

# 무선 메쉬 네트워크에서 이동 메쉬 라우터의 이동 경로 정보를 고려한 라우팅 프로토콜

조용진\*, 정회원 정홍중\*, 종신회원 김동균\*, 정회원 유관우\*\*

## Trajectory Information-based Routing Protocol for Mobile Mesh Router in Wireless Mesh Networks

YongJin Cho\* Associate Member, Hong-Jong Jeong\* Regular Member,  
Dongkyun Kim\* Lifelong Member, Kwan Woo Ryu\*\* Regular Member

### 요약

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크 기술을 활용하여 버스와 전철 등의 대중교통을 이용 중인 승객들에게 인터넷 접속 서비스 제공을 위한 무선 메쉬 네트워크 라우팅 프로토콜을 제안한다. 승객들에게 차량의 이동과 관계없이 신뢰성 있는 인터넷 연결을 제공하기 위해 본 논문에서는 이동 메쉬 라우터가 차량에 장착되고, 이 라우터가 인터넷 게이트웨이까지의 경로를 탐색하는 것을 가정한다. 본 논문에서는 이동 메쉬 라우터와 인터넷 게이트웨이 간의 경로 탐색을 위해 차량의 이동 경로정보와 링크품질을 고려한 ETT-TR (Expected Transmission Time with TRajjectory information) 메트릭 및 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 기법의 성능 평가를 위해 NS2를 사용하여 시뮬레이션 수행 하였으며, 이를 통해 제안된 방법이 중단간 지연시간 감소 및 처리량 향상에 기여함을 보였다.

**Key Words** : Wireless mesh network, Routing protocol, Routing metric, Trajectory information

### ABSTRACT

In this paper, we propose a routing protocol for WMNs to provide passengers in public transportation vehicles (e.g., bus and tram) with Internet access service. In order to support end users with a reliable Internet connection despite the mobility of vehicles, we assume that mesh router, called mobile mesh router (MMR), is installed in a vehicle and manages a route to Internet Gateway (IGW). We therefore propose an efficient routing protocol and its routing metric, called ETT-TR, considering trajectory information of vehicle as well as link quality in order to find a route between them. Using NS-2 simulations, we observe that our proposed routing protocol reduces the end-to-end delay and improves throughput performance.

### I. 서론

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks)는 무선 메쉬 라우터로 구성된 다중 홉 네트워크로서, 광대역의 무선 백본망 구축에 사용되어 사용자 단말들에게 인터넷 접속 서비스를 제공하는데 활용될 수 있

다. 무선 메쉬 네트워크를 구성하는 메쉬 라우터들은 이동이 거의 없는 고정된 형태로 설치되며, 멀티 홉 라우팅 기술을 활용하여 자가망을 형성하고, 이를 통해 사용자 단말들의 네트워크 트래픽을 해당 목적지까지 전달하게 된다<sup>1,2,7</sup>. 최근 들어 스마트폰, 노트북, PDA와 같은 다양한 휴대용 무선기기들이 활발히 보

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT-융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C6150-1102-0011)

\* 경북대학교 컴퓨터학부 이동인터넷 연구실 (yjcho, hjjeong}@monet.knu.ac.kr, dongkyun@knu.ac.kr), (° : 교신저자)

\*\* 경북대학교 컴퓨터학부 디지털 미디어 연구실 (kwryu@knu.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-01-015, 접수일자 : 2011년 1월 6일, 최종논문접수일자 : 2011년 8월 11일

급됨에 따라 이들 단말에 저렴한 비용으로 양질의 인터넷 접속 서비스를 제공할 수 있는 기술에 대한 요구가 높아지고 있으며, 그 대표적인 기술로 무선 메시 네트워크 기술이 주목받게 되었다. 사용자들은 이들 휴대용 무선기기를 활용하여 카페, 광장, 거리와 같은 공공장소 또는 버스나 지하철 등과 같은 대중교통 안에서 자유롭게 이동하면서 인터넷에 접속하기를 원한다. 고정된 장소에서 사용자 단말에 인터넷 접속 서비스를 제공하는 것은 기존의 무선 메시 네트워크 연구 결과들을 활용하여 가능하게 할 수 있다. 하지만 기존의 무선 메시 네트워크 기술을 활용하여 차량을 통해 이동 중인 사용자 단말에 인터넷 접속 서비스를 제공하는 경우 지속적인 링크단절로 인해 신뢰성 있는 서비스 제공에 많은 어려움이 발생한다. 무선 메시 네트워크가 구축된 지역에서 버스 등의 대중교통을 이용하는 사용자 단말에게 인터넷 접속 서비스를 제공하는 시나리오를 가정해 보면, 차량이 이동함에 따라 사용자 단말은 기존의 메시 라우터와의 연결이 끊기면 새로운 메시 라우터를 탐색하여 연결하는 과정을 반복하게 된다. 이때 버스를 이용하는 다수의 사용자 단말들이 한꺼번에 이동을 하게 되면 다수의 사용자 단말들은 한꺼번에 새로운 메시 라우터를 찾고, 접속하게 된다. 그리고 이에 따른 컨트롤 메시지 오버헤드가 발생한다. 기존에 이 문제를 해결하기 위해서 NEMO가 제안되었다. 하지만 NEMO는 이동하는 네트워크로 패킷을 전송할 때 항상 홈 에이전트를 통해서 전달된다. 그렇기 때문에 네트워크의 이동이 많아질수록 패킷 전달의 경로가 길어지고, 이로 인해 패킷 전송 지연이 발생한다. 그래서 본 논문에서는 NEMO와 달리 라우팅 기술을 활용하여 문제를 해결한다.

본 논문에서는 이러한 사용자 단말의 오버헤드를 줄이기 위해서 차량에 메시 라우터를 장착하고 이 메시 라우터에 사용자 단말이 접속하는 상황을 가정한다. 차량에 장착된 메시 라우터의 이동을 지원하기 위해 기존의 무선 메시 네트워크 연구에서 고려되지 않았던 이동성에 대한 고려가 필요하게 된다. 이때의 이동성은 기존의 모바일 애드 혹 네트워크에서 가정된 자유분방한 노드의 이동성과는 다른 특성을 가지게 된다. 백본 네트워크를 구성하는 대부분의 메시 라우터들은 고정된 형태를 유지하게 되고, 일부 차량에 장착된 메시 라우터들만이 이동을 하는 특성을 나타낸다. 이러한 환경에서 네트워크의 성능 향상을 위해 이들 특성을 고려한 라우팅 프로토콜 및 라우팅 메트릭의 제안이 필요하다.

기존의 무선 메시 네트워크 분야에서 제안된 대표적인 라우팅 메트릭으로 ETT<sup>[3]</sup>, ETX<sup>[4]</sup>, WCETT<sup>[2]</sup> 등이 있으며, 이러한 메트릭들은 주로 링크의 품질, 노드의 부하 및 채널 사용량 등을 고려하여 링크와 경로의 품질을 평가한다. 하지만 무선 메시 라우터의 이동성이 존재할 경우 네트워크의 성능 향상을 위해 추가적으로 노드의 이동 정보 및 경로 복구에 필요한 오버헤드 등을 고려할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 이동 메시 라우터의 이동 경로 정보를 활용하여 링크 품질 뿐만 아니라 경로 유지 시간을 반영할 수 있는 라우팅 메트릭과 경로 복구 오버헤드를 줄일 수 있는 라우팅 기법을 제안한다.

본 논문에서 제안된 라우팅 메트릭은 GPS 네비게이션 시스템의 이동 경로 정보 또는 버스 노선과 같이 미리 설정된 차량 이동 경로 정보를 기반으로 메시 라우터 간에 형성된 멀티 홉 라우팅 경로의 경로 유지 시간과 해당 경로의 복구에 필요한 오버헤드를 예측하여 이를 라우팅 메트릭에 반영한다. 제안된 라우팅 메트릭을 통해 이동 메시 라우터와 인터넷 게이트웨이 간의 멀티 홉 라우팅 경로를 탐색하고, 노드의 이동으로 인한 링크 단절이 발생하면 부분 경로 복구 기법과 경로 재탐색 기법을 활용하여 단절된 경로를 복구한다.

2장 관련 연구에서는 무선 메시 네트워크와 기존의 라우팅 메트릭에 관해서 기술한다. 3장에서는 제안하는 라우팅 메트릭에 적합한 네트워크 모델과 가정 사항에 대해서 설명하며 4장과 5장에서는 각각 제안하는 라우팅 메트릭과 라우팅 프로토콜을 설명한다. 6장에서는 시뮬레이션 결과를 제시하며 분석하고, 마지막으로 7장에서는 결론을 맺는다.

## II. 관련연구

### 2.1 무선 메시 네트워크에서의 사용자 단말의 이동성

무선 메시 네트워크 기술을 활용하면 기존의 유선 네트워크 대비 효율적이고 경제적으로 백본망을 구성하여 사용자 단말들에게 네트워크 접속 서비스를 제공할 수 있다. 일반적으로 무선 메시 네트워크는 메시 라우터와 메시 사용자 단말로 구성된다. 메시 라우터들은 고정된 형태로 설치되고, 멀티 홉 네트워크 기술을 기반으로 메시 라우터들로 구성된 자가망을 형성하여 사용자 단말들에게 네트워크 접속 서비스를 제공한다. 특히, 메시 라우터들 중 외부 네트워크와 연결되어 무선 메시 네트워크와 연결을 제공하는 노

드를 인터넷 게이트웨이라 지칭한다<sup>5,6)</sup>.

최근 들어 휴대용 무선 단말기 기술의 발달에 따라 스마트폰, PDA 등의 휴대용 사용자 단말의 보급과 활용이 폭발적으로 증가하고 있다. 따라서 무선 메쉬 네트워크를 활용하여 이들 사용자 단말에게 효율적으로 양질의 네트워크 접속 서비스를 제공하는 것에 대한 연구의 중요성이 증가하고 있다. 고정된 형태의 메쉬 라우터들과는 달리 휴대용 사용자 단말들은 자유롭게 이동이 가능하며, 특히 이러한 휴대용 단말들은 사용자들이 버스, 전철, 지하철 등의 대중교통의 탑승 또는 대기 시간 중에 그 활용도가 높게 나타난다. 하지만, 현재까지의 대부분의 무선 메쉬 네트워크 관련 연구는 네트워크 성능 향상을 위해 메쉬 라우터간의 라우팅, MAC 등과 관련된 분야에 집중되어 왔으며, 이동 중인 사용자 단말을 지원하기 위한 연구에 대해서는 많은 연구가 필요한 상황이다.

무선 메쉬 네트워크를 통해 네트워크 접속 서비스를 받고 있는 사용자 단말이 대중교통을 이용해 이동하는 상황을 가정하면, 차량의 이동에 따라 메쉬 라우터와 사용자 단말간의 잦은 링크 단절이 발생하고 그로 인해 사용자 단말에 신뢰성 있는 서비스 제공이 어렵게 된다. 또한 기존의 무선 메쉬 네트워크에서 사용자 단말의 이동을 지원하기 위해서 Mobile IP<sup>8)</sup>, Proxy MIP<sup>9)</sup>와 같은 기술이 개발되었다. 이 기술들은 홈 에이전트를 통해 패킷 전달을 함으로써 사용자 단말의 이동성을 지원한다. 그러나 차량의 이동에 따라 패킷 전달의 경로가 길어지는 단점이 발생하고 이로 인해 패킷 전송 지연 시간의 증가와 링크 오류에 대한 민감성 증가의 문제가 발생한다.

따라서 본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크를 활용하여 차량을 통해 이동 중인 사용자 단말들에게 효율적으로 네트워크 접속 서비스를 제공하기 위해서 Mobile IP나 Proxy MIP와는 다르게 새로운 메쉬 네트워크 모델 및 관련 기술을 제안한다.

## 2.2 무선 메쉬 네트워크의 라우팅 메트릭

무선 메쉬 네트워크에서의 멀티 홉 경로 탐색은 라우팅 알고리즘과 라우팅 프로토콜이 참조하는 라우팅 메트릭을 통해 이루어진다. 기존의 많은 연구에서는 무선 메쉬 네트워크상에서 라우터들 간의 최적 경로를 찾기 위한 연구를 진행되어 왔다. 그 대표적인 라우팅 메트릭들로 경로의 홉 수를 기반으로 하는 Hop Count 방식, 경로를 구성하는 노드들 간 링크 성능 측정을 기반으로 하는 ETX, ETT 등이 있다. 또한 멀티 채널의 특성을 고려한 WCETT와 같은 라우팅 메트릭

도 제안되었다.

가장 단순한 모델인 Hop Count 방식은 소스 라우터에서 데스티네이션 라우터(목적지 라우터)까지의 최소 홉 수를 경로 선택 기준으로 결정한다. 이 방식은 소스 라우터에서 데스티네이션 라우터(목적지 라우터)까지의 경로 계산이 다른 메트릭에 비해 매우 간단하여 DSR, AODV 등 대부분의 라우팅 알고리즘에서 이용한다. 그러나 이 방식은 노드 간의 패킷 손실이나 가용 대역폭 등을 고려하지 않은 단점을 가지고 있다.

ETX 링크 비용 계산 방식에서는 한 링크 상에서 성공적으로 패킷을 전송하기 위해 실제 패킷을 전송해야 하는 기대 값을 계산한다. 즉, 패킷의 손실률이 높은 링크는 하나의 패킷을 성공적으로 전송하기 위해 실제로 전송하는 횟수가 증가하게 되어 링크 비용이 증가하게 된다. 그 측정 방법으로 각 노드들은 이웃한 노드들과 Hello 패킷을 주고받으며, Hello 패킷의 전송 성공률을 측정 후 각 링크의 전송 성공률을 측정한다. 링크 상에서 패킷 전송이 성공적으로 이루어지기 위해서는 패킷의 전송과 그에 대한 ACK 수신 이 완료되어야 한다. 따라서 ETX 계산식에서는 해당 링크의 송수신 전송 성공률을 반영하여 그 값을 계산하게 된다. 해당 링크의 ETX 값은 아래와 같이 계산할 수 있다. 아래 식에서 송신 성공률은  $d_f$ 이고 수신 성공률은  $d_r$ 이다.

$$ETX = \frac{1}{d_f \cdot d_r}$$

ETT는 ETX 방식을 개선한 메트릭으로써 링크의 대역폭과 패킷 크기를 반영하여 전송 기대 시간을 계산하는 방식이다. 또한 ETX에 전송 속도를 곱하여 구해진 메트릭으로 하나의 패킷을 성공적으로 보내기 위해 필요한 시간을 의미한다. 여기서 S는 데이터 패킷의 사이즈이고 B는 링크의 데이터 전송 속도이다. ETT는 전송 속도를 반영함으로써 ETX 보다 좀 더 정확한 전송 품질을 나타내고 있다.

$$ETT = ETX * \frac{S}{B}$$

WCETT는 ETT 링크 메트릭을 기반으로 채널 사용량을 고려하여 경로 비용을 계산하기 위해 제안되었다. 경로 비용 측정을 위해 경로를 구성하는 링크의 ETT의 합과 링크들이 사용하는 채널 중 가장 많은

ETT 합을 가진 채널의 ETT 합을 이용한다. 따라서, 여러 경로들 중 경로 전체의 ETT 합이 동일하더라도 상대적으로 특정 채널을 많이 사용하는 경로의 경우 전체 WCETT 비용이 상대적으로 증가하는 결과를 얻게 된다. 아래의 수식은 경로의 WCETT 비용을 측정하는 식으로써  $\max X_j$ 는 k개의 채널 중에서 채널의 사용량이 가장 많은 채널 j를 사용하는 링크들의 ETT 총합을 뜻한다. 그리고  $\beta$ 는 0과 1사이의 값으로 수정 가능하다.

$$WCETT = (1 - \beta) \sum_{i=1}^N ETT_i + \beta \max_{1 \leq j \leq K} X_j$$

기존에 제안된 라우팅 메트릭들에서 알 수 있듯이, 이들 메트릭의 정의에 따라 라우팅 프로토콜을 통해 선택되는 경로들의 성향을 조절할 수 있다. 따라서 본 논문에서도 차량의 이동에 따른 효율적인 경로 선택을 위해 차량의 이동과 관련된 정보를 라우팅 메트릭에 접목하여 경로 선택에 활용한다.

### III. 네트워크 모델과 가정사항

본 논문에서는 이동 중인 차량 내에 위치한 사용자 단말들에 낮은 오버헤드로 효율적인 네트워크 접속을 지원하기 위해 차량에 메쉬 라우터의 장착을 가정하고, 이를 이동 메쉬 라우터(MMR, Mobile Mesh Router)라고 정의한다. 기존에 무선 메쉬 네트워크의 구성에 사용된 메쉬 라우터들과의 구분을 위해 이들 라우터는 고정 메쉬 라우터(SMR, Static Mesh Router)라 정의한다. MMR은 SMR과 동일하게 무선 메쉬 네트워크 라우팅에 참여하게 되고, 추가적으로 차량내의 사용자 단말들에게 네트워크 접속 서비스를 제공하게 된다. 본 논문에서는 차량에 GPS 장치가 설치된 것을 가정하고, MMR은 그 GPS 장치를 통해 MMR의 이동경로 정보, MMR의 위치 및 속도, 방향 등의 운행 정보 그리고 자신의 위치를 획득 할 수 있다고 가정한다. 또한 SMR도 자신의 위치를 알 수 있다고 가정한다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 MMR과 SMR로 구성된 네트워크 모델 예이다.

버스 등의 대중교통 수단은 미리 정해진 노선을 따라 이동한다고 가정하고, 미리 정해진 노선을 예상 이동 경로로 정의 한다. SMR들은 GPS 정보를 통해 MMR의 예상 이동 경로를 이용하여 MMR이 어느 시간에 어느 위치에 존재하는지 알 수 있다. 또한 SMR

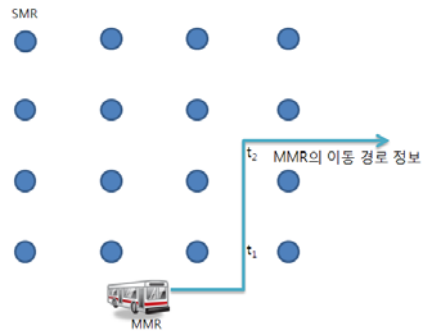


그림 1. 제안하는 네트워크 모델

은 메쉬 라우터의 전송범위와 MMR의 예상 이동 경로를 사용해서 MMR이 기존의 사용하던 라우팅 경로의 경로 유지 시간을 예상할 수 있다. 본 논문에서 경로 유지 시간은 한 번 경로를 선택했을 때 그 경로를 사용할 수 있는 시간으로 정의한다. 본 논문에서는 이 경로 유지 시간이 긴 라우팅 경로를 선택하는 것을 목표로 한다. 이 경로를 선택함으로써 전체 네트워크 안에서 모바일 메쉬 라우터의 이동에 따라 발생하는 링크 단절의 횟수를 줄일 수 있다. 링크 단절의 횟수가 줄게 되면 새로운 라우팅 경로를 찾아야 하는 오버헤드를 줄일 수 있다. 따라서 전체적인 네트워크의 성능 향상을 할 수 있다.

### IV. MMR의 이동 경로를 고려하는 라우팅 메트릭

이 장에서는 MMR의 예상 이동 경로를 고려하는 라우팅 메트릭을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 메트릭은 ETT-TR (Expected Transmission Time with TRajjectory information)로 부른다. ETT-TR은 그림 1과 같은 환경일 때, 즉 고정된 라우터인 SMR과 이동 메쉬 라우터인 MMR로 이루어진 네트워크가 구축되어 있을 때 이동 메쉬 라우터의 이동성과 예상 이동경로 그리고 링크 품질을 이용하여 경로 유지 시간이 긴 라우팅 경로를 선택하고, 또한 이동 메쉬 라우터의 이동으로 링크 단절이 발생했을 때, 경로 복구에 대한 비용을 줄이는 것이 목표이다.

#### 4.1 경로 유지 시간이 긴 라우팅 경로와 선행 노드

본 절에서는 기준이 되는 라우팅 메트릭에 따라 인터넷 게이트웨이와 MMR 간에 선택될 수 있는 경로와 해당 경로의 홉 수와 경로 유지 시간에 대해 기술한다. 그림 2는 인터넷 게이트웨이와 MMR 간에 나타날 수 있는 다양한 경로들의 경우를 나타낸다. 이때,

MMR의 이동 경로와 경로에 속한 매쉬 라우터들의 위치에 따라 각 경로의 경로 유지 시간 및 경로복구에 요구되는 오버헤드가 달라진다.

그림 2에서 Route (a),(b)와 같은 경로는 최소 홉 기반의 메트릭을 사용하면 선택될 수 있다. 그리고 Route (c),(d)의 경우는 경로 유지 시간을 고려했을 때 선택될 수 있는 경로이다. Route (a),(b)는 경로는 최소 홉을 가졌지만 Route(c),(d)에 비해 MMR의 이동에 따라 링크 단절이 빨리 발생한다. 그 이유로 Route (c),(d)는 최소 홉을 가지는 경로는 아니지만 Route (a),(b)에 비해 경로 유지 시간이 길기 때문이다. Route (c)의 경우 MMR의 이동성과 예상 이동 경로 그리고 경로의 홉 수를 고려하였으며, 링크 단절이 발생했을 때 경로 부분 복구 기법을 사용하면 기존에 사용한 경로를 활용하기 때문에 경로 복구 시간을 줄일 수 있다. Route (d)의 경우는 MMR의 이동성과 예상 이동 경로만 고려하여 선택된 라우팅 경로이다. Route (d)는 Route (c)와 같이 경로 유지 시간이 긴 경로이다. 하지만 경로의 홉수를 고려하지 않았기 때문에 인터넷 게이트웨이에서 MMR까지 경로의 홉 수가 많아진다. 그래서 송신노드와 MMR사이의 전송 지연이 발생함으로써 전체 전송물이 앞의 Route (a),(b),(c)보다 떨어진다.

예를 들어 Route (a)와 Route (b)는 MMR가  $t_1$  위치로 이동했을 때, 링크 단절이 발생한다. 하지만 Route (c)와 Route (d)의 경우는 MMR가  $t_2$ 로 이동을 해야지만 링크 단절이 발생한다. 이렇게 Route (c)와 Route (d)는 Route(a),(b)보다 홉 수는 많지만 경로 유지 시간이 긴 경로인 것을 알 수 있다. 그리고 Route (d)는 Route (c)와 경로 유지 시간은 같지만 경로의 홉 수가 많아진다. 그럼으로 Route (a),(b),(d)는 제안한 네트워크 모델에서는 적합하지 않은 경로인 것이다.

본 논문에서 제안한 네트워크 모델에 적합한 라우팅 경로는 송신 노드와 MMR간의 라우팅 경로의 홉

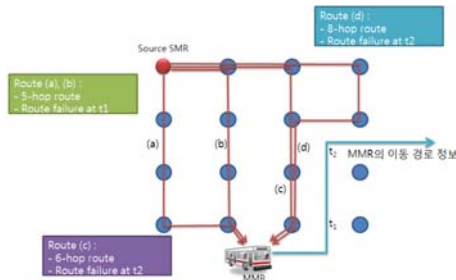


그림 2. 인터넷 게이트웨이와 MMR 간에 나타날 수 있는 다양한 경로

수가 적으면서도 라우팅 경로의 경로 유지 시간이 길고, 경로 복구에 대한 오버헤드가 적은 경로이다. 즉 Route (c)가 본 논문에서 원하는 라우팅 경로라고 할 수 있다.

본 논문에서는 Route (c) 같은 경로 유지 시간이 긴 라우팅 경로를 선정하기 위해서는 선행 노드를 정의한다. 그림 3에서 보면, 가정에 따라 MMR은 예상 이동 경로를 따라 이동하게 되며, 이 때 이 예상 이동 경로를 기준으로 양 쪽으로 노드의 전송범위를 선행 노드 존(zone)이라고 정의 한다. 그리고 선행 노드 존 내에 위치하는 SMR들을 선행 노드라고 정의한다. 가정에 따라 SMR들은 자신의 위치와 MMR의 예상 이동 정보를 알고 있으며, 이를 활용해 자신이 선행 노드인지 여부를 판단하게 된다.

선행노드를 포함한 경로는 그렇지 않은 경로에 비해 경로 유지 시간이 길어지게 되며, 링크 단절이 발생 시 경로 부분 복구 (local repair)기법을 활용하여 경로 복구에 대한 오버헤드를 줄일 수 있다. 따라서 전체 네트워크의 성능향상에 기여할 수 있다. 이 때문에 ETT-TR 라우팅 메트릭은 라우팅 경로 선정 시 선행 노드를 포함한 경로에 가중치를 부여하여 선행 노드가 포함된 경로가 경로로 선택될 수 있도록 제안 되었다.

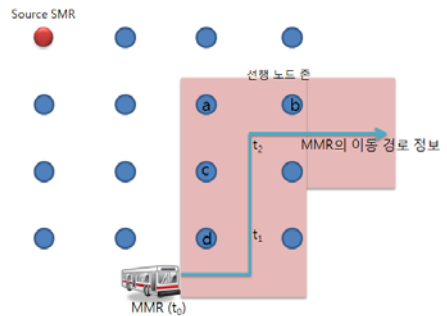


그림 3. 선행 노드의 정의

#### 4.2 라우팅 메트릭(ETT-TR)

본 논문에서 제안하는 라우팅 메트릭인 ETT-TR은 링크 품질이 좋고, 라우팅 경로의 경로 유지 시간이 긴 경로 이면서 경로 단절이 발생했을 때 경로 복구에 대한 오버헤드를 줄일 수 있는 경로를 선택하는 것을 목표로 한다. 이런 경로를 선택하기 위해 링크의 품질을 알 수 있는 ETT 값과 선행 노드에 대한 가중치를 사용한다. 제안하는 메트릭은 기존의 ETT처럼 종단간의 ETT 총합을 사용하여 경로를 선택함으로써 경로 상의 링크 품질을 고려할 수 있다. 그리고 선행 노드

에 대한 가중치를 고려함으로써 MMR의 예상 이동 경로를 이용할 수 있으며, 링크 단절이 발생했을 때 경로 복구에 대한 오버헤드를 줄일 수 있어서 전체 네트워크 성능을 향상시킨다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 메트릭은 다음과 같이 계산된다.

$$ETT - TR = (1 - \beta) * \sum_{i \in \text{라우팅 경로의 링크들}} ETT_i + \beta * TR$$

ETT-TR 값은 경로 상에 패킷 전송을 위해 필요로 하는 ETT 값과 경로상의 선행 노드를 고려한 추가 비용의 합으로 구성된다. 선행 노드를 고려한 추가비용 TR은 아래와 같이 정의된다. 여기서  $\beta$ 는 0과 1사이의 값으로 수정 가능하다.

$$TR = \sum_{i \in \text{라우팅 경로의 링크들}} ETT_i - \sum_{j \in \text{MMR 또는 선행노드가 포함되는 링크들}} ETT_j$$

TR에서  $\sum ETT_i$ 는 경로상의 링크의 ETT 값의 합이고  $\sum ETT_j$ 는 MMR 또는 선행노드가 포함된 링크의 ETT 합이다. 이에 따라 경로 상에 포함되는 선행 노드의 수가 증가하는 경우 전체 TR 값은 감소하게 된다. 따라서 동일한 ETT 값을 가진 여러 라우팅 경로들을 비교하는 경우 많은 수의 선행노드를 포함한 경로가 그 이외의 경로에 비해 전체 경로 비용이 적어지게 되어 실제 트래픽을 주고받을 최종 경로로 선택되게 된다. 이를 통해 상대적으로 좋은 링크 품질을 제공하며 유지시간이 길고, 경로 복구 오버헤드를 줄일 수 있는 경로를 선택할 수 있게 된다.

### V. 라우팅 메트릭을 이용한 라우팅 알고리즘

이 장에서는 본 논문에서 제안한 ETT-TR을 기반으로 경로 탐색을 하는 방법에 대해서 기술한다. 여기서는 라우팅 알고리즘은 AODV의 동작을 확장한다. 그림 4에서는 제안된 프로토콜을 이용한 경로 탐색의 예를 보여준다. 그림 4와 같이 네트워크 토폴로지가 구성되어 있고 모든 노드들은 GPS를 통해 MMR의 위치와 예상 이동 경로를 알고 있다. 그리고 모든 노드들은 주기적인 Hello 메시지를 통해 자신의 원 이웃에게 자신의 정보를 알린다. 그리고 이 Hello 메시지를 통해 링크의 품질을 계산하고, 경로 단절이 발생했을 때 경로 복구를 어떤 방법으로 사용할지 결정

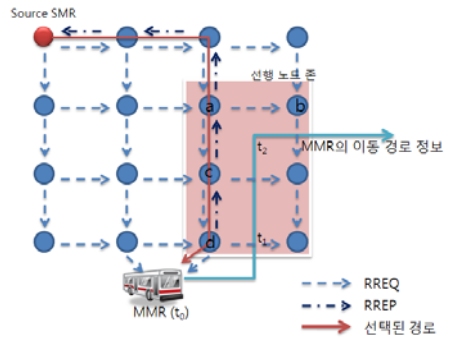


그림 4. 경로 탐색의 예

하게 된다. 또한 AODV 라우팅 프로토콜에서 사용되는 라우팅 패킷에는 RREQ(Route Request), RREP(Route Reply), RERR(Route Error)가 있으며, 이들은 라우팅 경로를 설정하고 유지하는데 사용된다. 여기서 본 논문에서는 ETT-TR 메트릭을 적용하고, 링크 단절이 발생했을 때 경로 재탐색과 경로 부분 복구를 상황에 맞게 사용하여 전체 네트워크의 성능을 높인다.

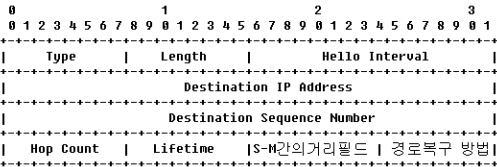
#### 5.1 경로 탐색

ETT-TR을 활용한 경로 탐색은 AODV와 같은 온디맨드 (on-demand) 라우팅 기법에 기반 하여, 경로가 필요한 시점에 송신 노드와 목적지 노드 사이의 RREQ (route request), RREP (route reply) 메시지 교환을 통해 경로를 탐색하게 된다. 기존의 라우팅 프로토콜에서 ETT-TR 값을 활용하기 위해 RREQ을 자신의 원 이웃으로 브로드 캐스트 한다. 이때 그림 5와 같이 라우팅 테이블과 RREQ 헤더에는 Metric cost, 첫 번째 선행 노드의 주소 등의 추가적인 필드가 필요하다. 여기서 첫 번째 선행 노드의 주소는 RREQ가 전파되는 과정에서 선행노드 존에 속하는 첫 번째 선행 노드의 주소가 저장된다. 이 필드의 저장된 선행 노드가 이후에 경로 부분 복구과정을 수행하게 된다. 그리고 Metric cost 필드는 ETT-TR값이 계산되어 저장된다. RREQ를 받은 SMR는 자신이 선행노드인지 아닌지를 판단한다. 만약 선행 노드가 아니라면 ETT-TR를 계산하여 라우팅 테이블에 엔트리를 추가하고, RREQ의 Metric cost 필드를 저장한 후 재 브로드캐스트를 한다. 만약 선행 노드라면 자신이 이 경로 상에서 자신이 첫 번째 선행 노드인지를 판단하게 된다. 이때 첫 번째 선행 노드라면 라우팅 테이블의 관련 엔트리의 첫 번째 선행 노드 주소와 RREQ의 선행 노드 주소 필드에 자신의 주소를 저장하고 ETT값에서 경로 부분 복구\_이득을 뺀 값을 RREQ의 Metric





(a) RREQ 메시지 포맷



(b) Hello 메시지 포맷

Destination IP Address	Destination Sequence Number	Hop Count	Next Hop	Metric Cost	첫 번째 선행 노드의 주소
...	...	...	...	...	...

(c) 라우팅 테이블 포맷

그림 5. RREQ와 Hello 메시지 포맷과 라우팅 테이블 포맷

cost 필드에 저장한 후 재 브로드캐스트하게 된다. 만약 첫 번째 선행 노드가 아니라면 선행 노드 주소를 저장하지 않고 ETT-TR값만 계산한 후 재 브로드캐스트 하게 된다. 이런 과정을 통해 MMR이 RREQ를 받게 되면 ETT-TR값이 가장 낮은 경로를 통해 유니캐스트로 RREP를 송신 SMR까지 전송하게 된다. 이후 이 경로를 데이터 전송에 사용한다. 이 경로를 사용함으로써 라우팅 경로의 경로 유지 시간이 길어지고, 경로 복구를 할 때 기존의 경로를 이용할 수 있으므로 전체적인 네트워크의 성능을 높일 수 있다.

5.2 경로 유지와 경로 복구

본 절에서는 주기적인 Hello 메시지를 통한 경로 유지 방법과 경로 단절이 발생했을 때 경로를 복구하기 위한 방법을 설명한다. 본 논문에서는 주기적인 Hello 메시지를 통해서 노드 간의 경로가 유효함을 알린다. 모든 노드들은 Hello 메시지를 통해 링크 품질을 측정한다. 그리고 Hello 메시지의 정보를 기반으로 라우팅 테이블을 관리한다. 그림 6은 경로 유지 과정을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 또한 Hello 메시지

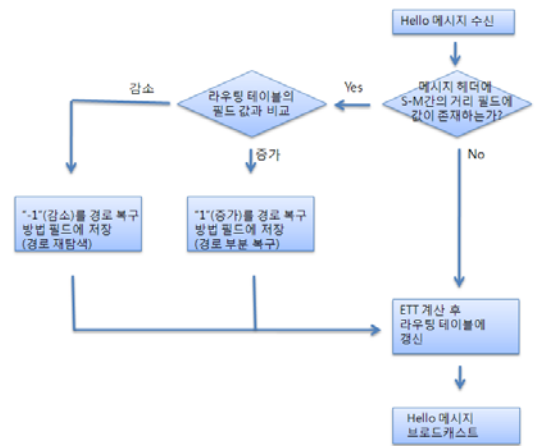


그림 6. 경로 유지 과정

를 통해 링크 단절 발생을 알 수 있다. 링크 단절이 발생하면 경로를 복구하기 위해 RERR 메시지를 사용한다. 이 RERR 메시지를 받은 송신 노드나 첫 번째 선행 노드는 경로 탐색방법을 이용해서 목적지 노드까지의 새로운 라우팅 경로를 탐색한다. 이 과정은 그림 7과 같다.

본 논문에서 경로 유지와 경로 복구를 하기 위해 MMR은 Hello 메시지에 2개의 추가적인 필드를 사용한다. 그림 5의 Hello 메시지 포맷은 추가되는 필드를 나타낸다. 여기서 추가되는 첫 번째 필드는 S-M간의 거리 필드로서 송신 SMR와 MMR의 직선거리를 저장한다. 이 정보는 GPS를 통해 얻을 수 있다. 두 번째 필드는 경로복구방법 필드로 라우팅 테이블에 저장된 S-M간의 거리 필드의 값과 새롭게 받은 Hello 메시지의 S-M간의 거리 필드 값을 비교하여 저장한다. 또한 이 정보들은 라우팅 테이블에 관련 엔트리에 저장된다. 이 라우팅 테이블의 두 개의 필드를 이용하여 경로 단절이 생겼을 때 경로 재탐색을 사용할지 경로 부분 복구를 사용할지 판단한다. 경로복구방법 필드의 경우 S-M간의 거리 필드를 참조하는데 이전에 저장된 거

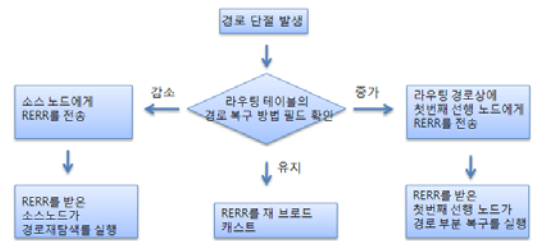


그림 7. 경로 단절로 인한 복구 과정

리 보다 새롭게 받은 거리가 짧다면 “-1”을 저장하고 경로 재탐색을 한다. 이를 “감소”라고 정의한다. 그리고 거리가 늘었다면 “1”을 저장하여 경로 부분 복구를 하게 한다. 이는 “증가”라고 정의한다. 또한 다른 SMR의 경우 송신 SMR과 MMR의 거리를 알 수 없기 때문에 “0”을 저장하고 이에 따른 특별한 동작을 하지 않는다. 이를 “유지”라고 정의한다. 여기에서 “감소”는 송신 SMR과 MMR 사이의 거리가 가까워졌다는 것으로 현재 사용 중인 라우팅 경로보다 더 적은 홉 수로 라우팅 경로를 설정할 수 있다. 그래서 이때 경로 단절이 발생하면 경로 재탐색을 사용한다. 경로 재탐색은 송신 SMR에서부터 MMR까지 새로운 경로를 찾게 하는 것으로 경로 부분 복구를 했을 때보다 좋은 라우팅 경로를 가질 수 있다. 이와 반대로 “증가”는 송신 SMR과 MMR 사이의 거리가 멀어진다는 것으로, 경로 부분 복구를 사용한다. 경로 부분 복구는 현재의 라우팅 경로를 유지하면서 경로 복구를 하는 방법이다. 그래서 송신 SMR에서 MMR까지 경로 재탐색을 하는 것보다 경로 부분 복구를 사용하는 것이 빠른 시간에 경로를 복구 할 수 있다. 그래서 컨트롤 메시지의 오버헤드와 이로 인한 중단간의 전송 지연을 줄일 수 있다. 이런 방법으로 Hello 메시지를 받은 노드들은 자신의 라우팅 테이블에 MMR에 대한 정보를 갱신한다. 이후 경로 단절이 발생하면 이 라우팅 테이블의 정보를 기반으로 경로 재탐색을 할지 경로 부분 복구를 사용할지 판단하게 된다.

여기서는 경로 복구 과정에 대해 설명 한다. 제안하는 네트워크 모델의 경우 MMR의 이동으로 인해서 경로 단절이 발생한다. 경로 단절이 발생하면 경로 단절이 발생한 링크의 상위 SMR이 RERR를 발생시키게 된다. 이때 이 상위 SMR은 자신의 라우팅 테이블에서 엔트리의 경로복구방법 필드를 확인한다. 만약 이 필드의 값이 “감소”, 즉 송신 SMR과 MMR 사이의 거리가 짧아 질 경우이면 상위 SMR은 송신 SMR까지 RERR를 전송하여 송신 SMR에서부터 MMR까지의 경로를 새롭게 구성하기 위해 경로 재탐색을 사용한다. 그리고 필드의 값이 “증가”인 경우, 즉 송신 SMR과 MMR 사이의 거리가 길어 질 경우에는 경로 부분 복구를 사용하여 경로를 복구한다. 이때 상위 SMR은 자신의 라우팅 테이블의 엔트리에서 첫 번째 선행 노드 주소를 확인한다. 이 첫 번째 선행 노드 주소를 RERR필드에 도착지 주소로 추가하여 RERR를 브로드캐스트 한다. RERR를 받은 SMR이 첫 번째 선행 노드 주소에 속하는 SMR이 아니라면 RERR를 재 브로드캐스트한다. 만약 첫 번째 선행 노드 주소에 속

하는 SMR이라면 송신 SMR부터 자신까지의 라우팅 경로를 유지한 채로 RREQ를 브로드캐스트 하여 MMR까지의 경로를 찾게 된다.

그림 8은 경로 복구 과정의 예를 설명한 것이다. MMR이 t0에서 t2로 이동함에 따라 t2지점에서 링크 단절이 발생한다. 이때 링크 단절이 발생한 상위 노드인 d노드는 자신의 라우팅 테이블의 엔트리를 확인한다. 이때 경로복구방법 필드의 값이 “감소”를 나타내게 되는데 이 이유는 t0에 비해 링크 단절이 발생한 t2의 위치가 송신 SMR에 더 가깝기 때문이다. 이 필드의 값이 “감소”이면 경로재탐색을 사용하게 된다. 그래서 d노드는 RERR를 생성해서 송신 SMR까지 브로드캐스트 하게 된다. RERR를 받은 송신 SMR은 MMR까지 새롭게 경로를 재탐색하기위해 RREQ를 생성해서 플러딩한다. 이 RREQ를 받은 MMR은 ETT-TR값이 가장 적은 경로를 통하여 RREP를 전송하여 경로를 복구하게 된다. 그림 8에서는 송신 SMR → .. → a → MMR의 경로를 가지게 된다. 이 경우는 경로 복구에 드는 시간이 경로 부분 복구 보다는 많이 들지만 경로유지시간이 긴 경로를 선택할 수 있다. 다른 한편 MMR이 t2에서 t3로 이동했을 때 또 다시 경로 단절이 발생한다. 이 때 링크 단절이 발생한 상위 노드는 a노드가 된다. 이때 a노드는 자신의 라우팅 테이블의 엔트리를 확인하게 되는데 이때 경로복구방법 필드의 값은 “증가”이 된다. 이 이유는 t2에 비해 t3의 위치가 송신 SMR에 더 멀기 때문이다. 이 경우 경로 복구를 하기위해서 경로 부분 복구를 사용하게 된다. 경로 부분 복구를 하기 위해서 a노드는 자신의 라우팅 테이블의 엔트리에서 선행 노드 주소를 확인하게 되는데 이 시나리오에서는 첫 번째 선행 노드의 주소는 a이기 때문에 a노드가 MMR까지의 경로를 복구하기 위해서 RREQ를 생성해서 브로드캐스트하게 된다. 이

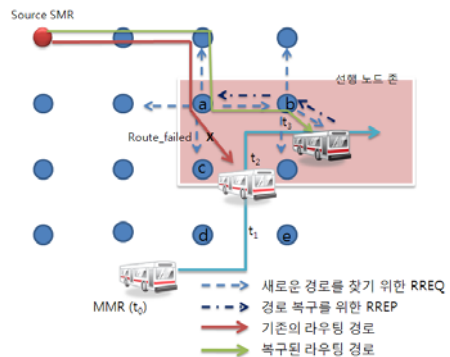


그림 8. 경로 부분 복구 기법을 사용했을 때 경로 복구



RREQ를 받은 b노드는 자신이 MMR이 아니기 때문에 재 브로드캐스트 하게 된다. b노드로부터 RREQ를 받은 MMR은 RREP를 전송하여 경로를 복구하게 된다. 그림 8에서는 송신 SMR → ... → a → b → MMR의 경로를 가지게 된다. 이 방법을 사용하게 되면 경로 복구에 드는 시간이 줄어들기 때문에 전체 네트워크의 성능이 향상된다.

### VI. 성능 평가

본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하고 비교하기 위해 NS-2 시뮬레이터를 사용하였다. 기존의 AODV 프로토콜과 경로 부분 복구 프로토콜을 사용했을 때 그리고 제안한 라우팅 프로토콜까지 세 가지의 프로토콜을 비교하였다.

시뮬레이션 환경은 노드의 배치는 그리드 형태의 10 X 10으로 구성되어 총 100개의 노드로 실험 하였다. 이 중 도착지 노드는 이동을 하는 MMR로 구성하였으며, 이 MMR의 이동 속도를 20(m/s)에서 40(m/s)까지 5씩 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다./이 MMR의 이동 속도를 10(m/s)에서 40(m/s)까지 5씩 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 MMR의 이동은 정해진 경로에 따라 움직이게 하였다. 데이터 트래픽은 소스 노드에서 도착지 노드로 주기적으로 전송한다.

각 라우팅 기법들이 탐색하는 경로의 특성을 분석하기 위해 라우팅 경로의 변경 횟수 및 라우팅 경로의 홉 수를 비교하였다. 그리고 라우팅 기법들의 성능을 비교하기 위해 송신노드와 목적지노드 사이의 처리율(throughput)과 패킷의 종단간 지연시간을 측정하였다.

#### 4.1 라우팅 경로의 평균 홉 수와 경로 탐색 횟수 분석

ETT-TR기반 경로탐색과 경로 부분 복구 기법 사용 및 미사용 AODV에 따라 탐색되는 경로의 특성을 분석하기 위해 경로의 평균 홉 수와 경로 탐색 횟수를 비교하였다. 라우팅 경로의 평균 홉 수는 실험 시간 동안의 송신노드인 게이트웨이와 목적지 노드인 MMR 간의 경로의 평균 홉 수를 나타낸 값이다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 MMR의 이동 속도가 증가함에 따라 세 개의 기법들의 평균 홉 수는 증가하고 있다. 특히, 경로 부분 복구 사용 AODV의 경우는 다른 두 기법에 비해 평균 홉 수와 그 상승률이 크게 나타남을 알 수 있다. 제안된 ETT-TR 기반 라우팅과 경로부분 복구 미사용 AODV의 경우 평균 홉 수가 약 7홉에서

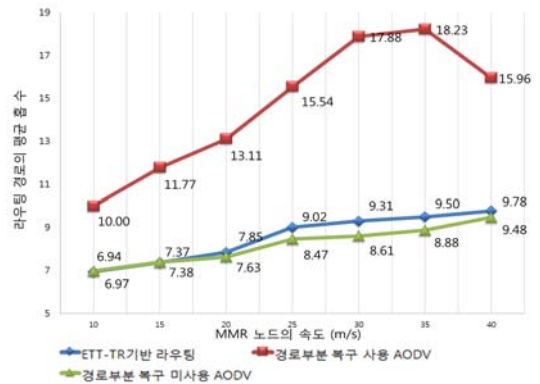


그림 9. 라우팅 경로의 길이 비교

10홉까지 나타나는데 반해, 경로부분 복구 사용 AODV의 경우 약 10홉에서 18홉 까지 나타내었다. 경로 부분 복구 사용 AODV는 MMR의 이동으로 인해 경로가 소실되면 기존의 라우팅 경로를 연장하여 경로복구를 수행한다. 라우팅 경로의 평균 홉 수는 시뮬레이션 시간 동안에 라우팅 경로의 홉 수를 나타낸 값이다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 MMR의 이동 속도가 증가함에 따라 세 개의 프로토콜들의 평균 홉 수는 증가하고 있다. 또한 경로 부분 복구 프로토콜의 경우는 다른 두 프로토콜의 비해 증가 폭이 커짐을 알 수 있다. 이 이유는 MMR의 이동에 따라 경로가 깨지면 경로복구를 위해 기존의 라우팅 경로를 유지하여 경로 부분 복구 기법을 사용하기 때문에 라우팅 경로의 홉 수가 증가한다. 그에 반해 AODV의 경우는 경로가 깨어지면 소스 노드로부터 MMR까지의 새로운 경로를 찾는 작업을 하기 때문에 라우팅 홉 수의 증가 폭이 적음을 알 수 있다. 제안한 프로토콜은 경로 복구를 하기 위해 경로 부분 복구 기법과 경로 재탐색 기법을 혼합하여 사용함으로써 기존의 AODV보다는 평균 홉 수가 크지만 경로 부분 복구 프로토콜보다는 평균 홉 수가 적은 결과를 나타낸다.

이로 인해 MMR의 이동에 따라 송신노드와 목적지 노드간의 경로의 홉 수가 지속적으로 증가하게 된다. 그에 반해 경로부분복구 미사용 AODV의 경우는 경로가 소실되면 송신 노드로부터 MMR까지의 새로운 경로를 탐색하기 때문에 라우팅 홉 수가 경로 부분 복구 기법 대비 상대적으로 낮게 나타난다. 하지만, 새로운 경로 탐색은 송신노드와 목적지 노드 사이에서 경로 탐색 메시지가 교환 되어야 함으로 경로 부분 복구에 비해 많은 시간을 소모하게 되어 네트워크 성능 저하의 주요 원인이 되며, 이러한 결과는 처리율 비교나 종단간 지연시간 비교 결과에서 나타나게 된다. 제

안된 ETT-TR 기반 라우팅은 기존의 AODV보다는 약 1홉 정도 평균 홉 수가 크게 나타나는데, 이는 경로 유지시간을 길게 늘이기 위해 MMR의 이동 경로 상에 위치한 선행노드들을 포함하는 경로를 선택했기 때문이다. 비록 경로의 길이가 경로부분복구 미사용 AODV에서 탐색한 경로의 길이보다 일부 길게 나타날 수도 있지만, 이동 경로 상에 위치한 노드들을 선택한 덕분에 경로의 유지 시간이 길어지게 되는 효과를 얻을 수 있었다.

아래의 그림 10은 세 가지 기법들이 MMR의 이동 속도 변화에 따른 경로 탐색 횟수를 비교한 결과이다. 이를 측정함으로써 라우팅 기법의 프로토

콜 오버헤드를 비교할 수 있다. 전반적으로 MMR의 이동 속도가 증가함에 따라 잦은 경로 소실이 발생되어 경로 탐색의 횟수가 증가함을 알 수 있다.

AODV 경로 부분 복구 기법의 경우 기존에 탐색된 경로를 유지하면서 소실된 부분의 경로를 복구하기 잦은 경로복구가 빠르게 진행된다. 따라서 다른 두 기법에 비해 약 2배 정도 많은 수의 경로 변경이 발생한다. 제안된 ETT-TR 기반의 라우팅과 AODV의 경우 유사한 수의 경로 변경이 발생하는 것으로 나타나지만, ETT-TR의 경우 경로 부분 복구를 수행하며 필요한 경우에만 전체적인 경로 재탐색을 수행하기 때문에 매번 경로 재탐색을 수행하는 AODV에 비해 더 좋은 네트워크 성능을 얻을 수 있게 된다. 또한, 경로 부분복구를 미사용한 AODV는 경로 단절이 발생할 경우 전체 경로를 재탐색하기 때문에 경로 부분 복구를 사용할 수 있는 다른 두 기법에 비해 경로 복구에 상대적으로 긴 시간이 요구된다. 따라서 경로부분복구 미사용 AODV가 탐색한 경로가 유효하게 유지되는 시간이 상대적으로 짧아지게 된다. 이때, 경로를 통해

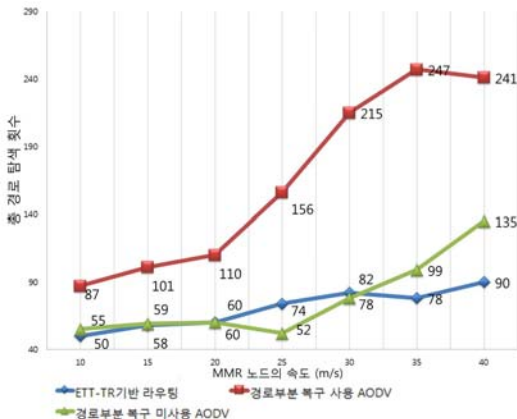


그림 10. 총 경로 탐색 횟수 비교

정상적으로 패킷이 전달되는 동안 경로 단절이 탐지되고 그에 따른 복구가 수행이 되는데, 경로부분복구 미사용 AODV의 경우 절대적인 경로의 유효시간이 짧기 때문에 경로탐색횟수 또한 낮게 나타나게 되었다.

#### 4.2 종단간 패킷전송 지연시간 분석

종단간 패킷전송 지연시간은 송신 노드에서 목적지 노드인 MMR까지 데이터 패킷이 전송되는데 소요되는 시간을 나타낸다. 이 값이 커질수록 데이터 전송에 드는 시간이 커지는 것으로 전체 네트워크 성능에 나쁜 영향을 미치게 된다. 아래의 그림 11은 세 기법들의 종단간 패킷전송 지연시간을 비교한 그림이다. MMR의 이동 속도와 관계없이 경로부분복구 미사용 AODV가 가장 긴 종단간 지연시간을 나타내었고, 제안된 ETT-TR기반의 라우팅이 가장 짧은 종단간 지연시간을 나타내었다. 경로부분복구 미사용 AODV의 경우 경로 단절 탐지 및 경로 재탐색에 소요되는 시간이 다른 기법들에 비해 상당히 길어 세 기법 중 가장 긴 종단간 지연시간을 나타내게 되었다. 반면, AODV 경로 부분 복구 기법과 ETT-TR 기반의 라우팅은 경로 부분 복구를 통해 빠른 경로 복구를 통해 경로 단절 후에도 빠르게 패킷을 전달함으로써 경로부분복구 미사용 AODV 대비 짧은 종단간 지연시간을 나타내게 된다. ETT-TR 기반 라우팅과 AODV 경로 부분 복구 기법의 비교에서, 앞서 살펴본 평균 홉 수 비교에서 알 수 있듯이 ETT-TR이 상대적으로 짧은 경로를 탐색하게 된다. 따라서 ETT-TR이 AODV 경로 부분 복구 기법에 비해 짧은 종단간 지연시간을 나타내게 되었다.

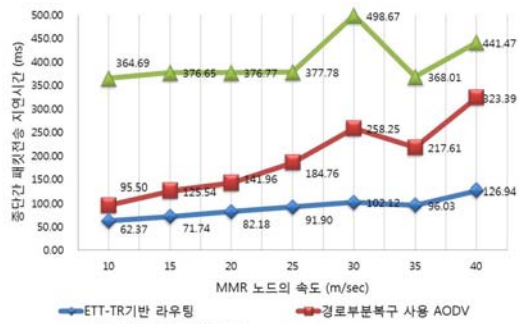


그림 11. 종단간 패킷 전송 지연시간 비교

#### 4.3 패킷 처리율 성능 분석

본 절에서는 각 기법들의 MMR 이동 속도에 따른 패킷 처리율을 비교하였다. 그림 12의 세 기법의 패킷

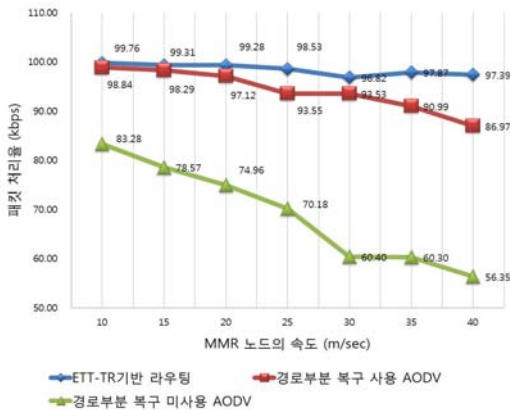


그림 12. 패킷 처리율 비교

처리율 비교에 나타나듯이 제안된 ETT-TR 기반 라우팅이 가장 우수한 패킷 처리율을 나타내었고, 경로 부분복구 미사용 AODV가 가장 낮은 패킷 처리율을 기록하였다. 전반적으로 MMR의 이동 속도가 높아짐에 따라 패킷처리율이 다소 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 그 감소율이 서로 상이하게 나타난다. 제안된 ETT-TR기반 라우팅은 MMR의 이동 속도가 10m/sec 일때 약 100 kbps 의 처리율을 기록했고, 40m/sec로 이동 속도가 증가 후에 또 그 값이 약 97 kbps의 처리율을 유지되었다. 반면 경로부분복구 사용 AODV는 10m/sec 속도에서 ETT-TR 기반 라우팅과 유사한 약 99kbps 처리율을 기록했으나 40m/sec 로 속도 증가 후 처리율이 87 kbps 까지 떨어졌음을 볼 수 있다.

이는 MMR의 속도가 빨라짐에 따라 MMR의 이동 거리가 길어져 경로부분복구를 사용한 AODV에서 비효율적인 경로 사용이 많아져 이러한 결과를 얻게 되었다. 경로부분복구 미사용 AODV의 경우 다른 두 기법에 비해 처리율이 적게는 약 20% 많게는 40%까지 감소한 것을 볼 수 있다. 또한 속도가 증가함으로써 그 차이가 커짐을 알 수 있다. 이는 경로부분복구 미사용 AODV의 경우 경로 재탐색에 소요되는 시간이 길어 MMR의 이동이 많아질수록 경로 유지시간이 짧아지게 되어 위와 같은 결과를 얻게 되었다.

### VII. 결 론

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크 기술을 활용하여 버스과 전철 등의 대중교통을 이용 중인 승객들에게 인터넷 접속 서비스 제공을 위해 노드의 이동성에 기반한 라우팅 메트릭인 ETT-TR (Expected Transmission Time with TRajjectory information)과

ETT-TR 기반의 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 ETT-TR 메트릭에서는 도로상의 고정된 SMR과 이동하는 차량에 장착된 MMR 사이의 효율적인 경로 탐색을 위해 MMR의 이동 경로 정보를 활용하여 경로의 유지시간이 길고, 빠르게 부분적으로 복구 될 수 있도록 선행노드가 포함된 경로를 선택할 수 있게 해준다. 또한, 라우팅 프로토콜에서는 경로 단절이 발생 시 경로부분복구 기법과 경로재탐색 기법을 함께 활용하여 경로 복구에 드는 오버헤드를 줄였다. 이를 통해 기존의 멀티홉 라우팅 기법에 비해 짧은 길이의 경로를 유지하면서, 더 높은 네트워크 성능을 얻을 수 있었다. 제안된 ETT-TR 기반의 라우팅의 성능을 측정하기 위하여 NS-2 시뮬레이터를 통해 실험을 수행하였으며, 그 결과 중단간 패킷전송 지연시간 및 패킷 처리율 측면에서 기존의 방법대비 우수한 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 47, pp. 445-487, 15 March 2005.
- [2] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks," *ACM MobiCom 2004*, September 2004.
- [3] S. J. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, and R. Morris, "A High- Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing," *ACM MobiCom 2003*, September 2003.
- [4] J. P. Richard Draves, Brian Zill, "Comparison of Routing Metrics for Static Multi-Hop Wireless Networks," *ACM SIGCOMM*, August 2004.
- [5] I. F. Akyildiz and X. Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks," *IEEE Commun. Mag.*, pp. S23 -S30., Sept. 2005.
- [6] Y. Yang, J. Wang, and R. Kravets, "Designing Routing Metrics for Mesh Networks," *IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks (WiMesh)*, June 2005.
- [7] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Comparison of Routing Metrics for Static Multi-Hop Wireless Networks," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* vol. 34, pp. 133-144, August

2004.

- [8] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, 2004.
- [9] Z. W. Yan, H. K. Zhang, H. C. Zhou J. F. Guan and S. D. Zhang, "Consideration of Network Mobility in PMIPv6," draft-zhang-netlmm-nemo-01.txt, 2010.

조 용 진 (YongJin Cho)

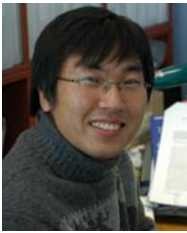
준회원



2005년 2월 경일대학교 컴퓨터 공학과 학사  
 2009년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 석사과정  
 <관심분야> 무선메쉬네트워크, 차량통신네트워크

정 흥 종 (Hong-Jong Jeong)

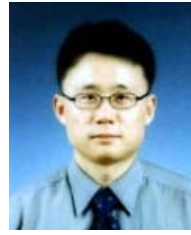
정회원



2004년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 학사  
 2006년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사  
 2006년 3월~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
 <관심분야> 컴퓨터통신, 무선 메쉬네트워크, 차량통신네트워크, 사물지능통신

김 동 균 (Dongkyun Kim)

종신회원



1994년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 학사  
 1996년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 석사  
 2001년 8월 서울대학교 전자전기컴퓨터공학부 박사  
 1999년 미국 Georgia Institute of Technology, 방문 연구원  
 2002년 미국 University of California at Santa Cruz, Post-Doc. 연구원  
 2003년 3월~현재 경북대학교 컴퓨터학부 부교수  
 <관심분야> 컴퓨터통신, 이동인터넷, 모바일 애드혹 네트워크, 센서네트워크, 무선메쉬네트워크

유 관 우 (Kwan Woo Ryu)

정회원



1980년 경북대학교 전자공학과 학사  
 1982년 한국과학기술원 전산 공학 석사  
 1990년 메릴랜드대학교 전산공학 박사  
 1982년 3월~현재 경북대학교 컴퓨터학부 교수  
 <관심분야> 컴퓨터 그래픽스, 병렬 알고리즘