

# 차량 애드혹 네트워크의 링크 단절 문제 해결을 위한 효율적인 라우팅 알고리즘

정회원 임완선\*, 김석형\*, 종신회원 서영주\*

## An Efficient Routing Algorithm for Solving the Lost Link Problem of Vehicular Ad-hoc Networks

Wan-Seon Lim\*, Sok-Hyong Kim\* *Regular Members*, Young-Joo Suh\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요약

그리디 포워딩(Greedy forwarding) 기법은 주변 노드들의 정보만을 이용해 패킷을 전달하는 기법으로, 전체 라우팅 경로를 유지해야 하는 다른 애드혹 라우팅 프로토콜에 비해 경로 유지가 쉽기 때문에 토폴로지가 자주 변하는 차량간 애드혹 네트워크에 적합한 방식이라고 할 수 있다. 그리디 포워딩 기법에서는 주기적인 비콘 전송을 통해 이웃 노드들의 위치를 획득하고, 패킷을 전달할 때 수신 노드와 가장 가까운 노드를 전달 노드로 선택한다. 이러한 그리디 포워딩의 성능을 떨어뜨리는 주요 원인 중 하나는 이웃 노드가 원래의 위치에서 벗어나면서 발생하는 링크 단절 문제이다. 본 논문에서는 그리디 포워딩 기반의 라우팅 프로토콜인 Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) 프로토콜을 바탕으로 링크 단절 문제를 해결하기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 이웃 노드의 위치와 비콘을 수신한 시간 등을 고려해 효율적이면서도 안정적인 라우팅 경로를 찾는 것을 목표로 한다. 다양한 환경에서의 실험 결과를 통해 우리는 제안하는 알고리즘이 GPSR과 기존의 연구 결과들에 비해 더 뛰어난 성능을 보이는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Vehicular ad-hoc network, Greedy forwarding, Routing

### ABSTRACT

A greedy forwarding algorithm is one of the most suitable solutions for routing in vehicular ad-hoc networks. Compared to conventional routing protocols for mobile ad-hoc networks, greedy forwarding based routing protocols maintain only local information of neighbors instead of per-destination routing entries, and thus they show better performance in highly-mobile vehicular ad-hoc networks. With greedy forwarding, each node learns its geographical position and periodically broadcasts a beacon message including its position information. Based on the position information, each node selects a neighbor node located closest to the destination node as the next forwarder. One of the most serious problems in greedy forwarding is the lost link problem due to the mobility of nodes. In this paper, we propose a new algorithm to reduce the lost link problem. The proposed algorithm aims to find an efficient and stable routing path by taking account of the position of neighbors and the last beacon reception time. Our simulation results show that the proposed algorithm outperforms the legacy greedy algorithm and its variants.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0045). 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-20154-0).  
\* 포항공과대학교 컴퓨터공학과 모바일 네트워킹 연구실({kiki, shkim, yjsuh}@postech.ac.kr) (°: 교신저자)  
논문번호: KICS2008-05-235, 접수일자: 2008년 5월 23일, 최종논문접수일자: 2008년 10월 20일

## I. 서 론

최근 무선 통신 기술의 발달에 따라 차량 네트워크에 대한 관심이 높아지고 있다<sup>[1]</sup>. 차량의 무선 통신기능은 충돌 회피, 긴급 메시지 전파, 실시간 경로 탐색 등과 같은 다양한 어플리케이션을 가능하게 한다. 차량 네트워크는 크게 두 가지의 방법으로 구축할 수 있다. 도로에 인터넷과 연결되어 있는 게이트웨이 장비를 설치할 수도 있고, 차량끼리 멀티홉으로 통신하는 차량 애드혹 네트워크(Vehicular Ad-hoc Network, VANET)를 구성할 수 있다. 도로마다 게이트웨이 장비를 설치하는 것은 비용과 시간 측면에서 큰 오버헤드를 야기하기 때문에 VANET을 통해 차량간 네트워크를 구축하는 방법이 크게 각광받고 있다.

VANET은 모바일 애드혹 네트워크(Mobile Ad-hoc Network, MANET)의 일종으로 기지국과 같은 기반시설의 도움 없이 차량 간의 무선 통신을 통해 구성되는 임시적인 네트워크를 의미한다<sup>[2]</sup>. VANET은 기존에 많은 연구가 진행되었던 MANET과 차별되는 몇 가지 특징을 가지고 있다. 우선 차량들이 도로를 따라 이동하기 때문에 움직임이 제한적이고, 상시 충전이 가능한 대용량의 배터리를 사용하기 때문에 노트북, PDA, 센서 등과 같은 소형 단말과는 달리 파워 소모가 큰 문제가 되지 않는다. 하지만 100km/h를 상회하는 고속의 이동성으로 인해 네트워크 토폴로지가 빈번하게 변화하고 통신이 가능한 이웃 노드들도 자주 바뀌기 때문에 차량 간의 통신을 유지하는데 어려움이 있다. 이러한 VANET의 독특한 특성으로 인해, 기존의 MANET 라우팅 프로토콜들은 VANET 환경에서 심각한 성능 저하를 보인다.

전통적인 MANET 라우팅 프로토콜은 크게 프로액티브 (proactive) 방식과 리액티브 (reactive) 방식으로 나눌 수 있다<sup>[3]</sup>. 프로액티브 라우팅 프로토콜에서는 각 노드들이 네트워크에 존재하는 모든 노드들에 대한 경로를 라우팅 테이블에 유지하고 있다. 라우팅 테이블은 주기적으로, 혹은 네트워크 토폴로지에 변화가 있을 때마다 갱신된다. 리액티브 라우팅 프로토콜에서는 컨트롤 메시지의 오버헤드를 줄이기 위해 보낼 패킷이 있는 경우에만 경로를 검색한다. 이러한 프로액티브, 리액티브 라우팅 프로토콜은 패킷이 송신 노드와 수신 노드 사이의 토폴로지를 바탕으로 전달되기 때문에 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜로 분류된다.

토폴로지 기반 라우팅 프로토콜은 송신 노드와 수신 노드 간의 경로를 설정한 후에 통신을 하기 때문에 경로로 선택된 노드 중 하나만 다른 쪽으로 이동하게 되면 경로를 재설정해야 하는 문제점을 가지고 있다. 기존 연구 결과에 따르면 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜은 VANET 환경에서 심각한 성능 저하를 보인다. 반면에, 자신의 이웃 노드의 정보만을 가지고 패킷을 전달하는 그리디 포워딩 알고리즘 기반의 라우팅 프로토콜이 VANET 환경에서 좋은 성능을 보여주고 있다. 그리디 포워딩은 주기적인 비콘의 교환을 통해 자신의 이웃 노드들의 위치를 획득하고, 패킷을 전달할 때는 수신 노드와 가장 가까운 이웃 노드를 전달 노드로 선택하는 기법이다. 송신 노드와 수신 노드 사이의 경로 설정, 유지가 필요 없기 때문에 토폴로지 변화가 빈번한 VANET 환경에 보다 적합한 방식이라 할 수 있다.

본 논문에서는 대표적인 그리디 포워딩 방식의 라우팅 프로토콜인 Greedy Perimeter Stateless(GPSR)을 기반으로<sup>[4]</sup>, VANET 환경에서의 라우팅 성능을 향상시키기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 전달 노드를 선택할 때 이웃 노드의 이동 속도, 전송 범위를 고려한 이웃 노드의 위치, 비콘 메시지의 수신 시간에 따른 오차 등을 고려한다. 실험 결과에 따르면 제안하는 알고리즘을 적용했을 경우 GPSR이나 GPSR을 개선하기 위해 제안된 기존의 프로토콜들에 비해서 보다 높은 성능을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 GPSR의 동작을 소개하고 GPSR의 성능을 개선하기 위해서 제안된 기존 연구 결과들을 살펴본다. III장에서는 제안하는 알고리즘을 설명하고, IV장에서는 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하도록 한다. 마지막으로, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1 GPSR의 기본 동작

GPSR은 그리디 포워딩을 기반으로 하는 대표적인 MANET 라우팅 프로토콜이다<sup>[4]</sup>. GPSR에서는 각 노드들이 자신의 위치를 GPS 수신기 등을 통해 알고 있다고 가정한다. 패킷을 발생시키는 송신 노드는 수신 노드의 위치를 위치 정보 서비스 등을 통해서 알아낸 후에 이를 패킷의 헤더에 담아서 전송한다. 패킷을 받은 중간 노드들은 자신의 이웃 노

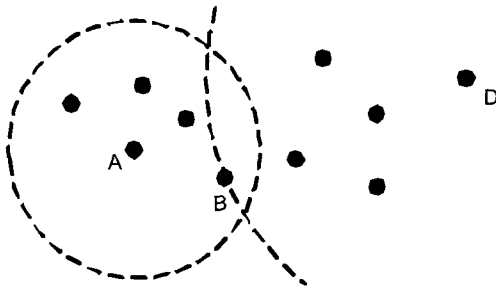


그림 1. 그리디 포워딩의 예제

드들 중에서 수신 노드와 가장 가까운 노드를 전달 노드로 선택해서 패킷을 전달하게 된다. 그림 1은 GPRS에서 그리디 포워딩 동작을 통해 전달 노드를 선택하는 예를 보여준다. 여기서 노드 A는 노드 D가 최종 목적지인 패킷을 가지고 있다. A는 자신의 전송 범위 안에 있는 이웃 노드들 중 D와 가장 가까운 노드인 B는 전달 노드로 선택하고 패킷을 B에게 전달한다. 이러한 그리디 포워딩은 송신 노드에서 수신 노드까지의 경로를 설정해야 하는 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜과 달리 각 노드들이 자신의 이웃 노드에 대한 정보만 유지하면 되기 때문에 토폴로지의 변화가 자주 일어나는 VANET 환경에서 보다 좋은 성능을 보인다.

위에서 살펴보았듯이, 그리디 포워딩이 동작하기 위해서는 노드들이 자신의 주변 노드의 위치를 알고 있어야 한다. 이를 위해 GPRS에서는 모든 노드들이 주기적으로 비콘을 보낸다. 비콘은 MAC 계층에서 브로드캐스트 주소로 전송이 되며 자신의 ID와 현재 위치를 포함한다. 비콘을 보내는 주기는 GPRS의 성능을 결정하는 가장 중요한 파라미터 중 하나이다. 비콘 주기가 짧아지면 보다 정확한 위치 예측이 가능하지만 전송되는 비콘의 수가 늘어남에 따라 라우팅 오버헤드가 증가한다는 단점이 있다. 비콘 주기를 길게 하면 오버헤드는 줄일 수 있지만 각 노드가 관리하고 있는 이웃 노드 위치 정보의 오차가 커지는 단점이 있다. 특히 VANET 환경에서는 초당 수십 미터씩 차량이 움직일 수 있기 때문에 일반적인 MANET 환경에 비해서 위치정보 오차가 훨씬 더 커지게 되고 이에 따라 라우팅 성능이 저하된다.

## 2.2 GPRS의 문제점 및 개선 방안

그림 2는 노드의 이동에 따라 GPRS의 성능 저하가 발생하는 예를 보여준다. 그림 1과 동일한 상황, 즉 A가 D로 향하는 패킷을 전달하는 상황을

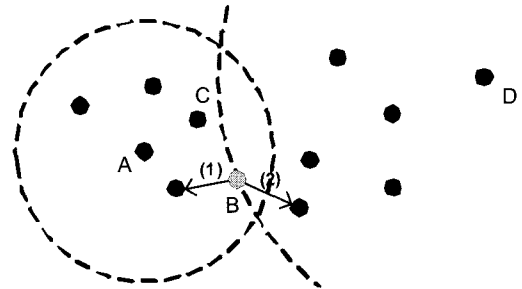


그림 2. 노드의 이동에 따른 그리디 포워딩의 성능 저하

가정해보자. A가 B로부터 마지막 비콘을 들었을 때는 회색 원으로 표시된 곳에 위치해 있었고, 따라서 A는 B를 전달 노드로 선정하게 된다. 하지만 A가 패킷을 전송하는 순간에는 B의 실제 위치가 바뀔 수 있다. 먼저 (1)의 경우처럼 B가 A쪽으로 이동하는 경우에는 실제 D에 가장 가까운 C를 선택하지 못하는 문제점이 발생한다. 보다 심각한 경우는 (2)처럼 B가 A의 전송 범위 바깥으로 이동하는 경우이다. 이와 같은 경우에는 MAC 계층에서 패킷 전송이 불가능하다고 판단할 때까지 계속적으로 전송을 시도하게 되고, 결국 라우팅 성능이 크게 저하된다.

[5]에서는 (2)의 상황을 링크 단절 문제라 (lost link problem) 명명하면서 GPRS의 성능 저하의 주요 원인 중 하나로 꼽고 있다. 이러한 링크 단절 문제를 해결하기 위해서 [5]의 저자들은 Neighbor Location Prediction (NLP) 기법을 제안하고 있다. NLP 기법의 핵심 아이디어는 이웃 노드들의 속도 정보를 바탕으로 현재 시각에서의 위치를 예측하는 것이다. 각 노드들은 이웃 노드의 정보를 관리하는 리스트에 마지막 비콘을 받은 시각과 X축, Y축의 속도를 기록한다. (속도는 두 개의 연속된 비콘에서 획득한 위치 차이를 바탕으로 계산할 수도 있고, 각 노드가 비콘을 보낼 때 자신의 속도를 포함할 수도 있다.) 전달 노드를 선택할 때는 마지막 비콘을 받은 후 흐른 시간과 속도를 기반으로 이웃 노드들의 현재 위치를 예측한다. 이렇게 측정된 예측 좌표를 바탕으로 현재 전송 범위 안에 있으면서 수신 노드와 가장 가까운 노드가 다음 전달 노드로 선택된다.

[6]의 저자들은 효율적인 VANET 라우팅을 위해 Movement Prediction Routing (MOPR) 개념을 GPRS에 적용하였다. MOPR에서는 NLP처럼 이웃노드의 속도 정보를 바탕으로 위치를 예측한다. NLP와의 차이점은 전달 노드를 선택할 때 현재 시점에서의 위치가 아닌  $T$ 초 ([6]에서는 1초로 설정) 이후의 위치를 고려한다는 점이다. 즉,  $T$ 초 이후에도 자신

의 전송 범위 안에 위치할 것으로 예상되는 노드 중 수신 노드와 가장 가까운 노드가 전달 노드로 선택된다.

### III. 문제점 분석 및 새로운 알고리즘 제안

#### 3.1 기존 기법의 문제점 분석

새로운 알고리즘의 제안에 앞서 NLP와 MOPR이 VANET 환경에서 가지는 한계점에 대해 살펴보기로 한다. 그림 3은 고속도로 상황에서의 패킷 전송 예제를 보여준다. D를 최종 목적지로 하는 패킷을 받은 A가 속도 정보를 바탕으로 이웃 노드의 위치를 예측했을 때, B와 C가 자신의 전송 범위 안에 있다고 판단하는 경우를 가정해보자. 이 때 NLP 기법에서는 C가 D와 가장 가깝기 때문에 C를 전달 노드로 선택할 것이다. 하지만 C가 A의 전송 범위의 가장자리에 위치하기 때문에, 이전에 비콘을 보낸 시점보다 속도를 조금만 증가시켜서 이동한다면 A의 전송 범위를 벗어나게 된다. 따라서 노드의 이동 속도가 자주 변하는 VANET 환경에서는 NLP 기법을 적용하더라도 링크 단절 문제가 여전히 발생할 수 있음을 알 수 있다.

MOPR은 이러한 문제를 완화하기 위해서 T초 이후의 위치를 바탕으로 전달 노드를 선택한다. 예를 들어, 그림 3의 예제에서 C가 T초 후에 A의 전송 범위를 벗어날 것으로 예측되면 MOPR에서는 B를 전달 노드로 선택하게 된다. 결과적으로 NLP에 비해서 안정적인 노드들을 거쳐서 라우팅이 되기 때문에 링크 단절 문제가 줄어들 것으로 기대할 수 있다. 하지만 가장자리 쪽 노드들이 전달 노드 선택에서 제외되기 때문에 수신 노드까지의 전달 홑수가 더 길어질 수 있다. 더 심각한 경우는 전송 차량의 가장자리에만 차가 위치하는 경우이다. 그림 3의 예제에서 A 주변에 C만 존재한다면 MOPR의 동작에 따라 패킷 전달을 시도하지 않는 문제가 생긴다. IV장의 실험결과에 따르면 MOPR이 NLP에 비해 비슷하거나 약간 떨어지는 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 효율적인 전달 노드 선택 알고리즘

링크 단절의 발생 확률은 크게 두 가지의 요인에 따라 결정 된다. 첫 번째 요인으로 전송 노드와 전달 노드 사이의 거리를 들 수 있다. 둘 사이의 거리가 먼 경우, 즉 최대 전송 범위의 가장자리에 전달 노드가 위치한 경우에는 조금의 예측 오차에도 링

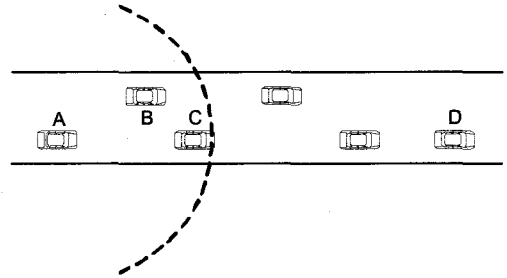


그림 3. 고속도로 시나리오에서의 전송 예제

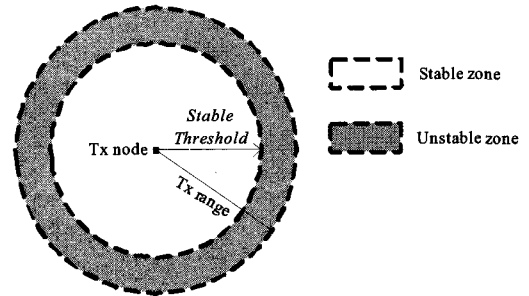


그림 4. StableThreshold에 따른 이웃 노드 분류

크 단절 문제가 발생하게 된다. 또한 마지막 비콘을 수신한 후 경과한 시간도 주요 요인이 된다. 전송 노드로부터 동일한 거리로 떨어져 있는 노드라도 비콘을 수신한 후 오랜 시간이 지났다면 링크 단절 확률이 더 높아진다.

제안하는 알고리즘에서는 위와 같은 관찰을 바탕으로 이웃 노드를 두 분류로 나누고 전달 노드 선택에 있어서 각각 다른 기준을 적용하도록 한다. 그림 4와 같이 이웃 노드들은 *StableThreshold* 안 쪽 (Stable zone)에 위치한 노드와 바깥 쪽 (Unstable zone)에 위치한 노드로 구분된다. *StableThreshold*는 전송 노드 (Tx node)의 전송 범위 (Tx range)를 고려해서 설정되는 값으로, 모든 노드들이 동일하게 설정하는 것을 가정한다.

패킷을 보내는 노드가 전달 노드를 선택할 때는 먼저 NLP 기법과 동일한 방식으로 이웃 노드들의 위치를 예측한다. 그 후에 자신의 전송 범위 안에 있을 것으로 예상되는 이웃 노드들 중 아래 함수  $f$ 의 값이 가장 작은 노드를 전달 노드로 선택하도록 한다. 먼저, Stable zone에 있는 노드의 경우에는 아래와 같이 계산한다.

$$f(i) = d(i, D) \tag{1}$$

여기서  $d(i, D)$ 는 속도를 기반으로 예측한 노드  $i$

의 위치와 최종 수신 노드  $D$  사이의 거리를 나타낸다. 즉, *Stable zone*에 있는 노드는 NLP 기법에서와 동일한 기준이 적용되는 것을 확인할 수 있다.

*Unstable zone*에 있는 노드의 경우 함수  $f$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$f(i)=d(i.D)+p(i)+t(i) \quad (2)$$

$$p(i)=d(i.x)-StableThreshold \quad (3)$$

$$t(i)=B_i*SpeedError \quad (4)$$

위의 식에서 볼 수 있듯이,  $p(i)$ 와  $t(i)$ 라는 새로운 함수가 정의되었다.  $p(i)$ 는 이웃 노드의 위치에 관련된 함수로써 전송 범위의 가장자리 노드에 대한 페널티를 주기 위한 함수이다. 식에서 볼 수 있듯이  $d(i,x)$ , 즉 전송 노드  $x$ 와 이웃 노드  $i$  사이의 거리에서 *StableThreshold*의 값을 뺀 결과가  $p(i)$ 의 값이 된다. 따라서 전송 범위의 가장자리 쪽에 위치할수록 더 큰  $p(i)$  값을 가지게 되고, 전달 노드의 선택에 있어서 감점을 받게 된다.

$t(i)$ 는 마지막 비콘을 받은 후 흐른 시간에 따른 위치 예측의 오차를 적용하기 위한 항목이다.  $B_i$ 는 현재 시각에서 노드  $i$ 로부터 가장 최근에 비콘을 받은 시각을 뺀 값으로 정의된다.  $B_i$ 의 값이 작은 경우, 즉 노드  $i$ 로부터 비콘을 받은 지 얼마 지나지 않은 경우에는 위치를 예측한 결과가 정확할 것이고, 이 값이 커질수록 현재 예측한 위치에서 벗어나 있을 확률이 높다. 하지만 NLP나 MOPR에서는 이러한 비콘을 받은 시간에 따른 변수가 고려되지 않았다. 제안하는 알고리즘에서는  $B_i$ 에 미리 정의된 오차 속도 *SpeedError*를 곱해서 전달노드의 선택에 적용하도록 한다.

결론적으로 제안하는 알고리즘은  $p(i)$ 와  $t(i)$ 를 전달 노드 선택에 적용함에 따라 전송 범위의 가장자리 노드가 주로 선택되는 GPSR이나 NLP에 비해서 라우팅 경로의 안정성을 높일 수 있다. 또한 MOPR과 달리 가장자리 쪽 노드를 전달 노드 선택에서 완전히 배제하지 않았기 때문에 보다 효율적인 패킷 전달이 가능하다. *StableThreshold*와 *SpeedError*는 제안하는 알고리즘의 성능에 영향을 주는 중요한 파라미터이다. 이 두 값들은 네트워크의 고정된 특성(차량의 최대 속도, 최대 전송 범위)이나 현재 도로의 상태(차량의 평균 속도, 차량의 밀집도)에 따라 결정되어야 한다.

#### IV. 성능평가

제안하는 알고리즘의 성능을 측정하기 위해 ns-2 시뮬레이터를 기반으로 실험을 수행하였다. 실험에서는 1200m x 1200m의 도로에서 차량이 움직이는 상황을 가정하였고 총 차량 중 절반의 차량이 50byte의 UDP 패킷을 0.5초 간격으로 발생하도록 하였다. MAC 프로토콜은 802.11을 사용하였고 전송 속도는 2Mbps, 전송 범위는 250m로 설정하였다. 실험을 위해 ns-2에 구현된 GPSR 코드를 기반으로 하여 NLP, MOPR 그리고 제안 알고리즘을 구현하였다. 비콘 전송 주기는 3초로 설정하였고 MOPR의 주요 파라미터인  $T$ 는 [6]에서의 기본 값인 1초로 설정하고 실험을 진행했다. 또한 제안하는 알고리즘의 *StableThreshold*를 200m, *SpeedError*를 5m/s으로 설정하였다. 이 값들은 주어진 환경에서 반복된 실험을 통해 결정되었다.

이동 모델로는 MANET 시뮬레이션에서 많이 쓰는 랜덤 웨이포인트 (random waypoint) 모델이 아닌 VANET 환경에 적합한 맨하탄 모델을 적용하였다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 맨하탄 모델은 실제 도로 상황을 반영한 이동 모델이다. 차량은 격자 형태의 도로를 따라서만 움직일 수 있다. 교차로 지점에서는 직진 방향으로 50%, 좌,우 방향으로 각각 25%씩의 확률로 다음 이동 방향을 선택한다. 차량은 미리 정의된 최소 속도와 최대 속도 사이에서 랜덤한 속도를 선택해서 움직인다. 본 실험에서는 이와 같은 환경에서 노드의 최대 이동 속도와 도로에 분포한 차량의 수를 다양하게 변화하면서 성능을 평가하였다.

먼저 차량의 최소, 최대 속도를 각각 60km/h와 100km/h로 설정하고 차량의 수를 바꾸면서 실험을

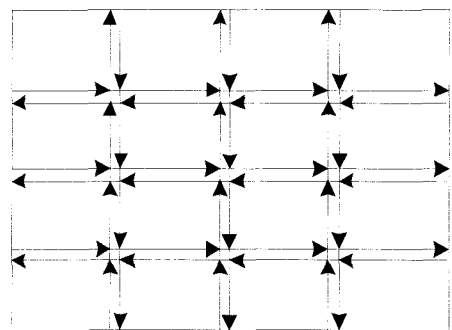


그림 5. 맨하탄 이동 모델

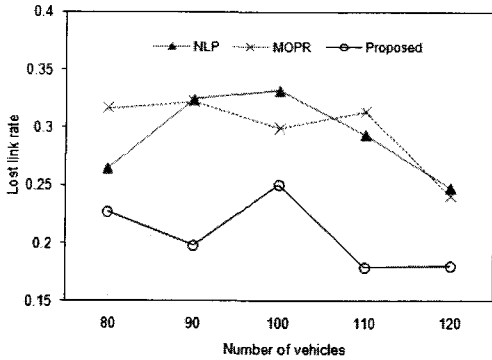


그림 6. 차량의 수에 따른 GPSR 대비 링크 단절을

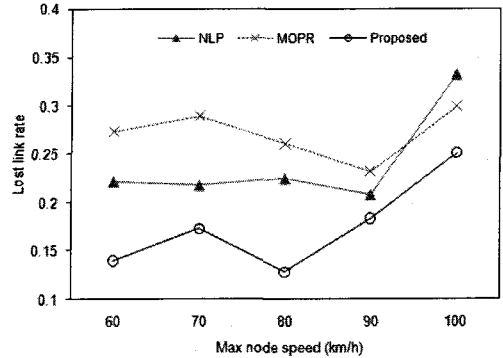


그림 8. 차량의 최대 속도에 따른 GPSR 대비 링크 단절을

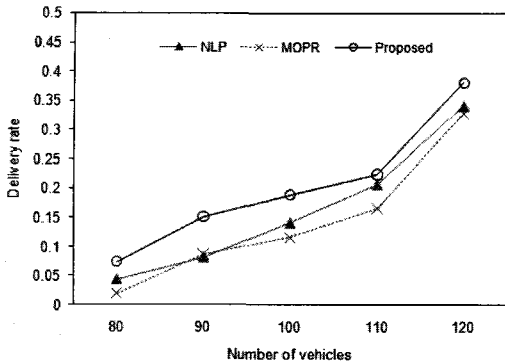


그림 7. 차량의 수에 따른 GPSR 대비 패킷 전달율

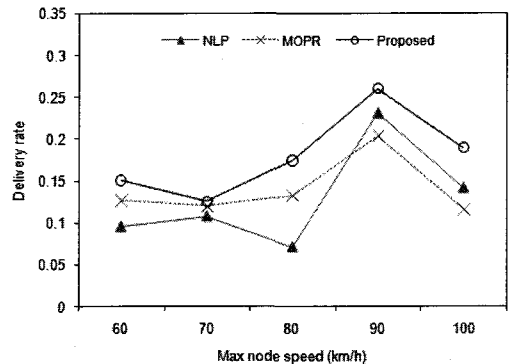


그림 9. 차량의 최대 속도에 따른 GPSR 대비 패킷 전달율

수행했다. 그림 6은 GPSR에 대비한 링크 단절 비율(lost link rate)을 보여주고 있다. (링크 단절 비율은 링크 단절 문제가 발생한 횟수를 총 전달 노드 선택 횟수로 나눈 값이다.) 그림에서 확인할 수 있듯이 세 경우 모두 GPSR에 비해서 링크 단절 횟수가 많이 줄어든 것을 볼 수 있다. NLP와 MOPR은 거의 비슷한 성능을 보여주는데 반해, 제안하는 알고리즘은 차량의 수와 관계없이 항상 가장 좋은 성능을 보인다.

그림 7은 GPSR과 비교했을 때 패킷 전달율(delivery rate)이 얼마나 증가했는지를 보여준다. (패킷 전달율은 수신차량이 받은 패킷 개수를 송신차량이 보낸 패킷 개수로 나눈 값이다.) 그림 6의 결과와 달리, 패킷 전달에 있어서는 MOPR이 NLP에 비해 전반적으로 성능이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 링크의 안정성을 우선적으로 고려하는 MOPR에서는 빠르고 효율적인 라우팅 경로 설정이 힘들기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 제안하는 알고리즘은

모든 상황에서 NLP와 MOPR 보다 더 높은 패킷 전달율을 보인다. 패킷 전달의 증가율이 차량의 수에 비례하는 이유는 도로에 차가 많을수록 전송 범위 내에 존재하는 이웃 차량이 많아지고, 이로 인해 안정적이면서도 효율적인 라우팅 경로를 선택할 확률이 높아지기 때문이다.

그림 8과 그림 9는 최대 이동속도의 변화에 따른 성능을 보여주는 것으로, 최저 속도는 60km/h이고 차량의 수는 100대인 환경에서의 실험 결과이다. 그림 8에서 볼 수 있듯이, NLP와 MOPR도 GPSR에 비해 링크 단절이 일어나는 상황을 줄일 수 있지만 제안하는 알고리즘을 적용했을 때 가장 좋은 성능을 얻을 수 있다. 그림 9는 GPSR과 비교했을 때 패킷 전달율을 보여준다. NLP와 MOPR를 비교해 보면 속도가 비교적 느린 80km/h이하인 경우에서만 MOPR이 좋은 성능을 보이고 나머지 경우에는 오히려 NLP가 더 높은 패킷 전달율을 보인다. 이는 MOPR에서 전달 노드를 선택할 때 1초라는 고정된

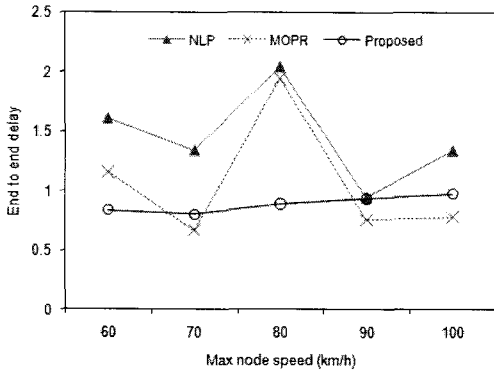


그림 10. 차량의 최대 속도에 따른 GPSR 대비 종단 지연시간

시간을 이용하기 때문으로 풀이된다. 속도가 빠를 때는 1초 동안에 긴 거리를 움직일 수 있기 때문에 대부분의 노드가 전달 노드 선택에서 제외되고 결과적으로 비효율적인 라우팅 경로를 통해 패킷이 전달된다. 반면 제안하는 알고리즘은 차량의 이동 속도에 상관없이 항상 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

그림 10은 최대 이동속도의 변화에 따른 GPSR 대비 종단 지연시간 (end to end delay)을 보여준다. 우선 NLP와 MOPR의 경우 GPSR보다 종단 지연 시간이 증가하는 경우가 생기는 것을 볼 수 있다. 이것은 종단 지연시간이 수신 노드까지 성공적으로 전송된 패킷에 대해서만 측정되기 때문이다. 즉 링크 단절로 인해 라우팅 중 손실된 패킷은 결과에 반영이 되지 않는다. 앞선 결과와 마찬가지로 지연 시간 측면에서도 제안하는 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보여준다. NLP는 전송 범위의 가장자리에 있는 차량을 우선적으로 선택하여 재전송이 늘어나고 MOPR는 라우팅 홉 수가 늘어나기 때문에 상대적으로 긴 종단 지연시간을 보인다. 반면 제안하는 알고리즘은 효율적인 전달 노드 선택을 통해 GPSR과 거의 비슷하거나 조금 더 낮은 종단 지연 시간을 보인다.

## V. 결 론

본 논문에서는 VANET 환경에서 가장 널리 연구되고 있는 그리디 포워딩 기법의 성능을 개선하는 알고리즘을 제안하였다. 먼저 GPSR등에서 사용되는 그리디 포워딩의 문제점을 살펴보고, 이를 해결하기 위해 제안된 기존의 연구 결과에 대해서 분

석하였다. 위의 분석 결과를 바탕으로, 이웃 노드의 위치와 마지막으로 비콘을 받은 시점을 고려해 효과적으로 전달 노드를 선택하는 알고리즘을 설계하였다. 실험 결과를 통해 우리는 새롭게 제안하는 알고리즘이 GPSR 뿐만 아니라 기존에 주요 연구 결과였던 NLP, MOPR 등과 비교해 높은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

이번 연구 결과의 확장을 위해, 실제 도심 환경을 기반으로 하는 이동 모델 및 채널 모델 (channel propagation model)을 적용해서 제안하는 알고리즘의 성능을 측정할 예정이다. 또한 GPSR 뿐만 아니라 그리디 포워딩 기법을 이용하는 다른 VANET 라우팅 프로토콜에도 알고리즘을 적용하여 성능을 측정할 계획이다. 그리고 네트워크의 특성이나 도로의 상태에 따라 *StableThreshold*와 *SpeedError*의 값을 결정하는 알고리즘에 대해서도 연구할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] "Wireless on Wheels," *MIT Technology Review*, Jan. 2005.
- [2] J. J. Blum, A. Eskandarian, L.J. Hoffman, "Challenges of inter-vehicle ad hoc networks," *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol.5, issue 4, pp.347-351, Dec. 2004.
- [3] M. Abolhasan, T. Wysocki, E. Dutkiewicz, "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks," *Ad Hoc Networks*, Vol.2, pp.1-22, 2004.
- [4] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in *Proc. ACM/IEEE Mobicom 2000*, Aug. 2000.
- [5] Dongjin Son, Ahmed Helmy, Bhaskar Krishnamachari, "The Effect of Mobility-Induced Location Errors on Geographic Routing in Mobile Ad Hoc and Sensor Networks: Analysis and Improvement Using Mobility Prediction," *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol.3, pp.233-245, July 2004.
- [6] Hamid Menouar, Massimiliano Lenardi, Fethi Filali, "Movement prediction-based routing (MOPR) concept for position-based routing in vehicular networks,," in *Proc. IEEE WiVec 2007*, Sep. 2007.

임 완 선 (Wan-Seon Lim)

정회원



2004년 2월 포항공과대학교

컴퓨터공학과 졸업

2006년 2월 포항공과대학교

컴퓨터공학과 석사

2006년 3월~현재 포항공과대

학교 컴퓨터 공학과박사과정

<관심분야> 무선랜, 차세대 네트  
트워크, 이동성 지원 기술

김 석 형 (Sok-Hyong Kim)

정회원



2005년 2월 한국항공대학교 정

보통신공학과 졸업

2007년 2월 포항공과대학교 정

보통신공학과 석사

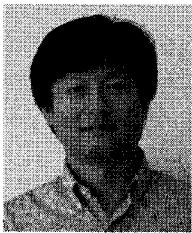
2007년 3월~현재 포항공과대학

교 컴퓨터 공학과 박사과정

<관심분야> 무선 메쉬 네트워  
크, 무선랜, 무선 네트워크

서 영 주 (Young-Joo Suh)

중신회원



1985년 2월 한양대학교 전자공  
학과 졸업

1987년 2월 한양대학교 전자공  
학과 석사

1996년 미국 조지아 공대

(Georgia Tech) 컴퓨터공학 박사

1988년~1990년 LG전자 연구원

1990년~1993년 충청대학 교수

1996년~1997년 미국 Georgia Tech 연구원

1997년~1998년 미국 Univ. of Michigan 연구원

1998년~현재 포항공대 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 무선랜 프로토콜, 이동 IP, 이동 멀티캐  
스트, ad-hoc/sensor 네트워크, 차세대 이동 네트  
워크