무선 네트워크 기술이 확보되어야 하며, 차량과 차량 사이의 데이터 전송을 위하여 라우팅 알고리즘 관련 연구가 필요하다. 차량간 통신은 도로상에서 이동 중인 차량들 사이에서 유용한 정보를 제공하는 기술이다. 만약 커브길이나 높은 건물로 인해 시야를 확보할 수 없는 상황에서 선행 차량이 차량간 통신을 통해 교통상황에 대한 정보를 뒤따라오는 차량에게 신속하게 제공할 수 있다면 교통사고 발생률을 크게 줄일 수 있을 것이다. 차량간 통신은 노변장치가 필요 없이 차량간 정보를 주고받을 수 있다는 장점이 있지만 무선 전송 기술을 바탕으로 이루어지기 때문에 무선 도달 거리에 있는 차량들 간의 기술로 한정되어 있다.^[3] 전송 거리가 제한되어 있기 때문에 중간에 있는 차량들이 전송되는 데이터를 받아서 다음 차량에 전달해 주어야 한다. 차량간 통신은 차량의 고속의 이동성 때문에 경로의 단절이 자주 발생한다. 또한 차량이 빠져나가거나 끼어들었을 때

중간 경로가 바뀌게 된다. 따라서 데이터를 유실 없이 목적지 노드까지 전달하고, 중간 차량의 이동으로 인해 경로가 단절되었을 때 메시지 전송을 위한 다음 차량을 빨리 찾아내기 위한 ad hoc 라우팅 기술이 필요하다. 차량간 통신을 위한 ad hoc 라우팅 프로토콜로써 On-demand 방식인 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜이 많이 고려되고 있지만, 고속의 이동성을 가지는 차량간 통신에 적용했을 때 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 AODV 라우팅 프로토콜을 중심으로 차량의 이동성으로 인한 경로 단절시 신속한 복구를 위한 방법을 연구하였다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 라우팅 제어 패킷의 수를 줄이고, 경로의 연결을 주기적으로 감시하여 경로 단절이 발생했을 때 신속한 복구가 가능하도록 하였다. GPS 기반의 위치 정보를 갖는 Hello 메시지를 이용하여 거리 테이블을 설정함으로써 경로 단절시 빠른 경로 복구가 가능하도록 하였으며, 경로 복구를 위한 RREQ 패킷을 브로드캐스트가 아닌 유니캐스트 방식으로 전송하여 라우팅 제어 패킷의 수를 줄임으로써 네트워크 성능을 향상 시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 차량간 통신 관련 연구에 관하여 설명하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 차량간 통신을 위한 개선된 MAODV 라우팅 프로토콜에 대하여 설명한다. IV장에서는 제안하는 AODV 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하였으며, V장에서 결론을 맺는다.

II. 차량간 통신관련 연구

1. 차량간 통신의 문제점 및 개선 방향

도로상에서 전방에서 발생하는 위험을 미리 운전자에게 알려줄 수 있다면 운전자의 위험에 대한 반응 시간을 크게 줄일 수 있다. 앞차의 급정거 혹은 도로상의 장애물 등을 인지한 후 운전자가 브레이크를 작동하기까지 일반적으로 0.7~1.5초의 반응 지연 시간이 소요되는 것으로 알려져 있다.^[4] 도로상에서 장애물이 나타나거나 교통사고가 발생했을 때 이러한 정보를 운전자에게 빠르게 전달할 수 있다면 더 큰 사고를 미연에 방지하여 교통안전에 크게 도움이 될 것이다. 차량간 통신은 무선 전송 기술을 바탕으로 이루어지기 때문에 무선도달 거리에 있는 차량들 간의 기술로 한정된다. 기반시설이 충분히 갖추어져 있다면 운전자의 인지 범위를 확장하기 위해서 기반 시설과 상호 협력할 것이다. 그러나 어디서나 교통안전을 위한 기반시설을 활용할 수 있기에는 많은 비용과 시간, 노력이 필요할 것이다.^[3] ad hoc을 이용한 차량간 통신은 노변장치가 필요 없다는 장점이 있는 반면 전파 전달 거리가 정해져 있기 때문에 데이터 전송시 반드시 중간 차량이 다음 차량으로 전달해주어야 하는 문제점이 있다. 또한 차량의 고속의 이동성 때문에 경로의 단절이 빈번하게 발생하고 차량의 이동성으로 인해 중간 경로가 자주 바뀌게 된다. 따라서 경로의 단절이 발생했을 때 메시지 전송을 위한 다음 차량을 빨리 찾아내기 위한 ad hoc 라우팅 기술의 개발이 필요하다. 기존의 많은 ad hoc 라우팅 프로토콜의 경로 획득 방식은 노드들의 이동성을 고려하지 않고 노드의 이동성과는 상관없이 최소홉으로 구성된 경로만을 설정하기 때문에 경로의 단절이 빈번하게 발생할 수 있다.^[5] 경로의 빈번한 단절은 라우팅 제어 패킷의 증가, 시간 지연 등 네트워크 성능에 영향을 미치기 때문에 경로의 단절을 최소화하고, 경로의 단절이 발생하더라도 신속하게 경로를 복구할 수 있어야 한다. 이와 같은 ad

hoc 라우팅 프로토콜의 단점 때문에 경로의 단절을 최소화하고 신속한 경로 복구를 위한 방법에 대한 많은 연구들이 수행되었다. 그중 GPS를 이용하여 노드들의 위치 정보와 속도 정보를 획득하여 경로의 단절을 최소화 할 수 있는 방법들이 연구되었다. GPS를 통해 네트워크에 존재하는 노드들의 이동속도와 방향과 위치 정보를 수신하고, 각 노드들은 이웃 노드가 자신의 통신범위에 머무를 수 있는 시간을 계산하여, 통신을 유지할 수 있는 시간을 알 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 ad hoc 라우팅 프로토콜 중 모바일 환경에 가장 적합한 방식인 AODV 라우팅 프로토콜에서 GPS 정보를 갖는 Hello 패킷을 이용한 개선된 라우팅 프로토콜을 제안한다.

2. AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)^[6]

AODV 라우팅 프로토콜은 거리 벡터 알고리즘을 기반으로 하고 있으며, Table-driven 방식인 DSDV 프로토콜^[7]과 On-demand 방식인 DSR 프로토콜^[8]의 장점을 취합한 방식이다. AODV 라우팅 프로토콜에서 사용되는 라우팅 패킷에는 RREQ(Route Request), RREP(Route Reply), RRER(Route Error), RREP-ACK(RREP-Acknowledgement)가 있으며, 이들은 라우팅 경로를 설정하고 유지하는데 사용된다.^[9]

1) AODV 라우팅 프로토콜 패킷

(1) RREQ(Route Request)

RREQ 패킷은 소스 노드가 목적지 노드로 데이터 패킷을 전송하고자 할 때, 라우팅 테이블에 목적지 노드에 대한 라우팅 경로가 존재하지 않는 경우 목적지 노드로의 경로를 획득하기 위해 사용하는 패킷이다. RREQ 패킷의 구성은 그림 1과 같다.

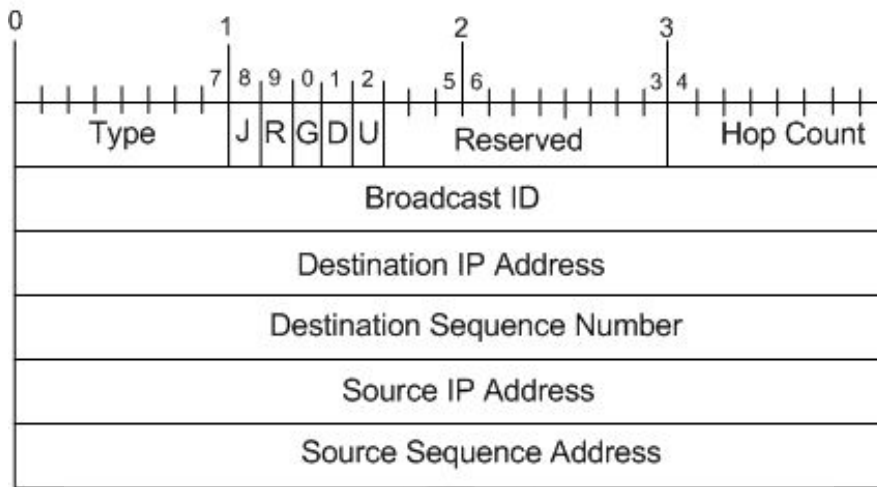


그림 1. RREQ 패킷 구성

Type : 패킷의 종류를 나타내는 것으로 RREQ 패킷은 1

J(Joint flag) : 멀티캐스팅을 위한 예약 공간

R(Repair flag) : 멀티캐스팅을 위한 예약 공간

G(Gratuitous RREP flag) : RREQ 패킷을 수신한 노드가 라우팅 테이블에 목적지 노드로의 라우팅 경로가 존재할 때, 소스 노드로 RREP 패킷을 전송. 이때 목적지 노드에게 중간 노드에서 RREP 패킷을 발생시켰다는 사실을 알리기 위한 플래그

D(Destination only flag) : 목적지 전용 플래그. 해당 목적지만 이 RREQ 패킷에 응답할 수 있음을 표시

U(Unknown sequence number) : 미지의 일련 번호. 목적지 일련번호가 알려져 있지 않음을 표시

Reserved : 0으로 전송하고 수신시 무시

Hop Count : 소스 노드로부터 RREQ 패킷을 수신한 노드까지의 홑수를 나타냄. 소스 노드에서 RREQ 패킷을 전송 시 이 값의 초기 값은 0으로 설정하고, RREQ 패킷을 수신한 중간 노드가 주변 노드로 전송 시 이 값을 하나씩 증가시킴

Broadcast ID : RREQ 패킷을 구별하기 위한 ID. 소스 노드에서 RREQ 패킷을 발생할 때마다 이 값을 순차적으로 증가시킴. 이를 통해 RREQ 패킷의 중

복 수신을 막을 수 있음

Destination IP Address : 목적지 노드의 주소

Destination Sequence Number : 목적지에 대해 생성되는 일련번호로 목적지 노드로부터 소스 노드까지의 이동단말이 보유한 경로에 대해 유효화 여부 결정

Source IP Address : 소스 노드의 주소

Source Sequence Number : 소스 노드에 대해 생성되는 일련번호로 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 이동 단말들이 보유한 경로에 대한 유효화 여부 결정

(2) RREP(Route Reply)

RREP 패킷은 RREQ 패킷을 수신한 노드가 자신이 목적지이거나 목적지 노드까지의 유효한 라우팅 경로가 있을 경우, 소스 노드로 응답하기 위해 사용하는 패킷이다. RREP 패킷의 구성은 그림 2와 같다.

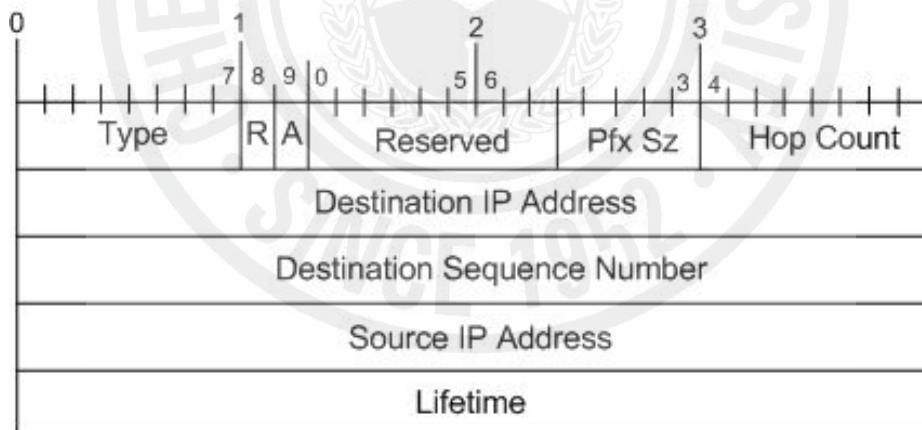


그림 2. RREP 패킷 구성

Type : 패킷의 종류를 나타내는 것으로 RREP 패킷은 2

R(Repair flag) : 멀티캐스팅을 위한 예약 공간

A : 필요시 Acknowledgement로 사용

Reserved : 0으로 전송하고 수신시 무시

Pfx Sz : 이전에 보냈던 목적지 노드와 같은 노드에 다시 보낼 때 사용하는 공간

Hop Count : 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 홉 수를 나타냄

Destination IP Address : 목적지 노드의 주소

Destination Sequence Number : 목적지에 대해 생성되는 일련번호로 목적지 노드로부터 소스 노드까지의 이동단말이 보유한 경로에 대해 유효화 여부 결정

Source IP Address : 소스 노드의 주소

Lifetime : RREP 패킷에 의해서 생성되는 경로의 유효한 시간을 결정하기 위하여 사용

(3) RERR(Route Error)

RERR 패킷은 경로의 단절로 인해 노드간의 경로를 사용할 수 없을 경우 또는 이동단말의 고장으로 인해 통신이 불가능하게 되었을 때 이를 소스 노드에게 알려주는 역할을 한다. RERR 패킷을 수신한 소스 노드는 관련 경로 정보를 자신의 라우팅 테이블에서 제거한다. RERR 패킷의 구성은 그림 3과 같다.

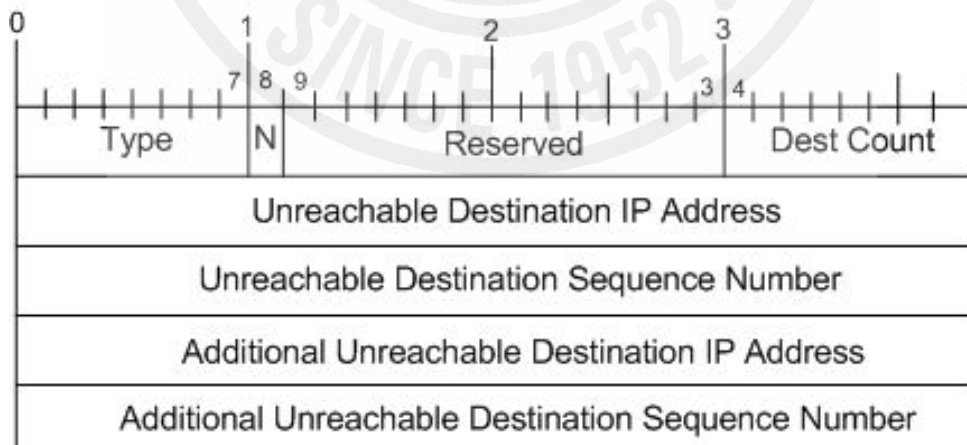


그림 3. RERR 패킷 구성

Type : 패킷의 종류를 나타내는 것으로 RERR 패킷은 3

N(No delete flag) : 관련 경로를 복구 중에 있으므로 경로를 삭제하지 말라는 의미

Reserved : 0으로 전송하고 수신시 무시

Destination Count : RERR 패킷을 전송해야 할 노드들의 수. 적어도 1이상이 되어야 함

Unreachable Destination IP Address : 경로의 고장으로 인하여 도달할 수 없게 되는 노드의 주소

Unreachable Destination Sequence Number : Unreachable Destination IP Address에 포함된 노드들의 마지막 Destination Sequence Number에 1씩 증가시킨 일련번호

(4) RREP-ACK(RREP-Acknowledgement)

RREP-ACK 패킷은 반드시 'A' 비트가 설정된 RREP 패킷에 대한 응답으로 전송되어야 한다. RREP-ACK 패킷의 구성은 그림 4와 같다.



그림 4. RREP-ACK 패킷 구성

Type : 패킷의 종류를 나타내는 것으로 RREP-ACK 패킷은 4

Reserved : 0으로 전송하고 수신시 무시

2) AODV 라우팅 테이블

AODV 라우팅 테이블의 경로 정보는 이전에 얻어진 경로 정보에 관해서만 유지하고, 얻어진 경로 정보도 이동성을 만족시키기 위해서 유효한 시간을 설

정하여 유효화 여부를 결정한다. AODV 라우팅 프로토콜은 거리 벡터 알고리즘을 기반으로 하고 있으므로, 네트워크 전체에 대한 라우팅 정보를 유지하는 것이 아니라 이웃 노드에 대한 라우팅 정보만을 가지고 있다. AODV 라우팅 테이블의 구성은 표 1과 같다.

표 1. 라우팅 테이블의 구성

항 목	내 용
Destination IP Address	목적지 IP 주소
Destination Sequence Number	목적지 노드의 일련 번호
Interface	해당 경로의 유/무선 존재 여부
Hop Count	목적지 노드까지의 홉 수
Last Hop Count	현재까지 계산된 홉 수
Next Hop	전송을 위한 다음 홉
List of Precursors	패킷을 전달해야 할 주변 노드
Lifetime	경로의 유효한 시간
Routing Flag	Flag 표시를 위한 공간

3) AODV 라우팅 프로토콜 동작

(1) 경로 탐색 과정

소스 노드가 목적지 노드로 전송할 데이터 패킷이 있을 때 라우팅 테이블에 해당 목적지 노드로의 경로가 존재하지 않는다면, 목적지 노드로의 경로를 찾기 위해 이웃 노드에게 RREQ 패킷을 브로드캐스트 한다. RREQ 패킷을 수신한 노드는 자신의 라우팅 테이블에 해당 목적지 노드가 없다면, 목적지 노드를 찾을 때까지 RREQ 패킷을 브로드캐스트 한다. RREQ 패킷을 수신한 노드 중 라우팅 테이블에 해당 목적지 노드가 있고, 자신의 라우팅 테이블에 저장되어 있는 Destination Sequence Number가 수신한 RREQ 패킷의 값보다 작지 않으면, 소스 노드에게 RREP 패킷으로 응답한다. 중간 노드가 RREQ 패킷을 수신했을 때, 이전에 수신한 RREQ 패킷과 동일한 패킷을 수신하게 되면 나중에 수신된 패킷을 폐기하고 이웃 노드로 브로드캐스트하지 않는다. RREQ 패킷의 <Source IP Address, Broadcast ID> 쌍은 유일하게 RREQ 패킷을 구

별할 수 있다. 소스 노드는 RREQ 패킷을 전송 후 NET_TRAVERSAL_TIME 만큼 기다린 후 적절한 RREP 패킷을 수신하지 못하는 경우에 $2 * \text{NET_TRAVERSAL_TIME}$ 만큼 기다린 후 RREQ 패킷을 재전송한다. 그림 5는 AODV 라우팅 프로토콜의 경로 탐색 과정을 보여주고 있다. 소스 노드 S는 목적지 노드 D를 찾기 위해 RREQ 패킷을 브로드캐스트하고, Next Hop을 노드 D로 가지고 있는 노드 C는 RREP 패킷으로 응답하게 된다.

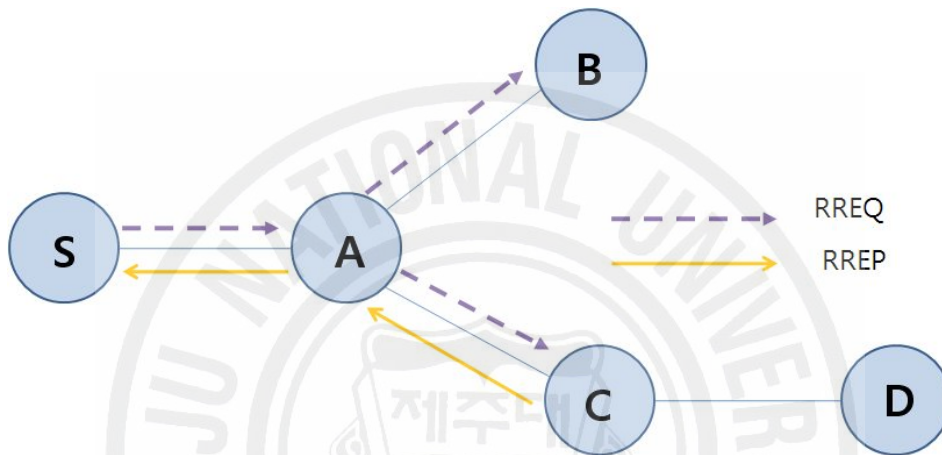


그림 5. 경로 탐색 과정

(2) 경로 유지 과정

AODV 라우팅 프로토콜에서는 경로가 설정된 후 Hello 패킷을 전송하여 노드 간 경로가 유효함을 알린다. Hello 패킷은 RREP 패킷의 일종으로, type 필드의 값은 2로 RREP 패킷과 동일하나 Hop count 값은 0으로 설정하여 RREP 패킷과 구분한다. Hello 패킷은 이를 방송하는 노드의 IP 주소와 순차 번호를 담고 있으며 IP 헤더의 TTL 값을 1로 설정하여 이웃 노드들에게만 전송되도록 한다. Hello 패킷의 발생 주기는 HELLO_INTERVAL로 표시되며, 디폴트값은 1,000 ms 이다. $\text{ALLOWED_HELLO_LOSS} * \text{HELLO_INTERVAL}(2 * 1000\text{ms})$ 동안 이웃 노드로부터 Hello 패킷 또는 어떠한 제어 패킷을 수신하지 못하였다면 해당 노드와의 경로가 단절된 것으로 판단하고 소스 노드에게 RERR 패킷을 전송한다. Hello 패킷의 구성은 그림 6과 같다.

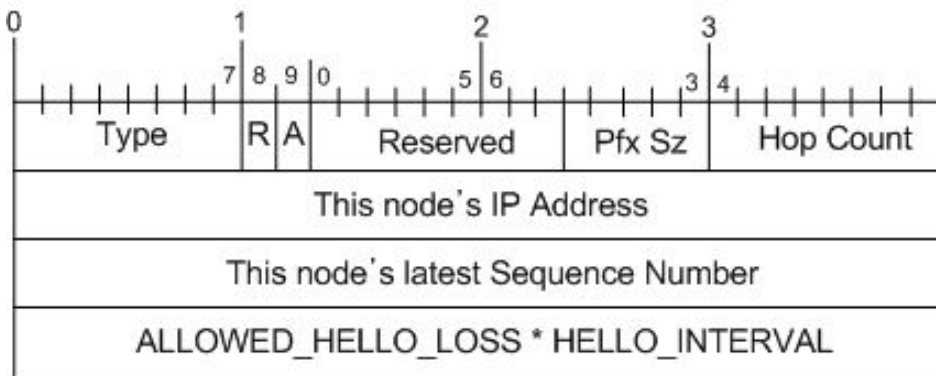


그림 6. Hello 패킷 구성

(3) 지역 경로 복구

경로 탐색 과정을 통해 생성된 경로는 데이터 전송 중에는 유지되어야 한다. 그러나 ad hoc 네트워크의 특성상 노드들의 이동성으로 인하여 경로 단절이 빈번하게 일어나게 된다. 이때 경로 단절을 발견한 노드는 두 가지 중 한 가지 방식으로 경로 복구 과정을 수행한다. 경로 단절이 목적지 노드와 가까운 곳에서 발생하였다면 지역 경로 복구를 통해 경로를 복구한다. 이때 지역 경로 복구가 가능한 범위는 경로단절이 일어난 노드에서 목적지 노드까지의 홑수가 MAX_REPAIR_TTL(일반적으로 TTL=10) 보다 작은 범위이다. 그림 7에서 노드 E 와 노드 F의 경로가 단절되었을 때 상위 노드인 E에서 목적지 노드 H까지의 홑수를 MAX_REPAIR_TTL 값과 비교하여 MAX_REPAIR_TTL 보다 작을 경우 노드 E에서 지역 경로 복구를 수행한다. 노드 E는 RREQ 패킷을 전송하고 Discovery Period 동안 기다린 후, RREP 패킷을 수신하지 못하면 소스 노드에게 RERR 패킷을 전송하여 경로 탐색 과정이 다시 수행되게 한다.

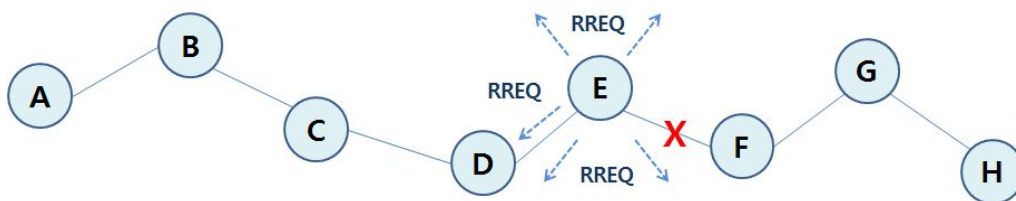


그림 7. 경로 단절 시 지역 경로 복구 실행

반대로 그림 8과 같이 경로 끊어짐이 MAX_REPAIR_TTL 밖에서 발생했을 경우 상위 노드 C는 소스 노드 A에게 RERR 패킷을 전송하여 경로가 단절되었음을 알린다. 이를 수신한 소스 노드 A는 경로 탐색 과정을 다시 수행한다.

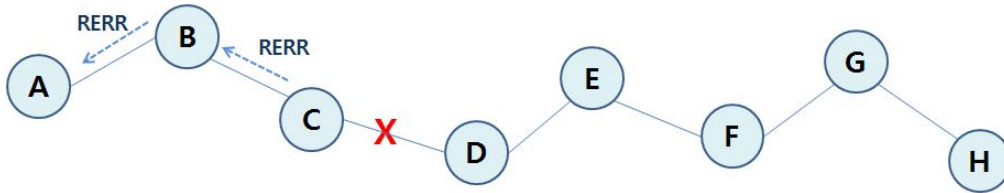


그림 8. 경로 단절 시 RERR 전송

3. AODV 라우팅 프로토콜 관련 연구

1) 경로 단절 예측 방식^[10]

경로 단절 예측 방식은 RREQ 패킷의 브로드캐스트 수를 줄이는데 초점을 두고 있다. 이를 위해 기존의 AODV 라우팅 프로토콜 방식처럼 경로가 단절되었을 시에 지역 경로 복구를 수행하는 것이 아니라 단절이 이루어지는 연결을 예측하여 새로운 경로로 대체한다. 그림 9는 경로 단절 예측 과정을 설명하고 있다. 노드 S에서 노드 D까지 경로 유지 과정 중 노드 B의 이동으로 인한 노드 G 사이의 연결 단절이 예측되었다. 이 예측은 데이터 패킷 전송 시 또는 경로 유지 과정의 Hello 패킷 교환 시 패킷 전송 파워의 감지를 통한 예측으로 이루어진다. 연결 단절 예측을 위한 파라미터로 대체 기준 파워(Substitution Threshold Power)의 값을 설정하고 노드 G에서 받은 패킷의 파워(Received Power) 값과 기준 파워(Threshold Power)의 비와 비교하여 대체 기준 파워보다 작거나 같은 경우 대체 경로 복구 과정(Substitution Route

Repair)을 실행한다. 노드 B는 대체 경로를 발견하기 위해 RREQ 패킷을 발생하는데 이때 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서의 지역 경로 복구와 달리 RREQ 패킷의 TTL 값을 1로 설정하여 자신의 무선 전송 반경 안의 노드에게만 RREQ 패킷을 전달한다. RREQ 패킷은 현재 활성 경로 상의 노드인 노드 A와 노드 G를 전송 반경 안에 포함하고 있는 노드에 대해 RREP 패킷을 요청한다. 그림 9에서 노드 C가 이에 해당된다. 그림 10은 RREQ 패킷을 받은 노드 중 노드 A와 노드 G 모두를 전송 반경 안에 가지고 있는 노드 C의 동작을 나타낸 것이다. 그림 10에서 수신한 RREQ 패킷에 만족하는 노드 C는 자신의 라우팅 테이블을 업데이트 하고 TTL 값이 1인 RREP 패킷을 발생하여 브로드캐스트한다. RREQ 패킷을 발생한 노드 B는 RREP 패킷을 수신한 후 자신의 라우팅 테이블에서 기존의 활성 경로를 삭제하고 범위 밖으로 이동하게 된다. RREQ 패킷을 발생하지 않는 노드 A, G는 RREP 패킷을 받은 후 대체 경로가 노드 C를 통한다는 것을 인지하여 자신의 라우팅 테이블을 업데이트하여 S-A-C-G-E-D의 활성 경로를 유지하게 되는 것이다. 경로 단절 예측 방식은 경로 단절을 예측하여 TTL 값이 1인 RREQ 패킷과 RREP 패킷을 전송함으로써 네트워크 전체에 대한 패킷 처리량과 제어 메시지의 양을 줄이고, 네트워크 오버헤드를 줄일 수 있다.

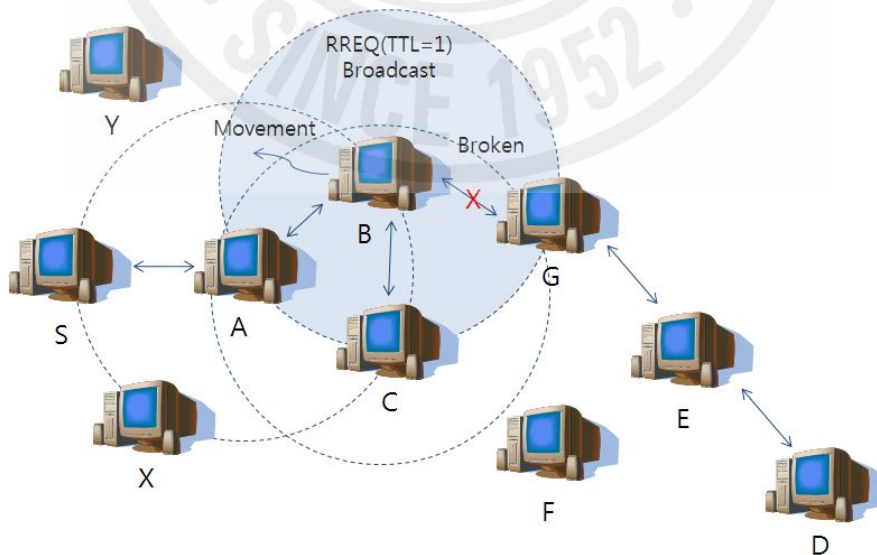


그림 9. 경로 단절 예측 과정

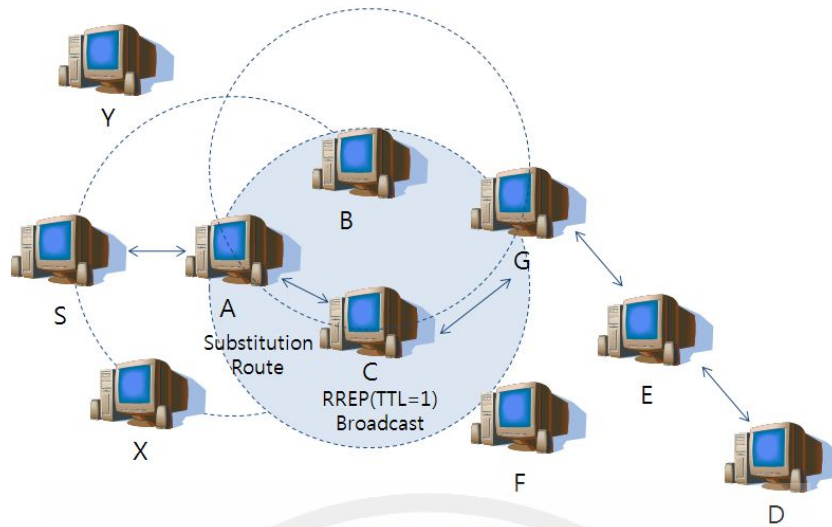


그림 10. 대체 경로 설정 과정

2) 이동성 기반 ad hoc 네트워크 라우팅 프로토콜^[5]

노드의 이동속도가 빠르면 빠를수록 이웃 노드의 통신범위에 머무르는 시간이 작아지므로 경로가 단절될 확률이 높고, 노드의 이동속도가 작다면 이웃 노드의 통신범위에 머무르는 시간이 증가하여 경로가 단절될 확률이 낮아진다. 따라서 경로 획득시 네트워크에 존재하는 이동속도가 빠른 노드들을 이용하지 않고 이동속도가 느린 노드들을 이용하여 경로를 설정한다면, 이동속도가 빠른 노드가 포함된 경로보다 경로의 단절이 적어질 것이다. 따라서 노드들의 이동성을 측정하여 경로 획득시 이를 반영함으로써 좋지 않은 이동성을 가진 노드들을 최대한 회피하고, 상대적으로 좋은 이동성을 가진 노드들만을 이용하여 오래 지속 가능한 경로를 설정함으로써 경로의 단절을 최소화할 수 있다. 노드 이동성을 측정하기 위해서 RREQ 패킷을 이용한다.

(1) 라우팅 메시지 및 라우팅 테이블 필드

노드 이동성을 측정하기 위해 RREQ 패킷, RREP 패킷, 라우팅 테이블에 새로운 필드가 추가된다.

① RREQ 패킷 필드

이웃 노드와의 RREQ 전송 성공률을 측정하기 위하여 표 2와 같이 RREQ 패킷에 2개의 필드가 추가된다.

표 2. RREQ 패킷에 추가된 필드

필드	역할
Transmitted RREQ Number(TRN)	자신이 이웃 노드에게 전송한 RREQ 패킷 개수
Route Availability(RA)	경로 지속률. RREQ 패킷이 지나온 노드들의 RREQ 전송 성공률을 곱한 값으로 목적지 노드가 최종적으로 이동성이 안정적인 경로를 선택하기 위한 값

② RREP 패킷 필드

이웃 노드와의 RREQ 전송 성공률을 측정하기 위하여 표 3과 같이 RREP 패킷에 2개의 필드가 추가된다. 홉 카운트에 상관없이 경로를 설정하므로 홉 카운트 필드는 사용하지 않는다.

표 3. RREP 패킷에 추가된 필드

필드	역할
Route Availability(RA)	경로 지속률. RREQ 패킷이 지나온 노드들의 RREQ 전송 성공률을 곱한 값으로 목적지 노드가 최종적으로 이동성이 안정적인 경로를 선택하기 위한 값

③ 라우팅 테이블 필드

노드와 이웃 노드간에 RREQ 전송 성공률을 측정하기 위하여 표 4와 같이 AODV 라우팅 테이블에 4개의 필드가 추가되었다.

표 4. 라우팅 테이블에 추가된 필드

필드	역할
Transmitted RREQ Number(TRN)	자신이 이웃 노드에게 전송한 RREQ 패킷 개수
Received RREQ Number(RRN)	자신이 이웃 노드로부터 수신한 RREQ 패킷의 개수
RREQ Transmission Success Rate (RTSR)	자신이 이웃 노드와의 RREQ 패킷 전송 성공률
Route Availability(RA)	경로 지속률. RREQ 패킷이 지나온 노드들의 RREQ 전송 성공률을 곱한 값으로 목적지 노드가 최종적으로 이동성이 안정적인 경로를 선택하기 위한 값

(2) 동작 원리

경로 획득 절차 수행시 RREQ 패킷 전송 성공률 측정값을 이용하여 경로 획득 절차를 수행함으로써 기존의 AODV 라우팅 프로토콜 방법으로 생성한 경로보다 덜 단절되는 오래지속 가능한 경로를 생성한다. 네트워크에 존재하는 모든 노드들은 자신의 이웃 노드와의 RREQ 패킷 전송 성공률을 계산하기 위해 자신의 이웃 노드에게 RREQ 패킷을 브로드캐스트 할 때마다 라우팅 테이블의 <TRN>필드에 저장하고, 자신이 이웃 노드로부터 브로드캐스트된 RREQ 패킷을 수신할 때마다 패킷의 개수를 자신의 라우팅 테이블의 <RRN> 필드에 저장한다. 소스 노드에서 목적지 노드로 새로운 경로 생성이 필요시 RREQ 패킷은 라우팅 테이블의 <TRN>에 저장하고 있던 RREQ 패킷의 전송 개수를 RREQ 패킷의 <TRN>필드에 저장하고, <RA>필드 값을 1로 초기화하여 이웃 노드에 브로드캐스트한다. RREQ 패킷을 수신한 노드는 라우팅 테이블의 해당 노드의 <RRN>필드 값을 1만큼 증가시키고, <RRN>값이 저장된 RREQ 패킷 수신 개수와 자신이 방금 수신한 RREQ 패킷의 <TRN>필드에 저장되어 있는 RREQ 패킷의 개수를 이용하여 RREQ 패킷의 전송 성공률을 계산하고 라우팅 테이블의 <RTSR>필드에 저장한다. 계산된 <RTSR>값과 수신한 RREQ 패킷의 <RA>필드 값을 이용하여 그 경로의 <RA>값을 새롭게

계 계산하고 라우팅 테이블의 <RA>필드에 저장한다.

$$\text{RREQ}(A \rightarrow B) \text{ 전송 성공률} = \frac{\text{라우팅 테이블의 RRN}}{\text{RREQ 패킷의 TRN}} \quad (1)$$

$$\text{Route}(A \rightarrow B) \text{ 의 RA} = \text{RTSR} * \text{라우팅 테이블의 RA} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 이용하여 RREQ 패킷의 전송 성공률을 계산함으로써 자신의 통신 범위 내에 이웃 노드가 얼마나 오랫동안 머물렀는지를 추측할 수 있다. RREQ 패킷의 전송 성공률을 계산한 수신 노드는 자신이 목적지 노드가 아닐 경우에는 라우팅 테이블의 <TRN>값을 1만큼 증가시킨 후에 RREQ 패킷의 <TRN>, <RA>필드에 자신이 지금까지 전송했던 RREQ 패킷 개수와 새롭게 계산된 <RA>값으로 갱신한 후에 다시 브로드캐스트한다. RREQ 패킷이 목적지 노드에 도착할 때까지 위와 같은 방법을 반복하여 경로별 <RTSR>값을 구한 후 경로의 <RA>값을 새롭게 갱신하는 과정을 반복한다. 목적지 노드까지 RREQ 패킷이 도착하게 되면 RREQ 패킷이 지나온 노드들은 <RTSR>필드를 통해 자신의 이웃 노드들과의 RREQ 패킷의 전송 성공률을 알 수 있고, 목적지 노드는 RREQ 패킷이 지나온 경로의 <RA>값을 통해 해당 경로를 구성하는 노드들의 이동성을 알 수 있다. RREQ 패킷이 목적지 노드에 도착하게 되면 목적지 노드는 첫 번째 도착하는 RREQ 패킷에 대해서 <RA>값을 계산 후 라우팅 테이블에 저장하고, RREQ 패킷에 대한 응답으로 RREP 패킷을 생성하여 소스 노드에게 역경로를 통하여 유니캐스트하게 전송한다.

이동성 기반 ad hoc 네트워크 라우팅 프로토콜은 RREQ 패킷을 이용하여 노드들간의 RREQ 패킷의 전송 성공률을 측정함으로써 노드의 이동성이 안정적인 노드들만을 이용하여 경로를 생성한다. 이동성이 안정적인 노드들만을 이용하여 경로를 생성함으로써 노드의 이동으로 인한 경로의 단절을 최소화하며 오래 지속 가능한 네트워크를 구성할 수 있다.

Ⅲ. 차량간 통신을 위한 AODV 라우팅 프로토콜

1. AODV 라우팅 프로토콜의 개선 방향

AODV 라우팅 프로토콜의 문제점은 노드의 이동성으로 인해 발생하는 빈번한 경로의 단절과 경로를 복구하기 위한 경로 재설정 과정에서 발생하는 시간 지연, 이 과정에서 새로운 경로를 찾기 위해 전송되는 RREQ 패킷의 브로드캐스트로 인한 오버헤드를 들 수 있다. AODV 라우팅 프로토콜에서는 네트워크 상에 있는 각 노드들이 활성 경로에 대한 정보만 유지하고 예비 경로에 대한 정보는 유지하지 않기 때문에 경로가 단절될 때마다 경로 재설정 과정을 수행해야 한다. 사용 중인 경로의 단절은 네트워크 성능을 저하시키는 주요 요인이 된다. 따라서 AODV 라우팅 프로토콜에서는 노드의 이동으로 인해 경로가 단절되는 경우 경로를 재설정하기 위해 경로 단절이 일어난 상위 노드에서 지역 경로 복구를 수행한다. 이는 네트워크의 규모가 작고, 노드의 이동성이 활발하지 않을 때는 신속한 경로설정을 위한 하나의 방법으로 적용할 수 있지만 차량간 통신과 같이 노드의 이동성이 활발하여 상대 노드가 지역 경로 복구를 할 수 있는 범위를 벗어난 경우에는 이 과정 자체가 경로 설정에 불필요한 시간 지연을 증가시키게 된다.^[11] 또한 지역 경로 복구를 위해 전송되는 RREQ 패킷의 증가는 오버헤드로 작용하여 네트워크 성능 저하를 가져오게 된다. 그림 11에서 노드 E와 노드 F의 경로가 단절되었을 때, 상위 노드인 노드 E는 노드 F와의 경로가 단절되었음을 알고 지역 경로 복구를 수행하기 위해 RREQ 패킷을 브로드캐스트한다. 하지만 노드 F의 이동으로 인해 목적지 노드를 찾지 못하게 되고, Discovery Period 만큼 기다린 후 RREP 패킷을 수신하지 못하면 소스 노드에게 RERR 패킷을 전송하여 경로 재설정 과정이 수행되게 한다. 노드 F는 이미 전송영역을 벗어났지만 노드 F는 RREQ 패킷을 브로드캐스트하고, Discovery Period 기간 동안 노드 F의 응답을 기다림으로써

불필요한 시간 지연을 가져오게 된다.

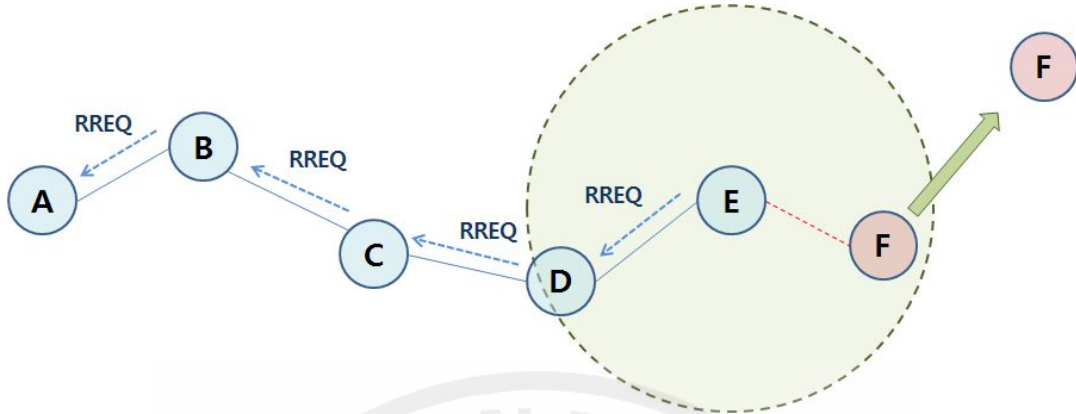


그림 11. AODV 라우팅 프로토콜 문제점

따라서 경로 단절시 신속한 경로 복구를 통해 경로 재설정 과정에서 발생하는 시간 지연을 줄이고, 경로 복구 과정에서 전송되는 RREQ 패킷의 오버헤드로 인한 문제를 해결하는 것이 AODV 라우팅 프로토콜 성능 향상을 위한 중요한 요소가 될 수 있을 것이다. 본 논문에서는 기존의 AODV 프로토콜의 문제점을 해결하고, 차량간 통신에 적용이 가능한 개선된 MAODV 라우팅 프로토콜에 대하여 제안한다. 모든 차량은 텔레매틱스 단말기를 장착하고 있다고 가정하였으며, GPS 수신기를 통해 차량의 위치 정보를 획득할 수 있다.

2. Hello 패킷을 이용한 MAODV 라우팅 프로토콜

Hello 패킷을 이용한 MAODV 라우팅 프로토콜에서는 위치 정보를 갖는 Hello 패킷을 전송하여 노드간의 거리를 계산하고, 이를 이용하여 거리 테이블을 설정한다. 경로 단절이 발생했을 때 기존의 AODV 라우팅 프로토콜처럼 지역 경로 복구를 수행하는 것이 아니라 미리 설정된 거리 테이블의

First_Priority_Node(FPN)로 Unicast RREQ(URREQ) 패킷을 전송함으로써 신속한 경로 복구가 가능하게 한다. 경로의 단절시 RREQ 패킷을 네트워크 전체에 브로드캐스트 하지 않기 때문에 RREQ 패킷의 오버헤드로 인한 성능 저하 문제를 해결할 수 있다.

1) GPS 기반의 위치정보를 갖는 Hello 패킷

AODV 라우팅 프로토콜에서는 경로가 설정되고 나면 자신의 유효함을 알리기 위해 Hello 패킷을 주고받는다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서는 GPS 기반의 위치정보를 갖는 Hello 패킷을 전송하여 노드간의 거리를 계산하고, 이를 기반으로 자신의 이웃 노드에 대한 거리 테이블을 생성한다. 본 논문에서 제안하는 Hello 패킷의 구성은 그림 12와 같다.

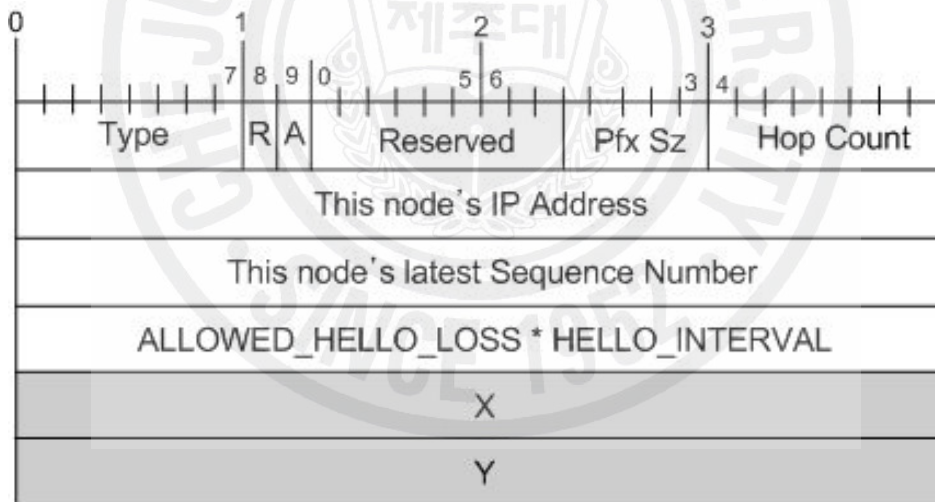


그림 12. 위치 정보를 갖는 Hello 패킷 구성

기존의 Hello 패킷에 위치 정보를 나타내는 X, Y 좌표를 추가하였으며, Type 필드의 값을 5로 설정하였다. 각 노드들은 HELLO_INTERVAL마다 자신의 위치 정보가 포함된 Hello 패킷을 전송함으로써 자신의 존재를 알린다.

2) 경로 복구를 위한 거리 테이블

위치 정보가 포함된 Hello 패킷을 수신한 노드는 자신의 위치 정보와 Hello 패킷을 송신한 이웃 노드의 위치 정보를 이용하여 노드간의 거리를 계산한다. 노드간의 거리를 계산하는 방법은 그림 13과 같다. Hello 패킷을 수신한 노드는 자신의 정북 방향을 기준으로 Hello 패킷을 송신한 노드와의 θ 를 구하고, 이를 이용하여 두 노드간의 거리를 계산한다. 그림 13에서, 노드 B, C, D로부터 Hello 패킷을 수신한 노드 A는 자신의 위치 정보(X_1, Y_1)와 Hello 패킷을 송신한 이웃 노드의 위치 정보(X_2, Y_2)를 이용하여 노드간의 거리를 식 (3),(4)와 같이 계산한다.

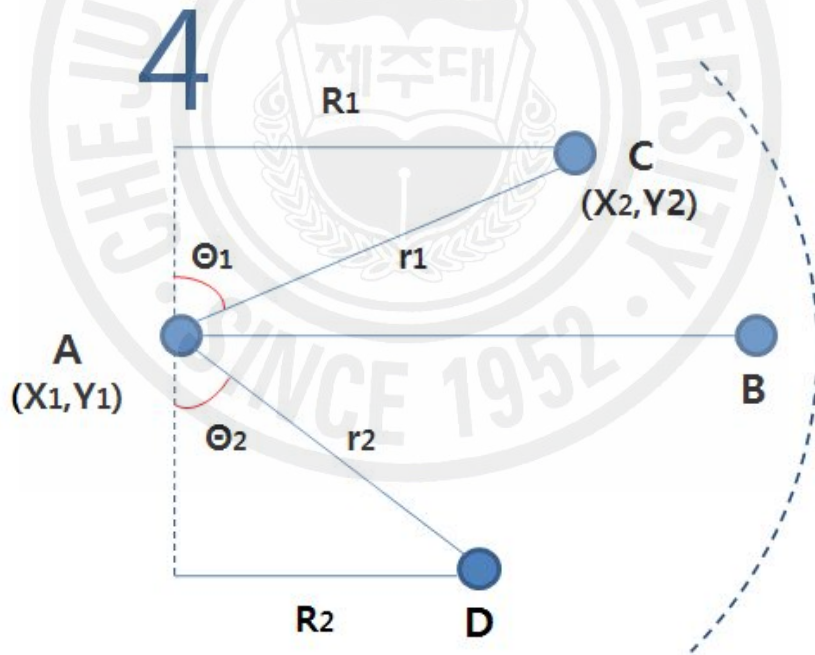


그림 13. 노드간 거리 계산 방법

$$r_i = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (3)$$

$$R_i = r_i \sin \theta_i \quad (4)$$

식 (3)에서 X_1, Y_1 는 자신의 좌표 값이고, X_2, Y_2 는 Hello 패킷을 송신한 이웃 노드의 좌표 값이다. 식 (3),(4)를 이용하여 노드간의 거리를 계산하고, 이를 자신의 거리 테이블에 저장한다. 거리 테이블의 구성은 그림 14와 같다. 거리 테이블은 최대 3개의 노드를 저장할 수 있으며, 노드간의 거리가 가장 먼 노드부터 차례대로 저장된다. 거리 테이블에는 해당 노드의 IP 주소와 두 노드간의 거리를 저장한다.

IP 주소	거리
First_Priority_Node_IP_Address	First_Priority_Node_Distance
Second_Priority_Node_IP_Address	Second_Priority_Node_Distance
Third_Priority_Node_IP_Address	Third_Priority_Node_Distance

그림 14. 거리 테이블 구성

Hello 패킷을 수신하기 전 거리 테이블이 NULL인 상태에서 처음 Hello 패킷을 수신하면 식 (3)과 (4)를 이용해 거리를 계산하고, Hello 패킷을 송신한 노드의 IP 주소와 거리를 거리 테이블의 FPN 필드에 저장한다. 이 후 두 번째 Hello 패킷을 수신하면 노드간의 거리를 계산하여 FPN의 거리와 비교하고, FPN와의 거리보다 멀다면 이를 FPN에 저장하고, FPN보다 멀지 않다면 SPN 필드에 해당 노드의 IP 주소와 거리를 저장한다. 새로운 Hello 패킷을 수신할 때 마다 해당 노드는 거리가 먼 순서대로 거리 테이블에 저장된다. 이때 수신한 Hello 패킷의 IP 주소가 거리 테이블에 저장된 IP 주소와 같으면, 노드간의 거리 필드를 최근 수신한 거리 값으로 바꾸고, 거리 테이블을 정렬한다. 또한 Hello 패킷을 송신한 노드와의 거리가 거리 테이블에 저장되어 있는 거리 값과 같으면 거리 테이블의 정보를 최근 수신한 노드의 IP 주소와 거리 값으로 바꾼다. 거리 테이블은 Hello 패킷이 수신될 때마다 업데이트 된다. 그림 15는 제안하는 라우팅 프로토콜에서 Hello 패킷 수신시 동작과정을 나타내고 있다. Hello 패킷이 수신될 때마다 노드간의 거리를 계산하여, 거리 테이블에 저장, 갱신, 정렬 과정을 수행함으로써 거리 테이블에는 항상 최신의 정보가 유지되도록 한다.

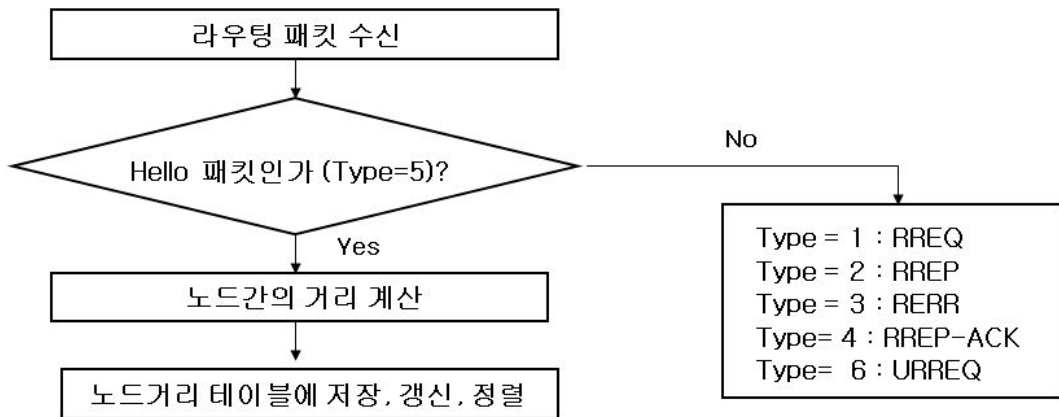


그림 15. Hello 패킷 수신시 동작 과정

3) Unicast RREQ(URREQ) 패킷을 이용한 경로 복구

기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서는 경로의 단절이 발생했을 때 경로 단절이 일어난 상위 노드와 목적지 노드와의 거리에 따라 경로 복구 방법을 결정한다. 경로 단절이 발생했을 때 소스 노드와 목적지 노드와의 거리가 MAX_REPAIR_TTL 보다 작을 경우에는 상위 노드에서 RREQ 패킷을 브로드캐스트 하여 경로를 복구하고, MAX_REPAIR_TTL 보다 클 경우에는 소스 노드에게 RERR 패킷을 보내 경로 탐색 과정을 다시 수행하도록 한다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서는 경로의 단절이 발생했을 때 기존의 지역 경로 복구 방식을 사용하여 경로를 복구하는 것이 아니라 미리 설정된 거리 테이블의 FPN로 URREQ 패킷을 전송함으로써 경로를 복구한다. RREQ 패킷을 네트워크 전체에 브로드캐스트 하는 것이 아니라 유니캐스트 방식으로 전송함으로써 RREQ 패킷의 오버헤드로 인한 네트워크 성능 저하 문제를 해결할 수 있다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 제안하는 URREQ 패킷의 구성은 그림 16과 같다.

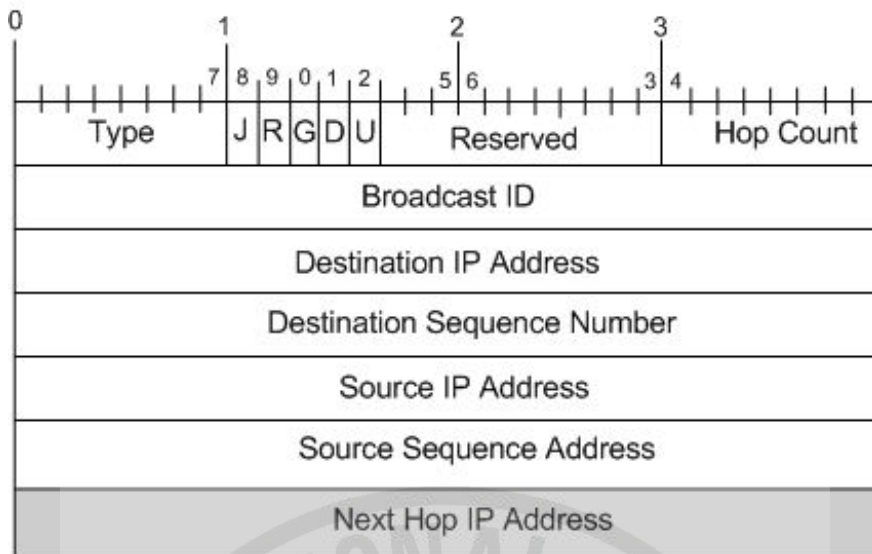


그림 16. URREQ 패킷 구성

URREQ 패킷은 기존의 RREQ 패킷에서 Next Hop IP Address 필드를 추가하였으며, Type 필드의 값을 6으로 설정하였다. 이때 Next Hop IP Address 필드의 값은 거리 테이블의 FPN_IP_Address를 설정한다.

제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 URREQ 패킷의 송신 노드에서의 동작 과정은 그림 17과 같다. 경로의 단절이 발생하면, 먼저 거리 테이블을 확인한다. 거리 테이블이 NULL이 아니라면 거리 테이블의 FPN의 IP 주소를 URREQ 패킷의 Next Hop IP Address 필드에 저장하고, 생성된 URREQ 패킷을 Next Hop IP Address로 전송한다. Discovery period 동안 Next Hop IP Address로부터 RREP 패킷을 수신하면, 해당 경로로 데이터 패킷을 전송하여 경로를 복구한다. 이때 FPN로부터 RREP 패킷을 수신하지 못하면 SPN(Second_Priority_Node)로 URREQ 패킷을 전송하고, SPN로부터 RREP 패킷을 수신하지 못하면, TPN(Third_Priority_Node)로 RREQ 패킷을 전송한다. TPN로부터도 RREP 패킷을 수신하지 못하였다면 소스 노드에게 RERR 패킷을 전송하여 경로 탐색 과정이 수행되도록 한다. 거리 테이블이 NULL이라면, 기존의 지역 경로 복구 과정을 수행한다.

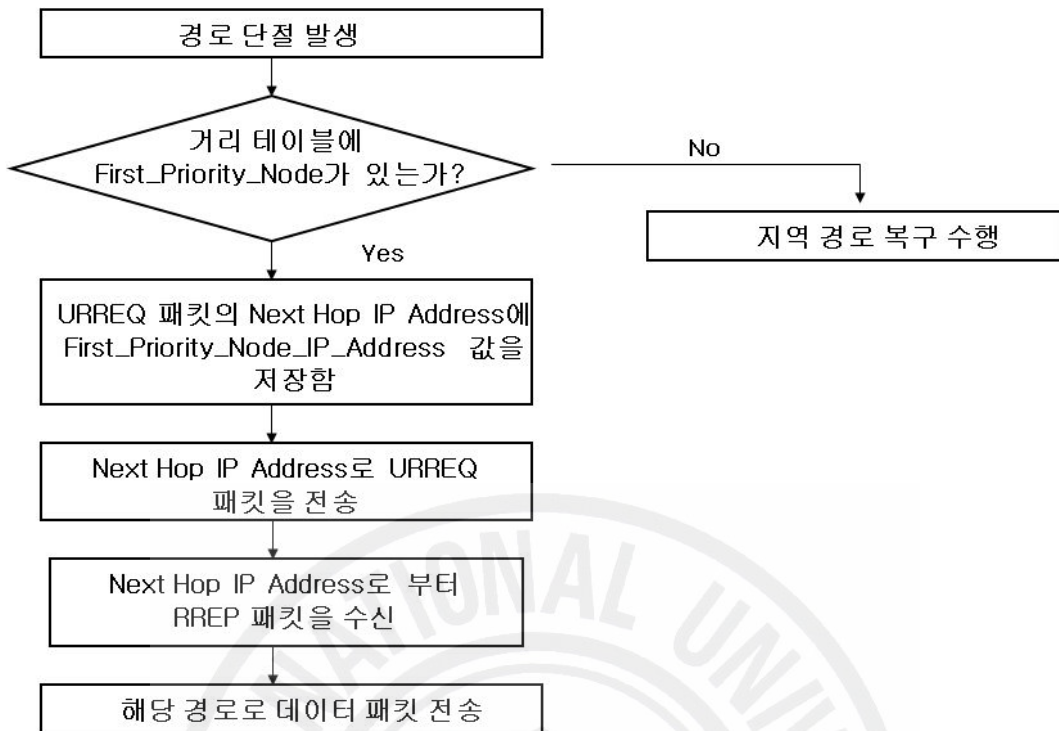


그림 17. URREQ 패킷 송신 노드에서의 동작 과정



그림 18. URREQ 패킷 수신 노드에서의 동작 과정

그림 18은 URREQ 패킷 수신 노드에서의 동작 과정을 나타낸 것이다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜은 경로 단절이 발생했을 때 기존의 지역 경로 복구 방식처럼 RREQ 패킷을 네트워크 전체에 브로드캐스트하여 데이터를 전

송할 다음 노드를 찾는 것이 아니라 거리 테이블로부터 가져온 FPN로 URREQ 패킷을 전송한다. URREQ 패킷을 수신한 노드는 Next Hop IP Address 값이 자신의 IP 주소와 같으면 URREQ 패킷을 전달하고, 자신의 IP 주소와 다르면 URREQ 패킷을 전달하지 않고 폐기한다.

4) Hello 패킷을 이용한 MAODV 라우팅 프로토콜의 동작 과정

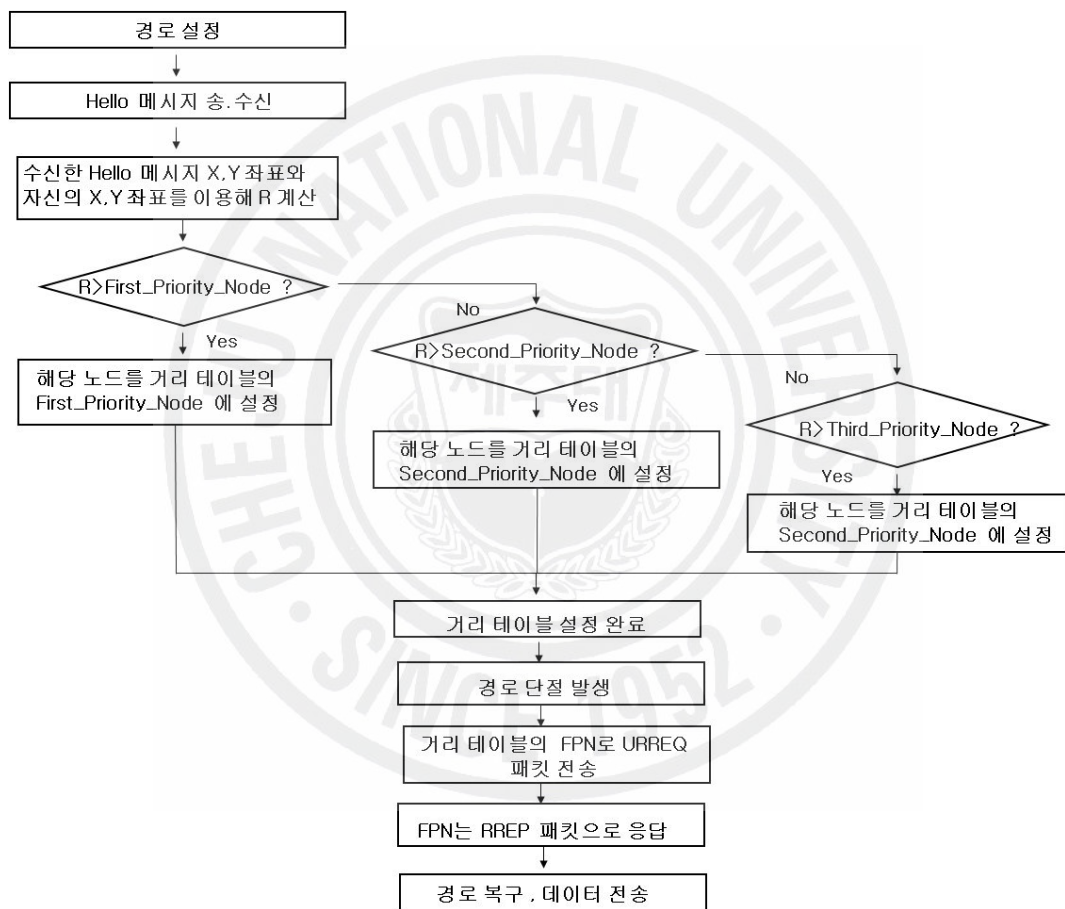


그림 19. Hello 패킷을 이용한 MAODV 라우팅 프로토콜의 동작 과정

제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜의 전체적인 동작과정은 그림 19와 같다. 경로가 설정되면, 각 노드들은 자신의 유효함을 알리기 위해 Hello 패킷을 전

송한다. Hello 패킷을 수신한 노드는 자신의 위치 정보와 Hello 패킷을 송신한 이웃 노드의 위치 정보를 이용하여 노드간의 거리를 계산하고, 계산된 거리를 비교하여 거리가 가장 먼 노드부터 차례대로 거리 테이블에 저장한다. 경로 단절이 발생했을 때 먼저 거리 테이블을 확인하고, 거리 테이블이 NULL이 아니라면 거리 테이블의 FPN로 URREQ 패킷을 전송하여 경로를 복구한다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서는 경로를 복구하기 위해 RREQ 패킷을 브로드캐스트 할 필요 없이 거리 테이블에 설정된 FPN, SPN, TPN로 URREQ 패킷을 전송함으로써 경로 재설정으로 인한 시간 지연을 해결할 수 있으며, RREQ 패킷을 유니캐스트방식으로 전송함으로써 RREQ 패킷의 오버헤드로 인한 성능 저하 문제를 해결할 수 있다.



IV. 성능평가

본 장에서는 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜의 성능을 기존의 AODV 라우팅 프로토콜과 비교해 보았다. 제안하는 라우팅 프로토콜의 성능은 SNT(Scalable Networks Technologies)^[12]에서 제공하는 네트워크 시뮬레이션 도구인 쉘넷 시뮬레이터 버전 3.8을 사용하여 확인하였다. 쉘넷 시뮬레이터는 사용자 그래픽 인터페이스(GUI)를 기반으로 MANET(mobile ad hoc network), QoS, IPv6, 셀룰러, 위성 등의 다양한 라이브러리를 제공하며 이기종 간의 네트워크 모델링, 무선 네트워크, 실시간 시뮬레이션, 방향성 안테나 시스템, 유선 네트워크 등의 시뮬레이션에 널리 사용되고 있다.

제안하는 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 39개의 노드를 갖는 이동성 시나리오를 사용하였다. CBR(constant bit rate) 트래픽을 0.1Mbps에서 1Mbps까지 0.1Mbps씩 변화시키면서 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜의 처리량, RREQ 패킷의 수, RREP 패킷의 수, RERR 패킷의 수를 측정하였다.

1. 이동성 모델

1) 랜덤 웨이포인트 이동성 모델^[13]

랜덤 웨이포인트 이동성 모델은 ad hoc 라우팅 알고리즘을 실험하기 위한 이동성 모델 중 가장 간단한 설정만으로 시뮬레이션 할 수 있는 모델이다. 노드들은 랜덤한 움직임, 랜덤한 도착지의 설정, 랜덤한 속도의 특징을 갖으며 각 노드는 속력을 변화하면서 이동하다가 랜덤한 정지 시간을 갖는다.

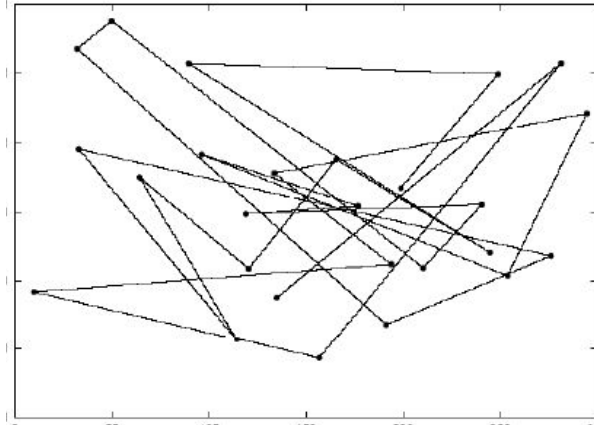


그림 20. 랜덤 웨이포인트 이동성 모델

2) 고속도로 이동성 모델^[14]

고속도로 이동성 모델은 모바일 노드인 차량의 고속도로 위에서의 움직임을 모델링한 것이다. 이 모델은 간단한 지도를 이용하여 지도상에 있는 도로 위를 노드들이 양방향으로 움직일 수 있도록 모델링한다. 움직이는 노드는 제한된 공간에서 움직이고, 움직이는 노드는 앞 차량의 속도에 영향을 받는다. 도로 위를 달리는 두 차량이 서로 안전거리에 있다면 뒤에서 따라가는 앞 차량의 속도 이상으로 움직이지 않는다. 고속도로 이동성 모델은 차량과 차량 간의 거리 및 앞 차량에 의하여 이동속도 등이 정해진다.

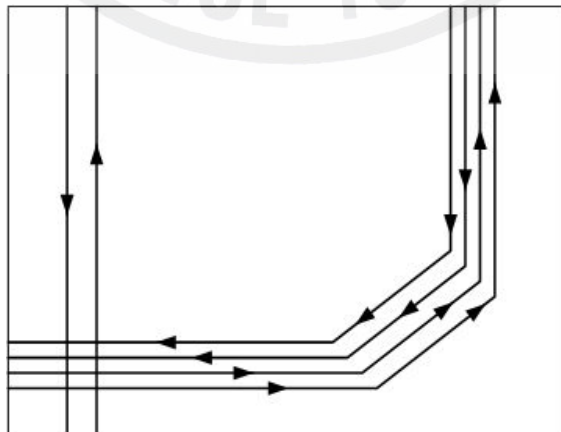


그림 21. 고속도로 이동성 모델

3) 시가지 이동성 모델^[14]

시가지 이동성 모델은 지도상의 시가지 거리를 중심으로 움직이는 모바일 노드들을 모델링한 모델이다. 각 도로는 양방향으로 움직이도록 되어 있으며 고속도로 이동성 모델과 유사하지만 각 사거리에서 직진, 좌회전 및 우회전이 가능하다. 이동하는 차량 앞에 다른 차량이 있으면 이동 속도 및 거리등의 영향을 앞차량에 의하여 받으며 각 사거리에서 직진은 50%, 좌회전 및 우회전은 25%의 확률로 이동한다. 고속도로 모델과 유사하지만 방향성에서 조금 더 자유롭다.

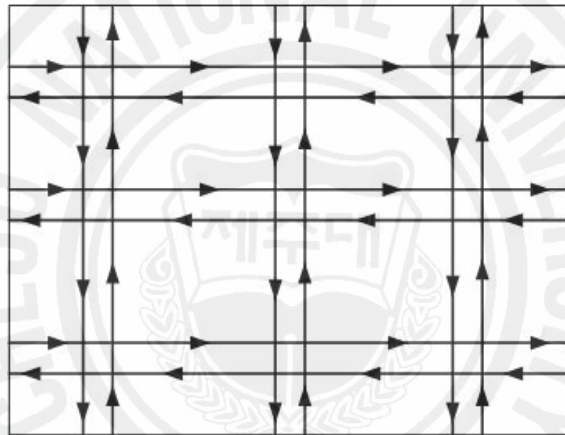


그림 22. 시가지 이동성 모델

2. 시뮬레이션 환경

물리 계층 프로토콜은 IEEE 802.11b 표준을 사용하였고, 데이터링크 계층 프로토콜은 IEEE 802.11 MAC을 사용하였다. 수신 감도는 -86dBm이며 다중 경로 손실 모델은 two-ray 모델을 사용하였다. 전송속도는 2Mbps이며 최대 전송거리는 약 250m이다. 네트워크 트래픽 부하 모델은 CBR 트래픽을 사용

하였으며, 데이터 패킷의 크기는 512byte이다. 전송 가능한 최대 홉수는 8이다. 표 5는 시뮬레이션에 사용되는 주요 파라미터를 나타낸 것이다.

표 5. 시뮬레이션에서의 주요 파라미터

CBR 트래픽 부하	0.1Mbps ~ 1Mbps
노드간 거리	최대 250m
물리 계층 프로토콜	IEEE 802.11b
데이터링크 계층 프로토콜	IEEE 802.11 MAC
수신감도	-86dBm
다중 경로 손실 모델	two-ray 모델
전송속도	2Mbps
최대 전송 거리	250m
라우팅 프로토콜	MAODV, AODV 라우팅 프로토콜
DATA 패킷 크기	512byte

시뮬레이션에 사용된 AODV 라우팅 프로토콜 파라미터 값은 표 6과 같다.

표 6. AODV 라우팅 프로토콜 파라미터 값

파라미터 이름	값
NET_DIAMETER	8
ACTIVE_ROUTE_TIMEOUT	4S
ACTIVE_MY_ROUTE_TIMEOUT	8S
HELLO_INTERVAL	1S
ALLOWED_HELLO_LOSS	2
NODE_TRAVERSAL_TIME	40MS
ROUTE_DELETION_CONSTANT	5
RREQ_RETRIES	4
TTL_START	1
TTL_INCREMENT	2
TTL_THRESHOLD	11

3. 시뮬레이션 시나리오

제안하는 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하기 위한 시나리오는 그림 23과 같다. 그림 23과 같이 6차선 형태로 구성되어 있으며, 39개의 노드를 사용하였다. 노드 2번~노드 6번, 노드 15번~노드 19번, 노드 28번~노드 32번까지는 이동하는 노드이며 나머지 노드는 정지한 노드이다. 이동하는 노드들은 시뮬레이션이 진행되는 300초 동안 좌에서 우로, 우에서 좌로 평균 20Km/h의 속도로 이동하였다. CBR 트래픽을 두 개 사용하였으며, 데이터 전송은 노드 1번에서 노드 7번으로 노드 27번에서 노드 33번으로 이루어진다. 노드 좌우간의 거리는 240m이고, 노드 상하간의 거리는 120m이며, 대각선 길이는 169m이다. CBR 트래픽을 0.1Mbps에서 1Mbps까지 0.1Mbps씩 변화시키면서 제안하는 라우팅 프로토콜의 처리량, RREQ 패킷의 수, RREP 패킷의 수, RERR 패킷의 수, 전체 제어 패킷의 수를 측정하였다.

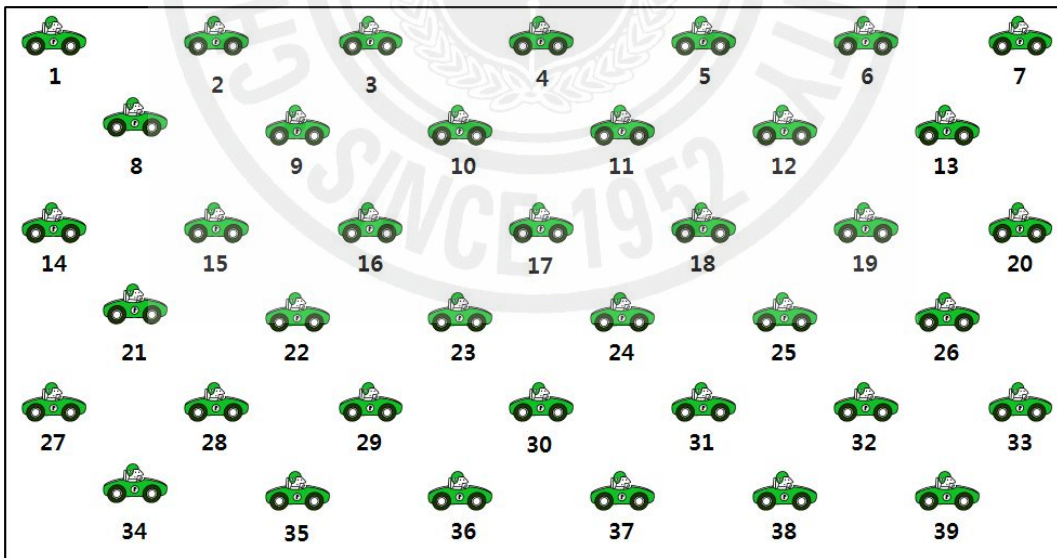


그림 23. 시뮬레이션 시나리오

4. 시뮬레이션 결과

1) 처리량

그림 24는 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜과 기존의 AODV 라우팅 프로토콜과의 처리량을 비교한 것이다.

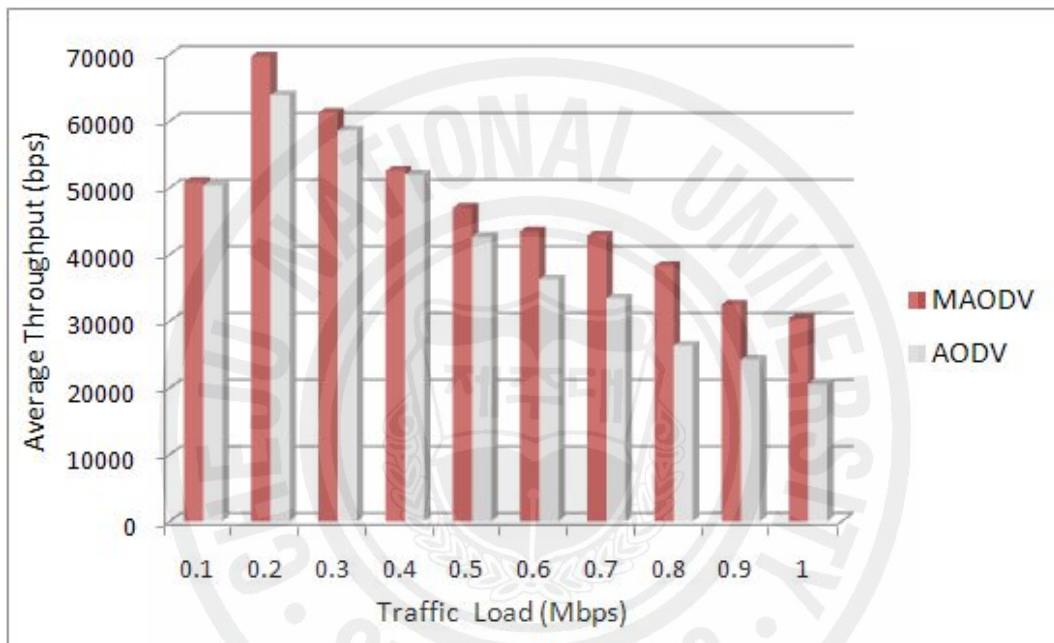


그림 24. 트래픽 부하에 따른 평균 네트워크 처리량

트래픽 부하를 0.1Mbps에서 1Mbps까지 변화시키면서 제안하는 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하였다. 그림 24에서 알 수 있듯이 제안하는 라우팅 프로토콜의 성능이 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 우수함을 알 수 있다. 1Mbps 트래픽에서 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜과 AODV 라우팅 프로토콜은 각각 30425bps, 20599bps의 평균 처리량을 갖는다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜의 성능은 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 32.3% 증가하였다.

2) RREQ 패킷 수

그림 25는 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜과 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RREQ 패킷의 수를 나타낸 것이다.

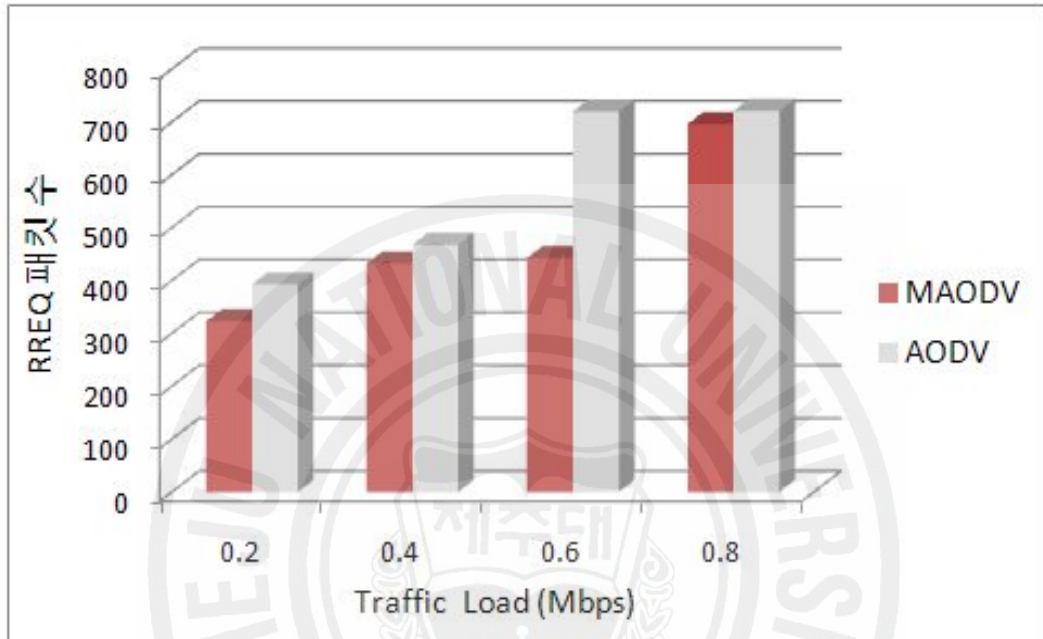


그림 25. 트래픽 부하에 따른 RREQ 패킷의 수

시뮬레이션 결과 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 전송되는 RREQ 패킷의 수는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 18% 감소하였다. 이는 MAODV 라우팅 프로토콜은 경로 단절이 발생했을 때 기존 AODV 라우팅 프로토콜의 지역 경로 복구 방식처럼 RREQ 패킷을 네트워크 전체에 브로드캐스트하여 경로를 복구할 노드를 찾는 것이 아니라, 위치 정보를 갖는 Hello 패킷을 이용하여 거리 테이블에 미리 설정되어 있는 FPN로 URREQ 패킷을 전송하기 때문이다. 경로 단절이 일어난 상위 노드는 거리 테이블의 FPN로 URREQ 패킷을 전송함으로써 빠른 경로 복구를 수행할 수 있을 뿐만 아니라 RREQ 패킷을 유니캐스트방식으로 전송함으로써 전송되는 RREQ 패킷의 수를 줄일 수 있다.

3) RREP 패킷 수

그림 26은 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜과 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RREP 패킷의 수를 나타낸 것이다.

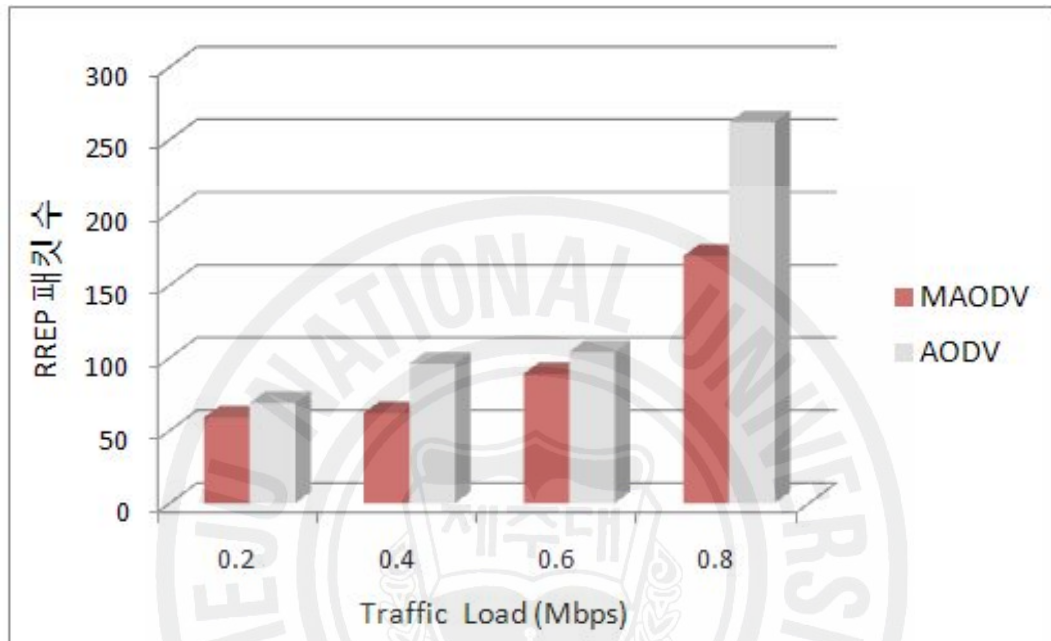


그림 26. 트래픽 부하에 따른 RREP 패킷의 수

시뮬레이션 결과 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 전송되는 RREP 패킷의 수는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 28.4% 감소하였다. 전체적인 RREQ 패킷의 수가 감소함으로써 RREQ 패킷에 대한 응답인 RREP 패킷의 수도 감소함을 알 수 있다.

4) RERR 패킷 수

그림 27은 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜과 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RERR 패킷의 수를 나타낸 것이다.

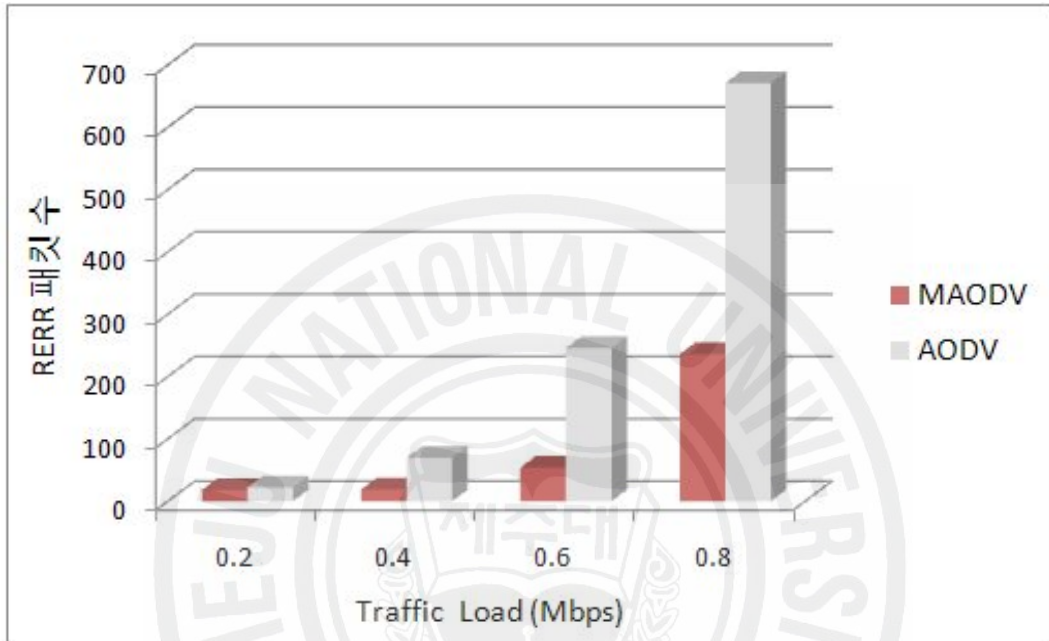


그림 27. 트래픽 부하에 따른 RERR 패킷의 수

시뮬레이션 결과 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 전송되는 RERR 패킷의 수는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 67.6% 감소하였다. MAODV 라우팅 프로토콜은 경로의 단절이 어느 곳에서 발생하더라도 경로 단절이 일어난 상위 노드에서 거리 테이블의 FPN로 URREQ 패킷을 보냄으로써, 전송되는 RERR 패킷의 수를 줄일 수 있다. 즉, 경로 단절이 발생했을 때 기존의 지역 경로 복구 방식을 사용하는 것이 아니라 노드 거리 테이블의 FPN로 URREQ 패킷을 보내 경로를 복구하기 때문에 RERR 패킷의 발생률을 줄일 수 있다.

5) 라우팅 패킷의 수

표 7은 시뮬레이션이 진행되는 동안 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜과 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 라우팅 패킷의 수를 나타낸 것이다.

표 7. 라우팅 패킷 발생 개수 비교

	MAODV	AODV
RREQ(Route Request)	1894	2302
RREP(Route Reply)	380	531
RERR(Route Error)	327	1009
총	2601	3842

시뮬레이션 결과 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RREQ 패킷의 수는 총 1894개이고, AODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RREQ 패킷의 수는 2302개였다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 전송되는 RREQ 패킷의 수는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 18% 감소하였다. 시뮬레이션 결과 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RREP 패킷의 수는 총 380개이고, AODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RREP 패킷의 수는 531개였다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 전송되는 RREP 패킷의 수는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 28.4% 감소하였다. 또한 시뮬레이션 결과 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RERR 패킷의 수는 총 327이고, AODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 RERR 패킷의 수는 1009개였다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 전송되는 RERR 패킷의 수는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 67.6% 감소하였다.

그림 28은 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜과 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서 발생하는 라우팅 제어 패킷의 수를 그래프로 나타낸 것이다.



그림 28. 트래픽 부하에 따른 전체 라우팅 패킷의 수

제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜은 RREQ 패킷의 수를 줄이는데 중점을 두고 있다. AODV 라우팅 프로토콜에서 RREQ 패킷은 브로드캐스트 방식으로 전송되기 때문에 RREQ 패킷의 오버헤드로 인한 네트워크 성능 저하 문제를 가져온다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜은 위치 정보를 갖는 Hello 패킷을 이용하여 노드간의 거리를 계산하고 이를 기반으로 거리 테이블을 설정한다. 또한 경로 단절이 발생했을 때 기존의 지역 경로 복구 방식이 아닌 거리 테이블을 이용한 경로 복구 방법을 사용함으로써 RREQ 패킷의 발생률을 효과적으로 줄일 수 있다. RREQ 패킷의 감소로 인해 RREQ 패킷에 대한 응답인 RREP 패킷의 수도 감소하였으며, 경로 단절이 어느 곳에서 발생하더라도 제안하는 경로 복구 방법을 사용함으로써 RERR 패킷의 수도 감소하였다. 따라서 전체 라우팅 패킷의 수는 MAODV 라우팅 프로토콜에서 2601개, AODV 라우팅 프로토콜에서 3842개 발생하였으며, 제안하는 라우팅 프로토콜을 사용함으로써 전체 라우팅 패킷의 수가 약 32.3% 감소하였다.

V. 결론

본 논문은 위치 정보를 갖는 Hello 패킷을 이용한 MAODV 라우팅 프로토콜을 제안하였다. Hello 패킷을 수신한 노드는 자신의 위치 정보와 Hello 패킷을 송신한 이웃 노드와의 거리를 계산하여 거리 테이블을 설정한다. 거리 테이블은 노드의 거리가 먼 노드부터 해당 노드의 IP 주소와 거리를 저장하고, Hello 패킷이 수신될 때마다 업데이트 된다. MAODV 라우팅 프로토콜은 경로의 단절이 발생했을 때 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서처럼 RREQ 패킷을 브로드캐스트 방식으로 전송하여 경로를 복구하는 것이 아니라 경로 단절이 일어난 상위 노드에서 거리 테이블의 FPN로 URREQ 패킷을 전송하여 경로를 복구한다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 경로 단절시 RREQ 패킷을 네트워크 전체에 브로드캐스트 할 필요 없이 거리 테이블에 미리 설정된 FPN로 URREQ 패킷을 전송하기 때문에 경로 재설정으로 인한 시간 지연을 해결할 수 있으며, RREQ 패킷의 브로드캐스트로 인한 오버헤드 문제를 해결할 수 있다.

제안하는 라우팅 프로토콜의 성능은 쉘넷 3.8 시뮬레이터를 사용하여 확인하였으며, 39개의 노드를 갖는 이동성 시나리오를 사용하였다. CBR 트래픽을 0.1Mbps에서 1Mbps까지 0.1Mbps씩 변화시키면서 제안하는 라우팅 프로토콜의 처리량과 RREQ 패킷의 수, RREP 패킷의 수, RERR 패킷의 수를 측정하였다. 시뮬레이션 결과 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜의 처리량은 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 32.3% 증가하였다. 라우팅 경로를 설정하고 유지하는 과정에서 전송되는 RREQ 패킷의 수는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 약 18% 감소하였으며, RREP 패킷의 수는 약 28.4%, RERR 패킷의 수는 약 67.6% 감소하였다. 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜을 사용함으로써 전체적인 라우팅 패킷의 수는 약 32.3% 감소하였다.

본 논문에서 제안하는 MAODV 라우팅 프로토콜은 RREQ 패킷의 수를 줄이는데 초점을 두고 있다. 이를 위해 경로 단절시 경로 단절이 일어난 상위

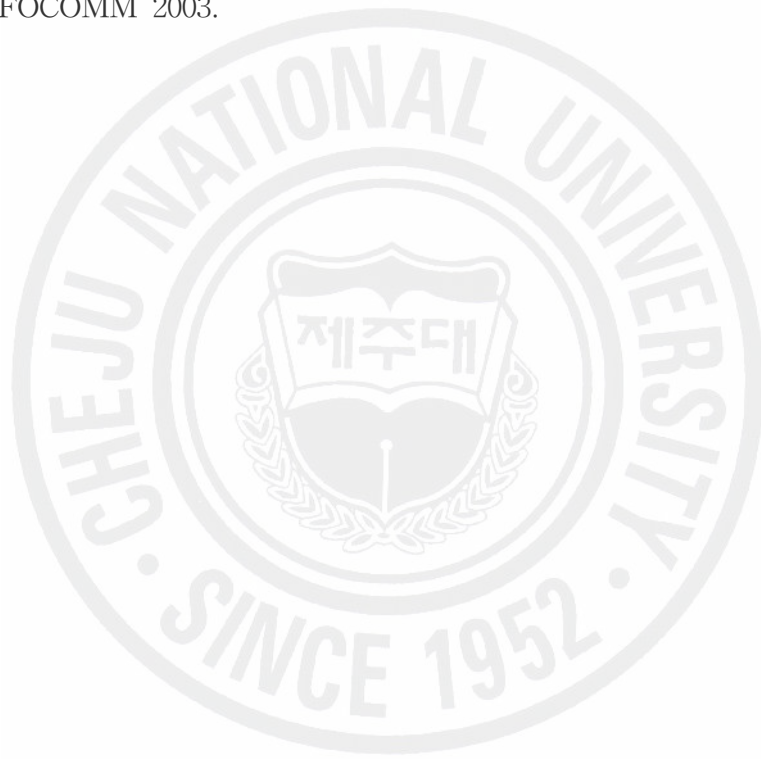
노드에서 URREQ 패킷을 보냄으로서 RREQ 패킷이 네트워크 전체에 브로드캐스트 되는 것을 제한한다. 시뮬레이션 결과 제안하는 AODV 라우팅 프로토콜에서 전송되는 RREQ 패킷의 수는 기존의 AODV 패킷에 비해 크게 감소되었으며, RREQ 패킷의 수를 줄임으로써 전체적인 라우팅 제어 패킷의 수도 감소하였다. 따라서 본 논문이 제안하는 개선된 AODV 라우팅 프로토콜은 차량간 통신을 위한 라우팅 프로토콜로서 적은수의 제어 패킷을 사용하면서 우수한 성능을 갖는다.



참 고 문 헌

- [1] Satoshi Matsuda, Hiroyuki Koike, Hiromi Okada, "Vehicular Information BROadcasting Relay (VIBROR) Protocol for Inter-Vehicle-Communication", *IEEE VTC 2000*, pp.2005-2010, 2000.
- [2] 김경호, 한은영, 장정아, 이소연, 최혜옥, "텔레매틱스 표준화 동향", *전자통신동향분석 제20권 제3호*, pp.10-18, 2005.
- [3] 유석대, 조기환, "교통사고 방지를 위한 차량간 통신기술", *한국통신학회지 제23권 2호*, pp.79-90, 2006.
- [4] AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*, Fourth Edition, 2001.
- [5] 이석진, "노드 이동성 기반 Ad Hoc 네트워크 라우팅 프로토콜", 석사학위논문, 서강대학교 대학원, 2005.
- [6] C.Perkins, E.Belding-Royer and S.Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector(AODV) Routing", *IETF RFC 3561*, July, 2003.
- [7] C.E.Perkins and P.Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", *Proceedings of ACM SIGCOMM 1994*, pp.234-244, August 1994.
- [8] Yih-Chun Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4", *IETF RFC 4728*, February 2007.
- [9] M. Manoj, *Ad hoc Wireless Networks - Architectures and Protocols*, Prentice Hall, pp. 191-298, 2004.
- [10] 정의현, "이동 Ad hoc 네트워크에서 AODV를 위한 새로운 경로 복구 기법", 석사학위논문, 중앙대학교 대학원, 2004.
- [11] 김성용, "이동 Ad hoc 네트워크의 AODV에서 RREP를 사용한 성능 개선에 관한 연구", 석사학위논문, 중앙대학교 대학원, 2006.

- [12] Scalable Network Technologies, Qualnet simulator version 3.8,
<http://www.scalable-networks.com>.
- [13] Tracy Camp, Jeff Boleng, Vanessa Daviex, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research", *WCMC vol.01.2 no5*, pp.483-502, 2002.
- [14] Fan Bai, Narayanan Sadagopan, Ahmed Helmy, "IMPORTANT : A framework to systematically analyze the Impact of Mobility on Performance of Routing protocols for Adhoc Networks", IEEE INFOCOMM 2003.



본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

1. 학술대회논문집

- E.J.Lee, C.N.Kang, D.H.Han, D.Y.Yang, J.W.Jwa, “A Tone Dual-Channel DMAC Protocol in Location Unaware Ad Hoc Networks”, CIC'06, pp.91-96, 2006. 5.
- 이은주, 강창남, 좌정우, “위치 정보를 모르는 Ad hoc 네트워크에서 공간 재사용 증가를 위해 Tone을 사용한 Dual-Channel DMAC 프로토콜”, 대한전자공학회 하계학술대회, vol.29, pp.55-56, 2006. 6.
- 이은주, 한도형, 좌정우, “위치 정보 기반의 Ad hoc 네트워크에서 Tone을 사용한 Dual-Channel DMAC 프로토콜”, 대한전자공학회 하계학술대회, vol.29, pp.57-58, 2006. 6.
- 강창남, 한도형, 이은주, 좌정우, 임재윤, “Ad hoc 네트워크에서 전력제어기법을 사용한 Dual-Channel MAC 프로토콜”, 한국방송공학회 동계학술대회, pp.101-104, 2007. 2.

2. 게재 논문집

- 이은주, 이권익, 김홍수, 좌정우, 양두영, 이미경, “위치정보 기반의 Ad hoc 네트워크에서 전력제어기법을 사용한 이중채널 MAC 프로토콜”, 한국 콘텐츠학회 논문지 제7권 제4호, pp.39-48, 2007. 4.

감사의 글

대학원 생활의 결실이라고 할 수 있는 졸업 논문이 완성되기까지 많은 분들의 도움이 있었습니다. 학부시절부터 대학원 시절까지 부족한 저에게 항상 자신감을 심어주시고, 논문이 마무리되는 그날까지 열정적으로 지도해주신 좌정우 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁜 와중에서도 저의 논문을 심사해주신 강진식 교수님과 임재윤 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 학부과정부터 대학원 석사과정을 졸업하기까지 많은 가르침을 주신 이용학 교수님, 문건 교수님, 김홍수 교수님, 양두영 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

바쁜 와중에서도 부족한 저의 논문을 꼼꼼하게 살펴주시고, 항상 좋은 말씀 해주신 권익선배님, 봉수선배님, 성욱선배님, 은진언니에게도 진심으로 감사드립니다. 이동통신 연구실에서 함께 생활했던 상보오빠, 훈철오빠, 창표오빠, 종민오빠, 동현오빠, 경보오빠 정말 고맙습니다.

너무나 힘들었던 석사 첫 1년 동안 함께 있어 재미있는 일도 많았고, 추억도 많았고, 서로 큰 힘이 되었던 도형오빠, 창남오빠, 지윤언니에게도 진심으로 감사드립니다. 또 대학원 동기 훈남 정현오빠에게도 깊은 감사드립니다. 졸업하는 날까지 많은 지원과 도움을 아끼지 않으셨던 윤희언니, 진호오빠, 정수오빠 정말 고맙습니다.

학부시절 연구실에서 함께 고생했던 미현이, 심심하지 않게 자주 놀아주었던 이민, 뚜기 고마워. 논문 잘 쓰라고 응원해준 소중한 친구들 혜연이, 지민이, 예영이, 루다, 희진아 정말 고마워.

그리고 마지막으로 사랑하는 우리 가족. 가족의 응원 덕분에 2년이라는 시간을 잘 견뎌낼 수 있었던 것 같습니다.

소심하고 자신감 없던 저에게 많은 채찍질과 조언을 아끼지 않으셨던 모든 분들 덕분에 2년이라는 시간이 지난 지금 무엇이든지 할 수 있다는 자신감과 더욱더 단단해진 제 자신을 발견할 수 있었습니다.

모두 진심으로 감사드립니다.