

논문 2009-46TC-3-8

고속으로 이동하는 차량간 통신에서 향상된 탐욕 메시지 포워딩 프로토콜

(An Enhanced Greedy Message Forwarding Protocol for High Mobile
Inter-vehicular Communications)

장 현 희*, 유 석 대**, 박 재 복***, 조 기 환****

(Hyunhee Jang, Sukdae Yu, Jaebok Park, and Gihwan Cho)

요 약

차량으로 구성된 애드 hoc 네트워크에는 GPSR^[7]과 같은 지리 기반 라우팅 프로토콜이 매우 적합하고 유용한 것으로 알려져 있다. 그러나 전송 범위를 벗어난 stale 노드를 이웃노드로 유지할 수 있으며, 탐욕모드의 정책에 의해서 stale 노드가 다음 릴레이 노드로 선정되는 우선순위가 높은 문제점이 있다. 또한 유용한 정보들이 복구모드의 평탄화 과정중에 제거될 수 있다. 본 논문은 적응적 이웃노드 리스트 관리기법(ANM)과 새로운 복구모드를 위한 탐욕 경계우위 라우팅(GBSR) 방안을 제안한다. 각 노드는 임의 이웃의 이전과 현재의 위치를 비교, 반영함으로써 이웃노드 리스트상의 stale 노드 문제를 해결한다. 어떤 노드가 로컬최대(local maximum)에 직면하면 경계우위 그래프를 이용하여 복구한다. 따라서 제안된 복구모드는 패킷 전달율을 높이는 반면에 복구에 소요되는 시간을 줄인다. 네트워크 시뮬레이션을 이용하여 성능을 분석한 결과 제안된 프로토콜의 성능이 GPSR보다 우수한 것으로 평가되었다.

Abstract

Geo-graphical routing protocols as GPSR^[7] are known to be very suitable and useful for vehicular ad-hoc networks. However, a corresponding node can include some stale neighbor nodes being out of a transmission range, and the stale nodes are prone to get a high priority to be a next relay node in the greedy mode. In addition, some useful redundant information can be eliminated during planarization in the recovery mode. This paper deals with a new recovery mode, the Greedy Border Superiority Routing(GBSR), along with an Adaptive Neighbor list Management(ANM) scheme. Each node can easily treat stale nodes on its neighbor list by means of comparing previous and current position of a neighbor. When a node meets the local maximum, it makes use of a border superior graph to recover from it. This approach improves the packet delivery ratio, while it decreases the time to recover from the local maximum. We evaluate the performance of the proposed methods using a network simulator. The results shown that the proposed protocol reveals much better performance than GPSR protocol. Please put the abstract of paper here.

Keywords : Greedy Border Superiority Routing, Greedy Forwarding, Adaptive Neighbor List Management, Vehicle Ad-hoc Networks

* 정회원, 한국폴리텍V대학 김제캠퍼스 정보통신시스템과
(Gimje of Korea PolytechnicV College)

** 정회원, 퍼듀대학교 전산학과
(Dept. of Computer Science, Purdue University)

*** 학생회원, **** 정회원 전북대학교 전자정보공학부(영상정보기술연구센터)
(Division of EIE, Chonbuk National University, (CAIT))

※ 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(NO. R01-2008-000-20062-0)

접수일자: 2009년1월2일, 수정완료일: 2009년3월3일

I. 서 론

최근 자동차 기술은 기계적 성능 향상을 넘어서 신소재, 무선통신 등 첨단기술을 수용하는 형태로 발전하고 있다. 즉 자동차 디자인의 주안점은 주행성능보다는 주행 중인 차량의 안정성과 편리성과 효율성에 맞추어져 있다. 특히, 자동차 사이에 무선통신은 여러 가지 새로운 서비스들이 자동차의 안전성과 편리성의 향상에 크게 공헌하게 된다는 사실이 잘 알려져 있다^[1]. 이러한 서비스들이 실제 환경에 성공적으로 적용된다면, 교통사고의 발생비율은 크게 감소시키는 혹은 차량이 주행 중임에도 불구하고 탑승자들은 다양한 정보 서비스들을 지속적으로 제공할 수 있는 유용한 수단이 될 것이다.

이러한 배경에서 차량통신을 위한 새로운 무선 접속 프로토콜로써 Wireless Access for Vehicular Environment(WAVE)^[2]가 발표되었다. WAVE는 차량간(V2V: Vehicle-to-Vehicle) 혹은 차량과 기반구조(V2I: Vehicle-to-Infrastructure) 통신을 지원한다. 이는 높은 이동성과 낮은 전송지연을 수용하도록 설계되어 있다. 이러한 특성은 WAVE가 차량이 고속으로 주행한다는 점과 안전정보는 가능한 빨리 전달되었을 때 유용하는 점을 반영한 것이다.

WAVE 통신장비를 장착하고 운행 중인 자동차들은 차량 애드 혹 네트워크(VANET: Vehicular Ad-hoc Network)로 모델링 된다. 주행 중인 차량은 위상 변화가 자주 발생한다는 점에서 VANET은 이동 애드 혹 네트워크(MANET: Mobile Ad-hoc Network)^[3]와 대별된다. 따라서 VANET에는 AODV^[4], OLSR^[5], DSR^[6]과 같은 라우팅 프로토콜보다는 지리기반 라우팅 프로토콜이 더 유용한 것으로 알려져 있다. 지리기반 프로토콜은 목적노드 방향으로 진행하고 있는 노드들에게 최대한 탐욕적인 형태로 패킷을 전달하기 때문이다^[7].

VANET 환경에서 지리기반 라우팅 프로토콜로 Greedy Perimeter Stateless Routing(GPSR)^[7]이 가장 잘 알려져 있다. 정상적인 경우에 패킷들은 탐욕 포워딩(greedy forwarding) 형태로 전달된다(탐욕모드). 탐욕 포워딩은 특정 목적지에 패킷을 전달하기 위한 (부) 최적방법으로 알려져 있다^[8-9]. 하지만 임의 노드에서 탐욕 포워딩을 적용할 수 없는 로컬 최대(local maximum)에 직면하게 되면 탐욕 포워딩을 중단하고 다른 방법으로 릴레이 노드를 선정하여 패킷을 전달해야 한다. 이러한 상황을 복구모드라고 하며, 주변

(perimeter) 라우팅을 적용하여 로컬최대를 탈피하고 있다. 만약 차량들로 구성된 그래프가 평탄(planar)하다면 복구모드에서도 지리기반 라우팅으로 패킷을 전달할 수 있다. 따라서 일단의 연구^[10-12]에서는 복구모드에서 의도적으로 평탄 그래프(planar graph)를 구성하여 접근하고 있다. 반면에 다른 방법이 복구모드에 사용되기도 한다^[13-15]. 참고문헌 [13]에서는 평탄 그래프 대신에 일종의 스패닝(spanning) 트리를 활용하고 있다. 참고문헌 [14]에서는 로컬 최대에 직면한 패킷을 적절한 교차점에 도달할 때까지 역방향으로 포워딩한다. 이때 교차점을 알려주는 프로토콜이 필요하게 된다. 참고문헌 [15]에서는 디지털 맵을 사용하는 접근을 사용한다. 이러한 방법들은 다소간의 오버헤드를 갖는 평탄 그래프를 구성하는 것은 물론 추가적인 라우팅 기법들이 필요하게 된다.

한편 탐욕 포워딩은 목적지 방향의 이웃노드중에 가장 멀리 위치한 노드를 선택하는 전략에 근거한다. 따라서 각 노드는 자신의 이웃노드들에 대한 리스트를 유지해야 한다. 일반적으로 이웃노드에 대한 정보는 Hello 비콘을 주기적으로 교환함으로써 얻을 수 있다. 그러나 비콘을 교환하는 주기의 시간차로 인하여 간혹 전송범위 밖에 위치하는 노드를 이웃노드로 인식하는(stale 노드) 현상이 발생한다. 만약 탐욕 포워딩에 의해 다음 중계노드로 선택된 노드가 stale 노드라면 더 이상의 포워딩은 기대할 수 없게 된다. 이러한 현상은 라우팅 관점에서 치명적인 단점으로 작용하게 된다. GPSR은 복구모드의 노드는 자신의 정보를 이용하여 교차점을 허용하지 않는 평탄 그래프를 생성하고, 그래프에서 적절한 중계노드를 선택하고 있다. 이때 라우팅에 유용한 다수의 링크들이 평탄 그래프를 생성하는 과정에서 제거된다. 특히 짧은 길의 링크들이 최종적으로 그래프에 남게 되며, 그 결과로 복구모드에서 패킷 포워딩은 비효율적인 결과를 초래하게 된다.

본 논문에서는 추가적인 오버헤드가 없이 적용적으로 이웃노드 리스트를 관리(ANM: Adaptive Neighbor list Management)하는 기법을 제안한다. ANM 기법으로 각 노드는 이웃노드 리스트상에 있는 stale 노드들을 쉽게 처리할 수 있다. 어떤 노드는 이웃노드로부터 Hello 비콘을 받으면, 이웃노드의 이전 위치와 현재 위치를 비교함으로써 이웃노드의 이동 방향, 상대적인 속도와 거리를 알아낼 수 있다. 이를 기반으로 이웃노드가 일정 시간 후에 위치를 추정할 수 있으며, 따라서 잠재

적인 stale 노드를 판별할 수 있게 된다. 이러한 잠재적인 stale 노드들은 탐욕 라우팅에 제외시키는 접근을 이용한다. 또한 새로운 복구모드에 적용되는 프로토콜로써 탐욕 경계우위 라우팅(GBSR: Greedy Border Superiority Routing)을 제시한다. 로컬최대에 직면한 노드는 자신의 무선 커버리지의 경계 부분에 위치한 도로상의 노드들로 부 그래프를 생성하여 다음 릴레이 노드로 활용한다. 제안된 복구모드에서 라우팅은 패킷 전달율을 높이는 반면에 복구에 소요되는 시간을 줄이는 것을 목적으로 한다. 더불어 중계노드간의 거리를 충분히 확보함으로써 전체 전송지연을 감소시키는 효과가 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 관련 연구를 서술한다. GPSR 프로토콜의 복구모드를 중심으로 취약점을 분석한다. III장에서는 분석된 문제를 해결의 관점에서 ANM 기법과 GBSR 프로토콜을 구체적으로 설명한다. IV장에서는 제안된 프로토콜의 타당성과 성능을 검증하기 위한 차량 이동성 모델, 시뮬레이션 파라미터, 그리고 시뮬레이션 결과를 제시한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing) 프로토콜^[7]

GPSR 알고리즘은 위치기반 라우팅의 한 종류이다. 라우팅 노드는 이웃노드들 중에서 지리적으로 목적지에 가까운 이웃노드들 중의 하나를 선정하여 패킷을 포워딩한다. 이러한 라우팅을 탐욕 포워딩이라 한다. 임의의 노드가 이웃노드중에 다음 중계노드를 선정하기 위해서는 이웃노드 리스트에 있는 노드들의 위치정보를 활용한다. 이를 위해서 각 노드는 자신의 위치는 물론 이웃노드의 위치를 알아야 한다. 각 노드는 GPS 장치와 같은 위치인식 장치로 자신의 위치를 식별하고, Hello 비콘을 노드 간에 상호 교환함으로써 이웃노드의 위치를 얻는 것으로 가정한다. 또한 송신노드는 글로벌 위치서비스^[16]를 통하여 목적지 노드의 현재 위치를 얻을 수 있다고 가정한다. 각 노드는 자신의 위치를 주기적으로 위치서비스 서버에 등록한다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜도 GPSR과 동일한 가정을 사용한다.

로컬정보를 활용하여 라우팅을 결정하는 로컬최대 상황으로부터 벗어나기 위해서 복구모드를 정의하고 있

다. 로컬 최대는 임의 라우팅 노드가 자기 자신보다도 목적지 노드에 가까운 적절한 중계노드를 발견할 수 없는 경우로 정의된다. 이러한 로컬최대로부터 탈출하기 위해서 GPSR 프로토콜은 목적지 노드와 반대되는 방향으로 패킷 전달을 시도한다. 이러한 로컬최대를 우회하는 역방향 전달은 우회노드에서 계산된 거리가 직전 복구모드에서 계산된 목적지 노드까지의 거리보다 가까워질 때까지 계속된다. 이러한 조건을 만족하는 우회노드는 복구모드를 벗어나서 탐욕모드로 패킷 전송을 다시 시작한다.

그림 1은 GPSR에서 제시한 로컬최대를 탈출하는 기본 동작과정을 보이고 있다. 노드 A는 탐욕모드를 이용하여 노드 B에게 패킷을 전달한다. 그러나 노드 B는 자신보다도 목적지 노드에 가까운 적절한 중계노드를 발견할 수 없는 로컬최대 상황에 직면하게 된다. 노드 B는 패킷 헤더에 자신의 위치를 기록하고, 목적지 노드의 위치와 반대 위치에 있는 노드 C에 패킷을 전달한다. 복구모드로 전달된 패킷을 수신한 노드는 자신으로부터 목적지 노드까지의 거리(거리 (C, D))와 패킷에 기록된 노드 B(로컬최대를 발견한 노드)의 위치로부터 목적지 노드까지의 거리(거리 (B, D))를 비교한다. 패킷이 노드 F에 도달했을 때, 노드 F는 거리(F, D)가 거리 (B, D)보다 짧음을 발견하게 되고 패킷을 다시 탐욕모드로 변환되어 전달한다.

위에서 설명한 기본 복구절차에서, 목적지 노드와 반대되는 방향에 위치한 노드중에 어떤 기준으로 다음 중계노드로 선택할 것인가에 대해 다수의 방법론들이 제안되었다^[7, 17~18]. GPSR은 주변 라우팅 기법을 제시하고

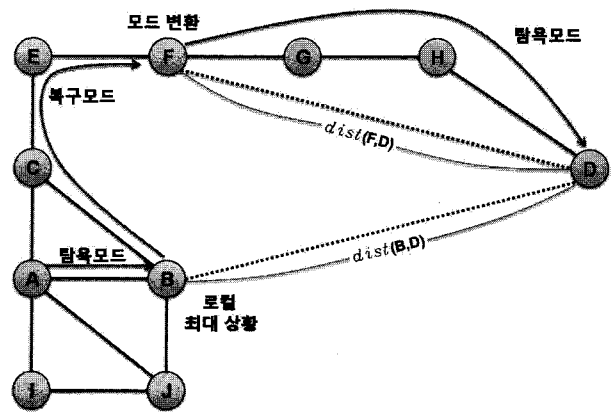


그림 1. GPSR 라우팅에서 로컬최대에 직면한 라우팅 예

Fig. 1. An example of GPSR routing in a local maximum.

있다. 복구모드의 노드는 이웃 노드로 구성된 2차원 위상구조에서 서로 교차되는 링크를 허용하지 않는 평탄 그래프를 생성한다. 평탄 그래프를 얻기 위해서 RNG (Relative Neighborhood Graph) 알고리즘^[19] 또는 GG (Gabriel Graph) 알고리즘^[20] 중의 하나를 이용할 수 있다. 복구모드의 노드는 평탄 그래프상에서 오른손 법칙을 적용하여 다음 노드를 선택한다. 즉, 목적지 노드를 기준으로 시계 반대 방향으로 가장 작은 각을 내포하는 노드를 다음 중계노드로 선택한다. 이러한 기준으로 복구모드에서 중계노드의 선택은 임의 중계노드가 탐욕모드로 변환될 때까지 계속된다. 그러나 복구모드로 패킷을 전달하는 노드들은 각자 평탄 그래프를 생성해야 하며, 따라서 각 노드에 다수의 프로세싱 비용이 발생하는 문제점이 있다.

2. 고속으로 이동하는 차량간 통신 환경에 탐욕 라우팅의 분석

지리 기반 라우팅 프로토콜에서 Hello 비콘은 이웃노드의 정보를 얻는 과정에서 매우 중요한 역할을 수행한다. 각 노드는 자신의 위치정보를 포함한 비콘을 주기적으로 브로드캐스팅하는 반면에 이웃으로부터 전달된 비콘의 정보는 이웃노드 리스트로 관리한다. 물론 노드들은 시간을 수단으로 stale 노드를 이웃노드 리스트로부터 유효적절하게 제거해 주어야 한다. 만약 Hello 비콘의 주기를 짧게 한다면 이웃노드 리스트의 정확도를 높일 수 있지만, 그만큼 네트워크 부담은 커지게 된다.

특히 차량간 통신 환경에서 차량들은 고속으로 이동하기 때문에 이웃노드 리스트의 무결성을 보장하기는 더욱 어렵다. 차량 애드 혹 네트워크 프로토콜은 상대적으로 짧은 Hello 비콘을 사용하고 있지만 주기의 이산적 특성으로 인하여 이웃노드 리스트에서 stale 정보를 완전히 제거할 수는 없다.

그림 2는 Hello 비콘 주기에 따른 차량 위상의 변이

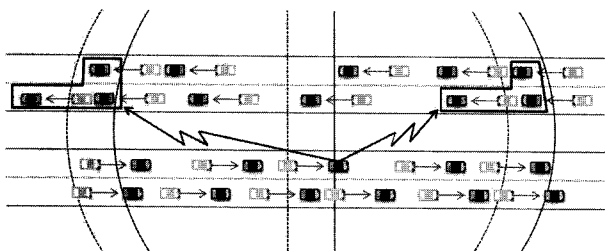


그림 2. 단일 Hello 비콘 주기에 차량 위상의 변화 예
Fig. 2. An example of vehicle's topology change in a Hello beacon period.

를 보이고 있다. 점선으로 표시된 원과 실선으로 표시된 원은 중앙에 위치한 차량의 이전과 현재 무선 커버리지를 각각 표시한다. 여기서 각 방향 도로는 두개의 차선으로 구성되며, 동일한 방향으로 진행하는 차량은 비슷한 속도로 주행하는 것으로 가정한다. 이때 동일한 방향으로 진행하는 차량간의 위상은 크게 변화되지 않는 반면에 반대방향으로 주행하는 차량과의 위상은 크게 변하게 된다. 그림은 단일 Hello 비콘 주기에 3대의 차량이 새로운 이웃으로 포함되고, 유사하게 3대의 차량이 이웃에서 제외되는 상황을 보이고 있다.

앞에서 설명하였듯이, 탐욕 포워딩 모드에서 임의 노드는 이웃되는 노드들중에서 목적지 노드와 가장 가까운 (따라서 임의 노드로부터 가장 멀리 있는) 이웃노드를 선택해서 패킷을 전달한다. 여기서 이웃노드가 멀리 있다는 것은 stale 노드가 될 가능성이 높다는 것을 의미한다. 따라서 고속으로 이동하는 차량통신 환경에서 탐욕 라우팅의 적용은 이웃노드 리스트의 무결성에 매우 민감하게 영향을 받는다.

3. 도시 교통환경에서 GPSR 복구모드의 적용 분석

GPSR은 로컬최대 상황을 해결하기 위해서 평탄 그래프를 적용하는 것이 일반적이다. 이러한 접근은 로컬 지역정보를 근거로 원래의 네트워크 위상구조에서 유용한 부분 그래프를 생성할 수 있다. 특히 네트워크를 구성하고 있는 노드들이 정규적으로 분포된 경우에는 잘 동작한다. 그러나 차량 애드 혹 네트워크 응용 시나리오에는 도로상에 네트워크가 구성된다는 특수성으로 인하여 평탄 그래프가 유용하게 적용되지 않는다.

차량 네트워크에서 자동차는 도로라는 기반구조에 분산되는 형태를 갖는다. 일반적으로 랜덤하게 혹은 정규적으로 분포되는 이동 애드 혹 네트워크와는 달리 차량 네트워크의 위상은 도로의 위상구조와 유사하게 구

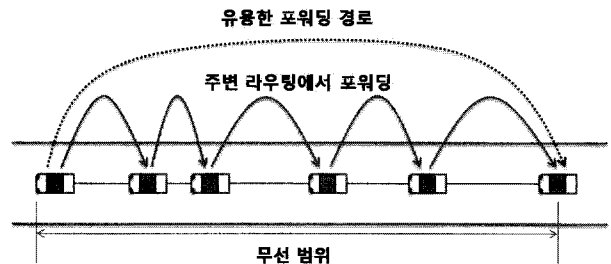


그림 3. 도시 교통환경에서 평탄 그래프의 적용 예
Fig. 3. An example of planar graph in a city environment.

성된다. 만약 차량 네트워크에서 어떤 노드가 평탄 그래프를 생성한다면 도로의 일렬 구조로 인하여 라우팅 효율이 매우 낮게 된다. 즉 일반적인 애드 혹 라우팅의 장점인 대체 가능한 여유 경로(redundant route)가 매우 제한적 현상이 발생한다.

그림 3은 도시 교통환경 시나리오에서 평탄 그래프의 예를 보이고 있다. 차량들이 도로상에 일렬로 주행 중일 때, 평탄 그래프 생성과정에서 원래 그래프 상의 교차 링크가 제거되기 때문에 바로 후미에 위치한 노드로의 링크만이 남게 된다. 비록 무선 커버리지가 가장 멀리에 위치해 있는 노드를 포함하고 있지만, 주변 라우팅은 가장 가까운 노드를 중계노드로 선정한다. 만약 지리적 거리정보를 라우팅에 활용할 수 있다면, 당연히 통신의 효율성을 고려하여 가장 멀리에 위치한 노드를 중계노드로 선정할 것이다. 라우팅 홉 간의 거리가 짧으면 더 많은 홉 카운트를 갖게 되며 그만큼 전송지연도 늘어나게 된다.

III. 향상된 탐욕 메시지 포워딩 프로토콜

본 논문에서 제안한 프로토콜은 GPSR과 유사하게 탐욕 포워딩을 사용하는 위치기반 라우팅 프로토콜이다. 즉 탐욕모드와 복구모드로 구성된 두 개의 모드로 라우팅 프로토콜이 동작한다. 탐욕모드에서 각 노드는 현재 노드보다도 목적지 노드까지 거리가 짧은 노드를 중계노드로 선정하여 패킷을 포워딩한다. 로컬최대 현상을 발견한 노드는 복구모드로 변환한다. 로컬최대를 탈출하는 가장 좋은 접근은 패킷이 가능한 한 빨리 탐욕모드로 다시 변환될 수 있는 노드로 전달되는 것이다. 제안한 GBSR 프로토콜은 복구모드에서 패킷을 무선 커버리지의 경계에 위치한 노드로 전달하는 접근을 사용한다.

II장에서 설명하였듯이 이웃노드 리스트상에 이웃노드가 아닌 노드를 포함하거나 실제로 이웃노드임에도 리스트에 포함되지 않는 stale 노드가 발생할 가능성이 있다. stale 노드는 라우팅의 실패 가능성을 높이는 결과를 초래한다. 먼저 현재 상황에 적응적으로 이웃노드 리스트를 관리하는 방안을 제안한다.

1. 적응적 이웃노드 리스트 관리

네트워크를 구성하고 있는 모든 노드는 자기 자신의 위치를 포함하고 있는 Hello 비콘을 주기적으로 브로드

캐스트한다. 비콘을 수신한 노드는 비콘을 송신한 이웃노드의 이전 위치와 현재 위치를 비교함으로써 이동방향, 속도, 거리 편차 등을 계산한다. 이웃노드 리스트의 각 엔트리는 timeout을 설정함으로써 비콘 주기 사이에 커버리지를 벗어난 stale 노드를 식별한다.

Hello 비콘은 다음과 같은 규칙으로 처리한다.

1. 만약 새로운 노드로부터 비콘을 수신하면, 그 노드가 자신에 접근하고 있는 것으로 간주하여 STALE 플래그를 FALSE로 설정하여 이웃노드 리스트에 새로운 엔트리를 생성한다.
2. 만약 이미 엔트리를 갖고 있는 이웃노드로부터 비콘을 수신하면, 해당 노드의 현재 위치와 이전 위치를 비교한다. 자신과 거리가 안전거리(예로 무선 커버리지의 80% 수준) 이내이면 이웃노드의 위치정보를 수정하고, 안전거리를 벗어나 있다면 현재의 주행 방향과 속도를 기반으로 다음 비콘 주기 시점에 이웃노드의 예상위치를 계산한다. 예상위치가 커버리지를 벗어날 것으로 예측되면 자신의 커버리지를 벗어날 것으로 판단하여 이웃노드 리스트의 엔트리에 STALE 플래그를 TRUE로 수정하고, 벗어나지 않을 것으로 예측되면 위치정보만을 수정한다.
3. 만약 이웃노드로부터 timeout 기간 동안에 비콘을 받지 못했다면, 이웃노드 리스트에서 해당 노드를 삭제 한다.

그림 4는 적응적 이웃노드 리스트 관리 방안을 적용하기 위한 교통 환경을 보이고 있다. 검은색 지붕의 차

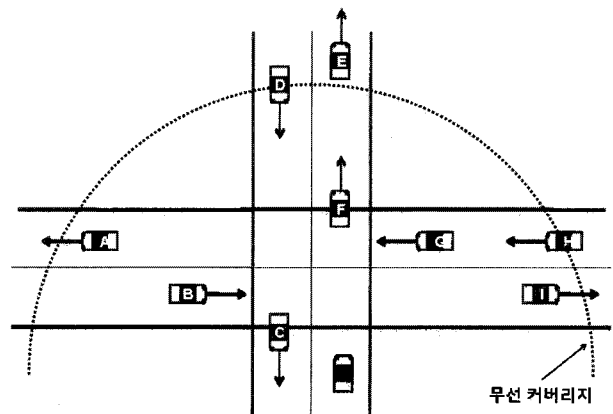


그림 4. 적응적 이웃노드 리스트 관리 방안의 적용환경
Fig. 4. An environment of the adaptive neighbor list management.

량을 중심노드로 설명되며, 점선으로 표시된 반원은 무선 커버리지를 나타낸다. 중심노드가 노드 A로부터 Hello 비콘을 받게 되면, 노드 A가 자신의 무선 커버리지로부터 이탈하고 있음을 판단할 수 있다. 또한 노드 D와 H로부터 Hello 비콘을 받게 되면, 이들은 곧 자신의 이웃노드가 될 수 있음을 추정할 수 있다. 위에서 언급한 규칙에 의해 STALE 플래그에 TRUE로 설정된 이웃노드는 라우팅 결정에서 제외시킨다. Hello 비콘의 수신 불안정으로 발생하는 stale 노드는 timeout 기법에 의해 시간이 흐름에 따라서 자연스럽게 이웃노드 리스트에서 제거된다.

2. 탐욕 경계우위 라우팅

고속으로 주행하는 차량으로 구성된 차량 애드 혹 네트워크에서 데이터 전달은 전송지연을 최소화해야 한다. 교통안전에 관련된 응용 도메인에서는 가능한 빨리 후위의 차량에게 정보를 전달해야 유효성을 갖는다. 무선 다중 홉 전송에서 전송지연을 줄이는 가장 유효한 접근은 무선 커버리지 가장자리에 위치한(커버리지 범위에서 가장 멀리 위치한) 노드를 중계노드로 선정하는 것이다^[14]. 이러한 기준으로 경계우위 부 그래프를 생성하기 위해서 송수신 노드가 동일한 도로상에 위치하는 경우에 한해서 이웃노드 리스트로부터 겹치는 링크를 제거한다. 도로의 특성상 차량의 진행방향을 기준으로 도로의 영역을 구분할 수 있다.

도로와 운행중인 차량의 특성을 반영한 경계우위 그래프 구성의 예를 그림 5에서 보이고 있다. 그림에서 두 개의 원은 각각 노드 v와 w의 무선 커버리지를 나타낸다. 노드 x, y, z 그리고 w는 노드 v의 이웃노드이

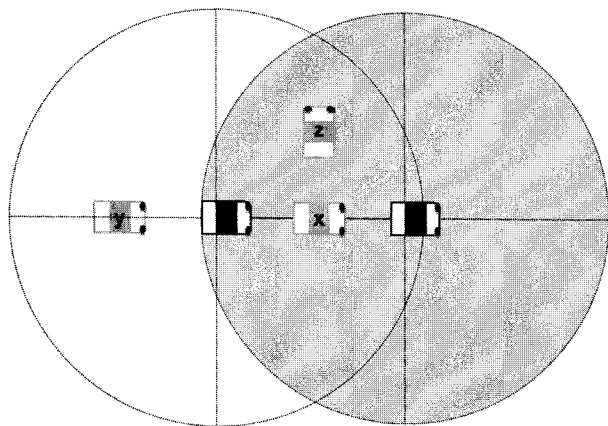


그림 5. 경계우위 그래프의 예
Fig. 5. An example of the border superior graph.

다. 여기서 링크 vx와 vz은 링크 vw에 의해 겹쳐있다. 한편 z은 xv와 진행방향이 다르므로 서로 다른 도로영역을 주행하고 있다. 따라서 링크 vx는 링크 vw에 의해 제거될 수 있지만 링크 vz은 링크 vw에 의해 제거될 수 없다. 링크 vy는 링크 vw에 의해서 중복되지 않기 때문에 제거되지 않는다. 경계우위 부 그래프를 생성하는 알고리즘은 다음과 같다.

```

for all x ∈ N do
  for all w ∈ N do
    if(x==w) then
      continue;
    else if(dist(v,x) > dist(v,w)
      && dist(v,x) > dist(x,w)
      && is_same_direction(x,w)) then
      eliminate edge(v,w);
      break;
    end if
  end for
end for

```

알고리즘에서 N은 v의 모든 이웃노드에 대한 리스트이고, x와 w는 v의 이웃들이다. dist(v, x)는 v와 x의 거리이고 is_same_direction(x,w)함수는 1(동일방향), 0

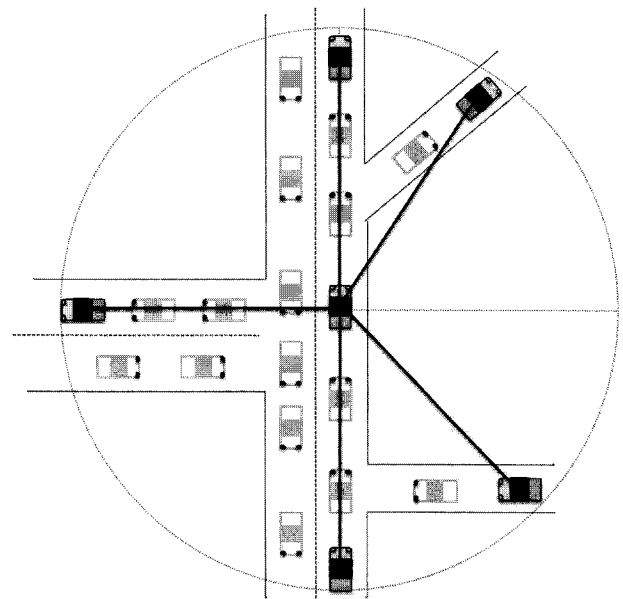


그림 6. 경계우위 부 그래프의 예
Fig. 6. An example of the border superior graph sub-graph.

(다른방향), -1(반대방향) 중의 하나의 값을 돌려준다. 만약에 두 노드들이 동일방향이거나 반대방향이라면, 그 링크는 경계우위 그래프에서 제거될 수 있다. 중복된 링크를 제거한 경계우위 부 그래프의 예를 그림 6에서 보이고 있다. 무선 커버리지 경계 부근에 위치한 노드와 형성된 링크로 인하여 중간에 위치한 노드들의 링크는 자연스럽게 제거된다.

본 논문에서 제안한 탐욕 경계우위 라우팅은 GPSR과 복구모드에서 중계노드를 선정하는 전략에서 큰 차이가 있다. 적응적 이웃노드 리스트 관리에 의해 얻어진 유효한 이웃노드 리스트를 활용하여 경계우위 부 그래프를 생성하고, 다음 중계노드의 선택은 오른손 법칙을 적용한다. 즉 자신과 목적지 노드사이의 가상 에지를 기준으로 시계반대 방향으로 가장 작은 각을 갖는 노드를 다음 중계노드로 선택한다. 이러한 방식을 적용하면 로컬 최대에 직면한 패킷은 탐욕적으로 우회경로를 선정하여 포워딩된다. 우회경로상의 노드는 자신과 목적지 노드까지의 거리가 직전 복구모드에서 계산된 목적지 노드까지의 거리보다 가깝게 되면 복구모드를 벗어나서 탐욕모드로 패킷 전송을 다시 시작한다.

3. GPSR과 GBSR의 복구모드 동작 비교

기반구조인 도로가 잘 구성된 도시의 교통 환경에서 전송되는 패킷은 로컬최대에 자주 직면하게 된다. 비록 탐욕 라우팅이 차량 간 통신에서 유용한 수단으로 알려져 있지만 로컬최대 문제의 유효적절한 해법은 라우팅 성능 관점에서 매우 중요한 의미를 갖는다.

라우팅 과정의 복구모드의 한 예를 그림 7에서 보이

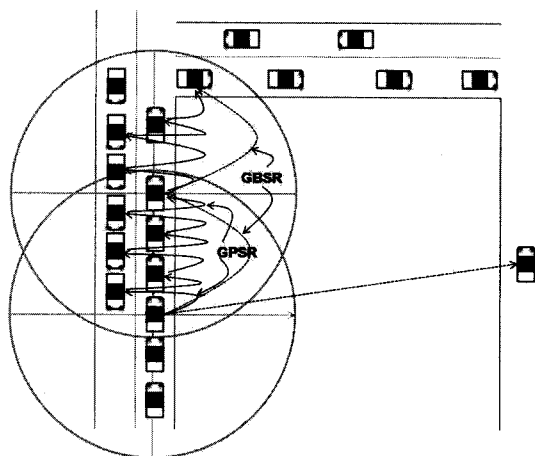


그림 7. GPSR과 GBSR의 동작 비교
Fig. 7. A comparison of the GPSR and GBSR's operation.

고 있다. 목적지 노드와 현재 노드사이의 다른 자동차들이 큰 장애물로 도로를 따라 일렬로 진행하고 있다. 이와 같은 상황에서 GPSR 알고리즘을 사용하는 노드는 임의의 평탄 그래프를 생성한 후에 현재 노드의 바로 다음에 위치한 노드에게 패킷을 포워딩한다. 이러한 짧은 거리의 포워딩은 패킷이 교차로에 도착할 때까지 반복된다.

그러나 GBSR은 복구모드에서 경계우위 그래프를 수단으로 다음 중계노드를 탐욕적으로 포워딩한다. 이러한 과정에서 GPCR^[14]과 GPSRJ^[15]의 경우와 다르게 GBSR은 어떠한 추가적인 정보도 요구하지 않는다. 그림에서 보이는 바와 같이 동일한 위상구조에서 GPSR은 패킷이 교차점에 도달하는데 9개의 홉을 거쳐야 하지만 GBSR은 단지 두 홉이 필요할 뿐이다. 탐욕모드에서 패킷은 두 프로토콜 모두 동일한 성능을 갖는다. 결과적으로 GBSR 프로토콜은 향상된 성능의 복구모드의 도움으로 GPSR 프로토콜보다 더 좋은 성능을 예측할 수 있다.

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 적응적 이웃노드 관리 기법과 탐욕 경계우위 라우팅의 유용성을 검증하기 위하여 GPSR과 비교한다. 특히 데이터 포워딩 관점에서 성능을 평가한다. 두 프로토콜은 탐욕모드에서 동일하게 동작하므로 실제 성능차이는 복구모드에서 기인한다. 프로토콜의 특징을 관찰하기 위하여 두 가지의 차량 이동성 모델을 사용한다. 즉 실제 지도에 근거한 GIS 이동성 모델과 도로가 그리드 형태로 구성된 Manhattan 이동성 모델이다.

1. 이동성 모델과 네트워크 시뮬레이션 파라미터

시뮬레이션은 NS-2(버전 2.3.2) 시뮬레이터^[21]를 이용하여 구현한다. 시뮬레이션 객관성을 확보하기 위하여 GIS와 Manhattan 이동성 모델을 두 프로토콜에 각각 적용하여 시뮬레이션을 수행한다. 이동성 모델은 Generic Mobility Simulation Framework(GMSF)^[22-23]에서 제공되는 것을 사용한다. 이동성 모델들은 3000m × 3000m 규모의 영역에 적용한다. 그림 8은 자동차의 이동성을 추적, 생성하기 위하여 사용된 도로 위상을 보여주고 있다. GIS 모델을 위해 스위스 취리히의 도심 지역의 지도를 사용하고 있다.

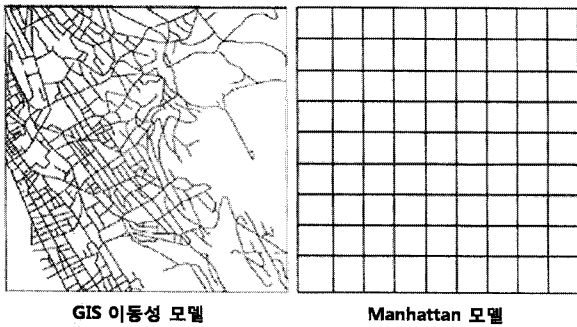


그림 8. 시뮬레이션에 사용된 GIS 및 Manhattan 모델
 Fig. 8. GIS and Manhattan mobility models for the simulation.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
 Table 1. Simulation parameters.

파라미터	값
차량의 수	100 ~ 1000 노드
네트워크 트래픽 부하	10% of CBR source(5~25%) Interval 200ms
패킷의 크기	512byte (256~1280byte)
MAC 프로토콜	IEEE 802.11 MAC
MAC 전송율	2 Mbps
전송범위	300m
HELLO 비콘 주기	1 second
시뮬레이션 시간	300 seconds

GIS 이동성 모델에는 선행하는 차량을 추월하지 않고 멈춤이 없이 선행차량을 뒤따르는 경우와 교차로 등에서 신호등 지시에 준하여 멈춤과 주행을 반복하는 경우가 적용된다. 이는 실제 지도상에서 거시적 이동성과 미시적 이동성을 반영하고 있다. 각 노드는 독립적으로 감속하거나 가속을 한다. 또한 각 도로 영역에서 지정된 제한속도를 따른다. 반면에 Manhattan 이동성 모델에도 선행차량 뒤따르기 경우와 정지신호를 적용하는 경우만을 적용한다.

그리드 구조상에서 이동성 변화를 반영하기 위함이다. 각 노드는 독립적으로 감속하거나 가속을 하며 최대속도는 54Km로 제한한다. 두 가지 모델에서 임의 노드가 시뮬레이션 영역의 경계선에 도달하면 되돌아서 영역내로 진입하는 것으로 한다. 따라서 시뮬레이션을 수행하는 동안에 전체 노드의 숫자는 변화되지 않는다.

시뮬레이션에서 사용된 파라미터는 표 1과 같다. 시뮬레이션이 진행되는 동안에 10%의 노드들이 송신 노

드로 랜덤하게 선택되며, 임의 송신 노드는 매 200ms마다 512byte 패킷을 생성한다. 네트워크 부하에 따른 성능 평가를 위해서 송신 노드의 수를 5%에서 25%를 변화하여 적용한다. 이때 노드의 수는 500, 패킷 크기는 512 바이트로 고정한다. 패킷의 크기에 따른 성능평가를 위해서 송신 노드 수는 10%로 고정하고 패킷 크기를 265 바이트에서 1280 바이트 범위에서 변화하여 적용한다. 동일한 조건하에서 실험은 10번씩을 수행하여 평균을 결과로 제시하고 있다. 그래프에서 GIS와 MAN은 각각의 이동성 모델을 표시한다.

2. 실험결과

적응적 이웃노드 리스트 관리 기법의 성능

본 논문에서 제안한 적응적 이웃노드 리스트 관리 기법을 사용하면 라우팅 노드는 효과적으로 이웃노드 리스트로부터 stale 노드를 구별할 수 있다. 패킷이 stale 노드에 전달되는 비율은 그림 9에서 보이는 바와 같이 매우 낮게 나타나고 있다. 반면에 GPSR은 stale 노드로 전달되는 패킷의 수가 노드 밀도의 증가에 따라서 선형적으로 증가한다. GPSR-A는 GPSR에 ANM 기법을 결합한 경우이다. GPSR-A와 GBSR은 노드 밀도와 상관없이 거의 0%에 근접하고 있다. 이로써 적응적 이웃노드 리스트 관리 기법의 유용성이 확인되고 있다. 적응적 이웃노드 리스트 관리 기법을 사용하는 GBSR과 동일한 조건을 맞추기 위해서 다음 서술부터 GPSR은 GPSR-A를 적용한다.

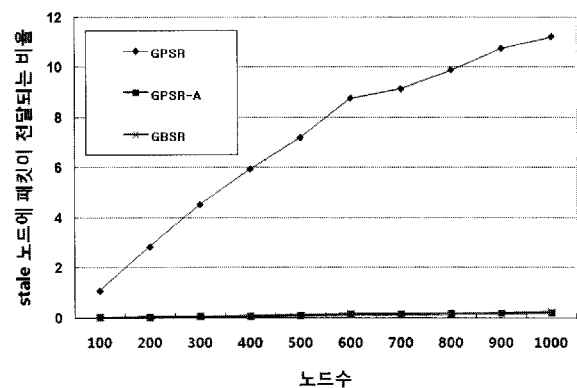


그림 9. 패킷이 stale 노드에 전달되는 비율
 Fig. 9. The packet ratio delivered to stale nodes.

패킷 전달율

GIS와 Manhattan 이동성 모델은 속성이 많이 다르

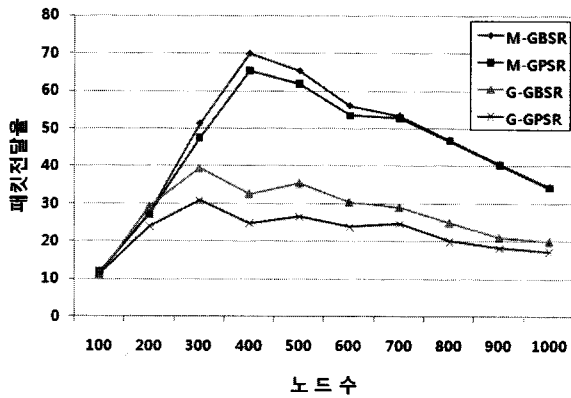


그림 10. 패킷 전달율
Fig. 10. The packet delivery ratio.

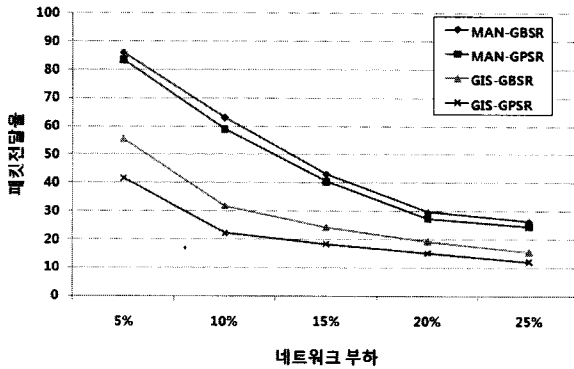


그림 11. 네트워크 부하에 따른 패킷 전달율
Fig. 11. The packet delivery ratio by network loads.

기 때문에 각 모델의 패킷 전달율을 분리하여 제시한다. 패킷의 전달 실패는 패킷 충돌, 특히 Hello 비콘과의 충돌에 의하여 대부분 발생한다. 한편 노드의 밀도가 상대적으로 낮은 경우에 라우팅 프로토콜이 패킷을 전달하지 못하여 손실되기도 한다. 그림 10에서 보이는 바와 같이 Manhattan 이동성 모델을 적용하는 경우에 두 프로토콜 사이에 성능은 약간의 차이를 보인다. 이는 대부분이 탐욕모드로 패킷을 전달하기 때문이다. 반면에 GIS 이동성 모델에서는 복구모드가 빈번하게 실행되기 때문에 향상된 복구모드를 지원하는 GBSR이 더 좋은 성능을 보이고 있다.

그림 11은 네트워크 부하의 변화에 따른 패킷 전달율을 각각 보이고 있다. 패킷의 수는 송신 노드의 증가에 비례하여 증가한다. GBSR이 상대적으로 우수한 결과를 보이고 있지만, 두 프로토콜 모두 네트워크 부하가 증가함에 따라서 패킷 전달율은 감소하고 있다. 이는 포워딩되는 패킷 수가 증가함에 따라 데이터 패킷과 Hello 비콘 사이에 충돌이 증가함을 의미한다.

GBSR 프로토콜은 향상된 복구모드를 적용함으로 인

하여 포워딩되는 패킷의 수가 줄어든다. 이는 패킷들의 충돌 가능성을 낮추는 효과를 가져다주며, 결과적으로 패킷 전달율을 높이는 요인으로 분석된다. 전체적으로 노드들이 규칙적으로 배치되는 Manhattan 이동성 모델이 GIS 이동성 모델보다 더 좋은 성능을 보이고 있다.

단일 홉 전송에 소요되는 평균 지연시간

그림 12는 단일 홉 전송에 소요되는 평균 지연시간을 보여준다. 빈번한 패킷 충돌에 따른 재전송으로 인하여 GIS 이동성 모델의 단일 홉 전송에 필요한 지연시간이 Manhattan 이동성 모델보다 더 높다. GIS 이동성 모델은 많은 노드들이 어떤 영역내에 집중적으로 배치되기 때문이다. Manhattan 이동성 모델에서는 두 프로토콜 간의 차이가 거의 없다. 노드의 이동성이 균일하지 않은 이유로 복구모드가 자주 발생하는 GIS 이동성 모델에서는 GBSR이 상대적으로 낮은 지연시간을 보인다. GBSR이 상대적으로 탐욕모드에 의해 패킷이 전달되는 비율이 높으며, 이는 라우팅의 효율이 높다는 것을 의미한다.

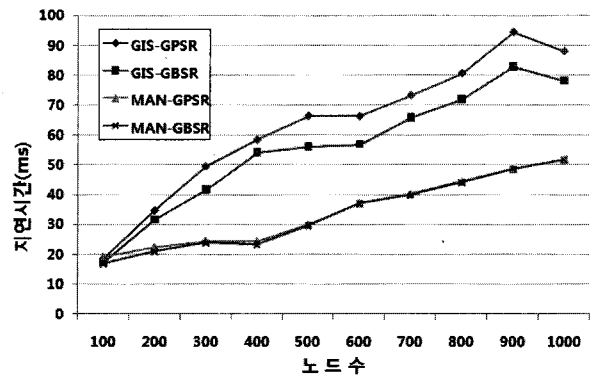


그림 12. 단일 홉 평균 전송 지연시간
Fig. 12. The average hop delay.

홉의 길이

그림 13은 각 방법의 적용에서 산출한 홉의 평균 길이를 보이고 있다. 두 프로토콜 모두 탐욕모드에서는 이웃노드들 중에서 가장 먼 노드를 선택되었기 때문에 홉의 길이의 차이는 복구모드에서 발생한다. 상대적으로 복구모드가 발생 빈도가 낮은 Manhattan 이동성 모델에서 두 프로토콜은 큰 차이를 보이지 않는다. 반면에 노드의 이동성이 균일하지 않은 GIS 이동성 모델에서는 패킷이 전송되는 홉의 평균 길이가 큰 차이를 보이고 있다.

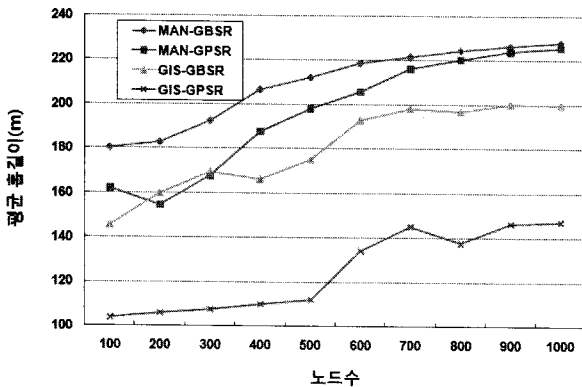


그림 13. 평균 홉의 길이
Fig. 13. The average hop distance.

V. 결 론

본 논문은 적응적으로 이웃노드 리스트를 관리하는 기법과 함께 탐욕적으로 패킷을 전달하는 경계우위 라우팅 프로토콜을 제안하고 있다. 적응적 이웃노드 리스트 관리 기법은 어떤 노드가 Hello 비콘을 받으면 이웃들의 현재 위치와 이전 위치를 비교함으로써 이웃리스트 중에서 스테일 노드를 구별하여 관리한다. 이 기법은 다른 방법에 비해서 추가적인 정보를 필요로 하지 않는다. 탐욕 경계우위 라우팅은 복구모드에서 평탄 그래프 대신에 경계우위 그래프를 사용한다. 어떤 노드의 경계우위 그래프는 이웃노드에 대한 완전한 로컬링크의 부분으로 구성된다. 무선 커버리지 경계상에 위치한 링크만을 남기고 겹치는 다른 링크는 제거한 형태이다. 따라서 복구모드에서도 탐욕적인 형태로 패킷을 전달되게 된다.

시뮬레이션의 결과로써, 적응적 이웃노드 리스트 관리 기법은 stale 노드의 수를 크게 줄이고 있다. 이는 무선 커버리지를 벗어난 노드를 유효하게 관리하는 좋은 수단으로 지리 기반 라우팅 프로토콜에 적용될 수 있다. 탐욕 경계우위 라우팅은 송신노드에서 목적지 노드까지 패킷의 전달에 참여하는 노드의 수를 감소시키고 홉의 길이를 증가시킴으로써 향상된 라우팅 성능을 보이고 있다. 추가적인 성능 개선이 가능한 방법론의 연구가 진행 중이다.

참 고 문 헌

[1] 유석대, 조기환, "차량동위그룹을 이용한 차량간 긴급메시지 전파방법," 한국정보과학회 논문지, 34

(5), pp. 340-347, 2007. 10

[2] Wireless Access for Vehicular Environment, http://www.standards.its.dot.gov/fact_sheet.asp

[3] Mobile Ad Hoc Network Working Group, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>

[4] IETF, "Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing," RFC 3561, Jul. 2003.

[5] IETF, "Optimized Link State Routing," RFC 3626, Oct. 2003.

[6] IETF, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network for IPv4," RFC 4728, Feb. 2007.

[7] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR : Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in proc. of ACM/IEEE MOBICOM'00, Aug. 2000, pp.243-254

[8] C. Xing, C. Lu, R. Pless et al, "On Greedy Geographic Routing Algorithms in Sensing Covered Networks," in proc. of ACM Mobihoc'04, May. 2004, pp.31-42

[9] F. Kuhn, R. Wattenhofer, et al., "Asymptotically Optimal Geometric Mobile Ad-hoc Routing," in proc. of the 6th ACM DIALM'02, 2002, pp.24-33

[10] Y. J. Kim, R. Govindan, B. Karp and S. Shenker, "Geographic Routing Made Practical," in proc. of the 2nd NSDI'05, 2005.

[11] Y. J. Kim, R. Govindan, B. Karp and S. Shenker, "On the Pitfalls of Geographic Routing," in proc. of the 3rd DIALM-POMC, Sep. 2005, pp.34-43

[12] Y. J. Kim, R. Govindan, B. Karp and S. Shenker, "Lazy Cross-Link Removal for Geographic Routing," in proc. of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems'06, Oct. 2006.

[13] B. Leong, B. Liskov and R. Morris, "Geographic Routing without Planarization," in proc. of the 3rd Symposium on Networked Systems Design & Implementation, 2006, pp. 339-352

[14] C. Lochert, M. Mauve and H. Fubler, "Geographic Routing in City Scenarios," Mobile Computing and Communications Review, 1.9 (1), 2004, pp.69-72

[15] K. C. Lee, J. Haerri, U. Lee and M. Gerla, "Enhanced Perimeter Routing for Geographic Forwarding Protocols in Urban Vehicular Scenarios," in proc. of Globecom Workshop'07, Nov. 2007, pp.1-10

[16] T. Camp, J. Boleng and L. Wilcox, "Location Information Services in Mobile Ad Hoc

Networks,” in proc. of the IEEE ICC’02, 2002, pp. 3318-3324

[17] F. Kuhn, R. Wattenhofer, Y. Zhong and A. Zollinger, “Geometric Ad-hoc Routing: of Theory and Practice,” in proc. of the 23rd ACM Symposium on Principles of Distributed Computing’03, Jul. 2003.

[18] E. Kranakis, H. Singh and J. Urrutia, “Compass Routing on Geometric Networks,” in proc. of the 11th Canadian Conference on Computational Geometry, 1999, pp.51-54

[19] G. Toussaint, “The Relative Neighborhood Graph of a Finite Planar Set,” in Pattern Recognition, 12 (4), pp.261-268, 1980.

[20] K. R. Gabriel and R. R. Sokal, “A New Statistical Approach to Geographic Variation Analysis,” in Systematic Zoology, Vol. 18, pp.259-278, 1969.

[21] The Network Simulator, ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

[21] Generic Mobility Simulation Framework, <http://polar9.ethz.ch/gmsf/>

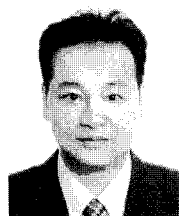
[23] P. Sommer, “Design and Analysis of Realistic Mobility Models for Wireless Mesh Networks,” Master Thesis of ETH, Zurich, Sep. 2007.

저 자 소 개



장 현 희(정회원)
 1987년 2월 원광대학교 전자계산 공학과 학사 졸업.
 2001년 2월 숭실대학교 정보과학 대학원 컴퓨터네트워크 전공 석사
 2006년 8월 전북대학교 컴퓨터 정보과 박사수료
 1991년 5월~현재 한국폴리텍V대학 김제캠퍼스 정보통신시스템과 교수.

<주관심분야 : 교통안전통신, 이동컴퓨팅, 컴퓨터 통신, 네트워크보안>



유 석 대(정회원)
 2000년 전북대학교 컴퓨터 정보학과 학사졸업
 2002년 전북대학교 전산통계학과 석사 졸업
 2007년 전북대학교 컴퓨터 통계학과 박사졸업
 2004년~2005년 한국전자통신연구원 계약직연구원

2007년~현재 미국 Purdue대학교 Computer Science 박사후 연구원

<주관심분야 : 교통안전통신, Delay Tolerant Networks, 차량 Ad-hoc네트워크, 센서네트워크>



박 재 복(정회원)
 2005년 호원대학교 컴퓨터학부 졸업(학사)
 2007년 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사)
 2000년~2003년 (주)서울전원 시스템 부설연구소 연구원

2007년~현재 전북대학교 전자정보공학부 박사과정

<관심분야 : 센서네트워크, 임베디드시스템, 이동 컴퓨팅, 위치추적시스템>



조 기 환(정회원)- 교신저자
 1985년 전남대학교 계산통계학과 학사 졸업
 1987년 서울대학교 계산통계학과 석사 졸업
 1996년 영국 Newcastle 대학교 전산학과 박사 졸업

1987년~1997년 한국전자통신연구원 선임연구원

1997년~1999년 목포대학교 컴퓨터과학과 전임강사

1999년~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수

2007년~현재 영상정보통신기술연구센터 센터장
 <주관심분야 : 이동컴퓨팅, 컴퓨터통신, 분산처리 시스템, 무선네트워크보안, 무선네트워크>