

논문 2006-43TC-9-11

차량 애드혹 네트워크를 위한 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘

(A Range-based Relay Node Selecting Algorithm for Vehicular Ad-hoc Network)

김 태 환*, 김 희 철**, 홍 원 기**

(Tae-Hwan Kim, Hie-Cheol Kim, and Won-Kee Hong)

요 약

VANET은 MANET과 달리 노드의 고속 이동성, 노드 밀도, 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화와 같은 차량 환경 고유의 특징을 가진다. 이러한 특징들은 MANET의 네트워크 토폴로지 기반 프로토콜을 VANET에 적용할 수 없는 주요 원인이 된다. 본 논문에서는 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘을 사용한 긴급경고메시지 브로드캐스팅 프로토콜을 제안하였다. 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘은 긴급 경고 메시지를 전달하는 릴레이 노드가 통신 영역의 가장 자리에 위치하지 않더라도 최적의 전달 대기 시간을 부여함으로써 종단간 메시지 전달 지연 시간을 최소화 할 수 있다. 또한, 긴급경고메시지 브로드캐스팅을 위한 제어 메시지 교환이 필요 없기 때문에 낮은 네트워크 부하를 가진다. 제안한 알고리즘은 낮은 노드 밀도와 짧은 전송 거리의 VANET 환경에서도 종단간 메시지 전달 지연 시간을 줄여 줄 수 있다.

Abstract

VANET has several different characteristics from MANET such as high mobility of nodes and frequent change of node density and network topology. Due to these characteristics, the network topology based protocol, often used in MANET, can not be applied to VANET. In this paper, we propose an emergency warning message broadcast protocol using range based relay node selecting algorithm, which determines the minimal waiting time spent by a given node before rebroadcasting the received warning message. Because the time is randomly calculated based on the distance between sender node and receiver node, a node chosen as a relay node is assured to have a minimal waiting time, even though it is not located at the border of radio transmission range. The proposed emergency warning message broadcast protocol has low network traffic because it does not need to exchange control messages for message broadcasting. In addition, it can reduce End-to-End delay under circumstances of low node density and short transmission range in VANET.

Keywords : VANET, Inter-vehicle communication, Broadcast, MANET, Wireless Network

I. 서 론

지능형 자동차를 위한 ITS(Intelligent Transportation System)의 핵심 기술로 부상하고 있는 VANET(Vehicular Ad-hoc Network, VANET)은 차량간 무선 통신을 기반으로 하는 모바일 애드 혹 네트워크

(Mobile Ad-hoc Network, MANET)의 일종이다¹⁻²⁾. VANET은 도로 주변의 기지국과 같은 기반시설의 도움 없이 차량 간의 자율적인 무선 통신을 통해 임시적인 네트워크를 구성한다. 이를 통해 원활한 교통흐름제어, 운전자의 안전 및 편의 그리고 자동차의 연비 및 성능 개선을 가져올 수 있다.

VANET은 이동 노드들 간의 자율적인 네트워크 구성이 가능하다는 점에서 기존의 MANET과 유사하다. 그러나, 신속하고 정확한 차량간 통신을 위해 노드의 고속 이동성(이하 본 논문에서는 차량을 간단히 노드라

* 학생회원, ** 정회원, 대구대학교 정보통신공학과
(Department of Information and Communication
Engineering, Daegu University)
접수일자: 2006년8월14일, 수정완료일: 2006년9월11일

칭한다), 네트워크 토폴로지와 노드밀도의 급변 등 차량환경에서 발생할 수 있는 여러 가지 특수한 상황들을 고려해야 한다. 이러한 특징들은 잦은 네트워크 단절, 짧은 링크 생존시간, 낮은 패킷 도착률, 라디오 간섭 등의 문제를 가져온다^[3]. MANET의 네트워크 프로토콜들은 이러한 특징들을 고려하지 않고 있기 때문에 VANET을 위한 새로운 네트워크 프로토콜이 요구된다.

VANET의 궁극적 목적은 차량과 운전자의 안전성 개선이라 할 수 있다. 이를 위해서는 신속하고 정확하게 도로의 위험 상황을 위험지역 내에 있는 다른 차량에 알려 사전에 위험에 대처할 수 있도록 해야 한다. 일반적으로, 다수의 차량에게 긴급경고메시지(Emergency Warning Message, EWM)를 전파할 수 있는 방식으로 브로드캐스트 방식이 많이 사용된다. 브로드캐스트는 송신 노드가 통신 범위 내의 모든 노드에게 동시에 패킷을 전달하는 방법이다. 대표적인 브로드캐스트 방식인 플러딩(Flooding)은 EWM을 전파하기 위해 모든 노드들이 송신노드와 수신노드의 역할을 한다^[4]. 이 방식은 매우 간단하기는 하지만, 모든 노드가 패킷전송에 참여하기 때문에 대역폭과 전송지연시간 증가로 인하여

급격한 성능 저하를 가져온다.

본 논문에서는 EWM 메시지를 후방 차량들에게 신속하게 전달하기 위한 새로운 브로드캐스팅 방식을 제안한다. 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘은 네트워크부하와 메시지 전달 지연 시간을 줄이기 위하여 EWM 브로드캐스팅에 참여하는 노드의 수를 제한하는 방식이다. 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘을 이용한 브로드캐스팅 프로토콜은 차량의 위치를 기반으로 하며, EWM 전송노드의 전송 영역 내에 있는 노드 중 최적의 전달 대기 시간을 갖는 노드만을 선택하여 EWM을 전달함으로써 종단간 메시지 전달 지연 시간과 네트워크 부하를 낮출 수 있다. 또한, 토폴로지 변화가 빈번한 차량환경에서도 안정된 성능을 갖는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 VANET 환경에서의 브로드캐스트를 위한 관련 연구들을 소개한다. III장에서는 본 논문에서 제안하는 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘을 제안한다. IV장에서는 제안한 알고리즘의 성능 평가를 수행하고 분석 결과를 설명한다. 마지막으로, V장에서 결론을 맺는다.

표 1. MANET과 VANET 비교
Table 1. Comparison of MANET and VANET.

Item	MANET	VANET
이동성	중/저속 (보행속도)	고속 (최대 200Km/h)
노드 생산 단가	비교적 저가	고가
네트워크 토폴로지 변화	느림	아주 빠르고 빈번하게 변화
노드의 밀도	낮음	높고 변화가 빠름
노드의 전송범위	100m 내외	400m 내외
노드의 전송 대역폭	협대역 (저속데이터)	비교적 광대역(고속데이터)
전력자원	저용량의 제한된 전원사용	고용량의 전원 사용(지속적으로 재충전)
노드의 생명 주기	전력 공급원의 성능에 의존	차량의 상태에 의존
컴퓨팅 능력	8~16bit 저속	32bit 이상의 고속
어드레싱 기법	속성기반 어드레싱 기법 (Attributed-based addressing)	위치기반 어드레싱 기법, 유일 ID사용 (location-based address or Unique ID)
멀티-홉 라우팅	가능 (로컬네트워크의 규모에 의존)	가능하지만 3~4 hop 제한됨 (차량의 밀도에 의존)
메시지 전송의 신뢰성 요구도	중간 (어플리케이션에 의존)	매우 높음 (주로 안전과 관련된 메시지)
노드의 위치 획득 방법	라디오 신호 강도 (RSSI) 및 초음파를 이용한 삼각측량기법	GPS
노드의 이동 패턴 (속도 및 방향)	임의 위치로 이동 (Random)	도로를 따라 정해진 이동경로를 가짐 (이동 방향 및 속도가 서로 연관되어 지며, 예측 가능함)
신뢰성 요구도	비교적 낮음	아주 높음

II. 관련연구

1. VANET과 MANET

VANET과 MANET의 공통점은 기지국이나 액세스 포인트(Access Point, AP)와 같은 기반 네트워크 시설의 도움 없이 이동 노드들에 의해 자율적으로 네트워크를 구성한다는 것이다. 그러나 표 1에서 보듯이 기존의 MANET과 VANET은 여러 가지 면에서 다른 특징을 가지고 있다. 일반적으로, MANET을 구성하는 노드는 노드 밀도의 변화와 이동성이 낮으며, 불규칙한 이동 패턴을 보인다^[5]. 반면, VANET은 노드 밀도의 변화가 빠르고 100km/h 이상의 높은 이동 속도를 가지며, 도로를 따라 비교적 규칙적인 이동패턴을 갖는다^[2]. 이러한 특징과 함께, VANET은 네트워크 토폴로지 변화가 매우 빠를 뿐 아니라 빈번하게 발생한다. 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화는 노드간 통신 링크의 생존주기를 더욱 짧게 만드는 요인이 된다^[3]. MANET을 구성하는 대부분의 노드는 제한된 전력자원을 가지기 때문에 주로 노드의 에너지 소비를 최소화하기 위한 MAC 및 라우팅 프로토콜의 개발에 주안을 두고 있다. 이에 반하여, VANET을 구성하는 노드들은 지속적으로 재충전되는 고용량의 차량 배터리를 사용하기 때문에 에너지 소비는 크게 문제되지 않는다.

2. VANET을 위한 브로드캐스트

VANET의 궁극적 목적은 차량 간의 무선 통신을 통해 운전자의 안전을 개선하는 것이다. 전술 했듯이, 응급상황이 발생한 차량이 이웃한 다수의 차량들에게 EWM을 전달 할 수 있는 효과적인 방법으로 브로드캐스트 프로토콜이 사용 될 수 있다. 유니캐스트나 멀티캐스트방식의 경우 EWM 발생 시 사전에 EWM 수신 노드를 알 수 없기 때문에 VANET을 위한 EWM 전달 방법으로 사용하기 어렵다. 브로드캐스팅은 주로 유니캐스트를 위한 경로 발견(Route Discovery) 매커니즘으로 사용되어 왔으며, 대표적으로 플러딩 방식을 들 수 있다. 플러딩은 구현이 간단하여 이동환경에도 메시지 도달성(Reachability)이 우수하다. 반면, 네트워크 내의 모든 노드들이 메시지 전달에 참여하기 때문에 메시지의 중복, 경쟁, 충돌 등으로 인한 오버헤드가 매우 높다. 특히, 네트워크 내의 노드 수가 증가함에 따라 대역폭과 전송 지연 시간 등의 네트워크 부하가 급격히 증가하는 단점을 갖고 있다^[6].

차량 운전자가 응급상황을 인지하고 차량이 완전히

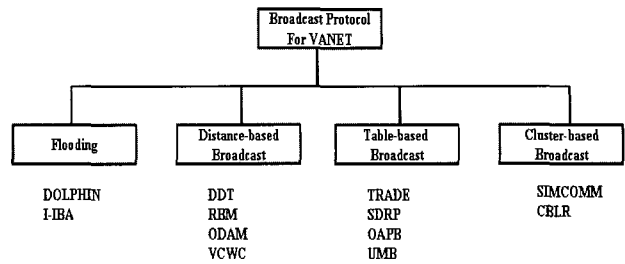


그림 1. VANET을 위한 브로드캐스팅 프로토콜
Fig. 1. Broadcasting protocols for VANET.

정지할 때까지의 시간은 공주시간과 제동시간의 합으로 구할 수 있다. 공주시간은 운전자가 응급상황을 인지하고 브레이크를 밟기 시작 할 때까지의 시간을 말하며, 제동시간은 브레이크가 작동하여 차량이 완전히 정지할 때까지의 시간이다. 통계에 따르면, 공주시간은 0.7sec~1.5sec이며, 이는 100km/h로 주행하는 차량이 19.44m~41.65m를 진행할 수 있는 시간이다^[7]. 따라서, 후방 차량이 앞 차량으로부터 도로의 결빙, 낙석, 안개, 공사, 사고 등과 같은 응급상황 정보가 포함된 EWM을 신속하게 전달 받아 공주시간을 줄일 수 있게 되면, 연쇄충돌과 같은 응급상황에서의 대처 능력을 크게 개선할 수 있다^[4]. 그러나, VANET을 통한 EWM 브로드캐스팅을 효과적으로 수행하기 위해서는 전송 지연 시간, 네트워크 부하, 도착성 등에 대한 개선이 선행 되어야 한다.

VANET을 위해 제안된 기존의 EWM 브로드캐스팅 프로토콜은 그림 1과 같이 분류해 볼 수 있다. 브로드캐스팅 프로토콜은 EWM 전달 시 노드의 역할과 전달 노드의 선정방식에 따라 플러딩, 거리 기반 브로드캐스트, 테이블 기반 브로드캐스트, 그리고 클러스터 기반 브로드캐스트 방식으로 나눌 수 있다. 이들 대부분은 차량들에 장착된 GPS를 통해 위치 정보를 획득한다.

플러딩 기반 브로드캐스트 기법은 EWM 전달에 참여하는 노드가 EWM을 재전달하는 횟수를 제한하여 네트워크 부하를 줄이는 방법을 제안하였으나, 플러딩의 특성으로 인한 네트워크 부하와 전송지연 등의 오버헤드는 크게 개선하지 못하였다. 플러딩 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 DOLPHIN^[8], I-IBA^[4] 등이 있다.

거리 기반 브로드캐스트 기법은 네트워크 부하와 전송지연 등을 줄이기 위해 통신 영역 내의 EWM 수신 노드 중 오직 하나의 노드만이 EWM을 전달하는 방법이다. 이때, 전달 노드의 선정은 메시지 송신 노드로부터의 거리를 기반으로 한다. 즉, 전달 노드마다 EWM 브로드캐스팅을 위해 기다리는 대기시간을 거리에 따라

다르게 하여 메시지 송신 노드로부터 가장 멀리 떨어진 가장자리 노드가 먼저 EWM을 전달할 수 있도록 한다. 거리 기반 브로드캐스트 기법은 노드의 밀도가 높은 경우 EWM 전송에 필요한 대역폭과 도착성이 우수하고 종단간 메시지 전달 지연 시간이 비교적 낮기 때문에 이동환경에 적합하다. 그러나, 노드의 밀도가 낮을 경우 종단간 메시지 전달 지연 시간이 길어지며 네트워크 단절로 인한 메시지 도착성이 떨어지는 단점을 가진다. 거리 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 DDT^[9], RBM^[10], ODAM^[11], VCWC^[12] 등이 있다.

테이블 기반 브로드캐스트 기법은 각 노드가 이웃 노드들의 위치정보 리스트를 유지하고, 전송 노드가 다음 EWM 전달 노드를 선택하는 방식이다. 각 노드의 이웃 노드 리스트 정보는 주기적 혹은 EWM 발생 시에 이웃 노드와 질의-응답 메커니즘을 사용한 제어 메시지 교환을 통해 유지 된다. 테이블 기반 브로드캐스트 기법은 플러딩 보다 오버헤드, 전송지연 시간, 도착성 등이 우수하다. 하지만, 노드의 이동성 증가에 따라 네트워크 토폴로지가 빈번히 변화할 경우 네트워크 부하뿐만 아니라 종단간 메시지 전달 지연 시간이 증가하는 단점을 가진다. 이것은 노드의 이동성이 증가 할수록 노드간의 제어 메시지 교환 주기가 짧아 짐에 따라 대역폭 낭비가 심해지기 때문이다. 대표적인 테이블 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 TRADE^[13], SDRP^[14], OAPB^[15], UMB^[16] 등이 있다.

클러스터 기반 브로드캐스트 기법은 도로를 일정한 영역의 클러스터로 구분하고, 클러스터 내의 노드들 중 클러스터 헤더를 선정하고 헤더를 통해 EWM을 브로드캐스트 하는 방식이다. 클러스터 기반 브로드캐스트 기법은 네트워크 토폴로지 변화가 작을 때는 비교적 우수한 성능을 보인다. 하지만, 노드의 이동성이 증가할 경우 네트워크 토폴로지 변화가 빈번해 짐에 따라 클러스터 멤버 재구성과 클러스터 헤더 선정을 위한 제어 메시지가 증가하기 때문에 성능이 급격히 감소되는 단점을 가진다. 클러스터 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 SIMCOMM^[17], CBLR^[18] 등이 있다.

앞서 설명한 바와 같이 VANET을 위한 브로드캐스트 프로토콜은 전송지연시간, 네트워크 부하 등의 문제가 해결 되어야 한다. 특히, VANET의 EWM 전송을 위한 브로드캐스트 프로토콜은 신속하게 도로의 위험 상황을 주변 차량에게 알릴 수 있어야 하므로 종단간 메시지 전달 지연 시간의 최소화가 무엇보다 중요하다 할 수 있다.

III. 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘

II장에서 살펴보았듯이, 플러딩, 테이블 기반 브로드캐스트 기법, 클러스터 기반 브로드캐스트 기법은 네트워크 토폴로지와 노드밀도의 변화에 따라 네트워크 부하와 종단간 메시지 전달 지연 시간 등의 성능 저하를 가져온다. 한편, 거리 기반 브로드캐스팅 프로토콜은 노드의 밀도가 낮을 경우 효율적인 가장자리 노드 선택이 어렵기 때문에 종단간 메시지 전달 지연 시간이 증가하는 문제점을 가지고 있다.

본 절에서는 노드 밀도에 상관없이 종단간 메시지 전달 지연 시간과 네트워크 부하를 낮출 수 있는 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘을 제안한다. 기존의 거리 기반 브로드캐스팅 프로토콜에서 각 노드의 EWM 전달을 위한 대기 시간은 송신 노드로부터의 거리에 따라 결정된다. 그림 2와 같이 EWM 전송 노드로부터 D1, D2, D3 만큼 떨어진 곳에 각각 v1, v2, v3 노드가 위치해 있을 경우, 각 노드는 EWM 전송 노드의 거리에 반비례하는 메시지 전달 대기 시간을 갖는다. 즉, EWM 전송 노드로부터 가장 가까이 있는 v1노드가 가장 긴 t3의 대기시간을 가지게 되고, 가장 멀리 있는 v3가 가장 짧은 t1의 대기 시간을 갖는다. 따라서, 각 노드의 EWM 전송 노드로부터의 거리에 따라 EWM을 전달하기 위한 대기시간 RWT_i는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$RWT_i = RWT_{max} - \left(\frac{d_i}{R} \cdot RWT_{max} \right) \quad (1)$$

여기에서 d는 EWM 송신 노드로부터의 거리이며, RWT_{max}는 최대 전달 대기 시간을 나타내며 R은 EWM 송신 노드의 전송 거리이다.

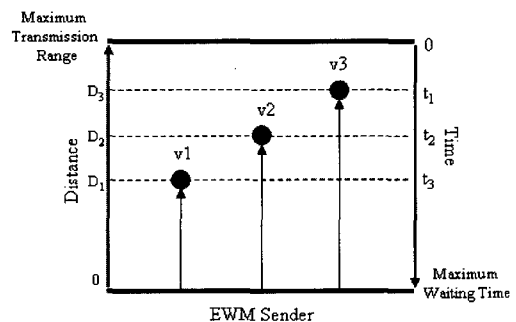
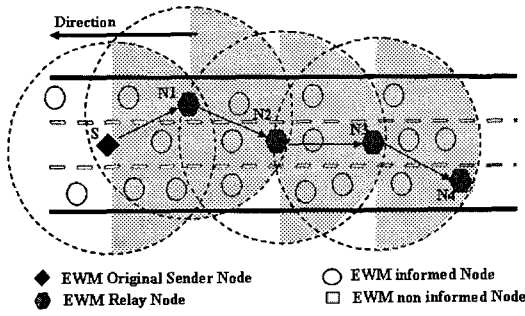
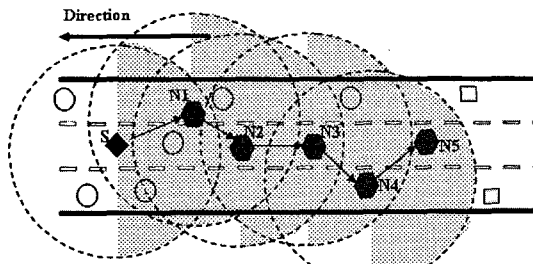


그림 2. 거리기반 EWM 브로드캐스팅의 메시지 전달 대기 시간
Fig. 2. Re-broadcast Waiting time of distance based EWM broadcast.



(a) 차량 밀도가 높을 경우
(a) High node density.



(b) 차량의 밀도가 낮을 경우
(b) Low node density

그림 3. 거리 기반 EWM 브로드캐스트
Fig. 3. Distance based EWM broadcast.

EWM을 수신한 노드는 메시지 재전달을 위해 거리에 따라 메시지 전달 대기 시간을 계산하고, 대기시간이 가장 먼저 만료된 노드만이 전송 영역 내의 노드들에게 브로드캐스팅 한다. 대기 시간은 거리가 멀수록 짧아지기 때문에 EWM을 브로드캐스팅하는 노드의 전송 영역 내에서 가장 멀리 떨어져 있는 경계 노드(Border Node)가 가장 먼저 EWM을 전달하게 된다. 이때, 이미 EWM을 수신한 노드가 메시지를 중복하여 수신하게 되면, 수신한 EWM 메시지를 파기하고 대기상태로 진입함으로써 브로드캐스트 스톰 문제^[6] (Broadcast Storm Problem)를 해결한다. 그러나, 이 방식은 송신 노드로부터의 거리에 따라 메시지 전달 대기 시간이 결정되기 때문에 EWM 전송노드의 가장자리에 노드가 위치하지 않을 경우 최적화된 대기 시간을 갖지 못한다는 문제점을 안고 있다.

그림 3은 거리기반 EWM 브로드캐스팅 프로토콜에서 가장자리 노드를 통한 EWM 재전송 과정을 보여준다. 네트워크 내의 각 노드는 원시 송신 노드(Original Sender Node), 릴레이 노드 (Relay Node), 릴레이 노드 후보 (Relay Node Candidate) 중에서 하나의 역할을 담당 할 수 있다. 그림 3에서, 처음 EWM을 만들어 브로드캐스팅한 S노드가 원시 전송 노드가 되며, EWM을

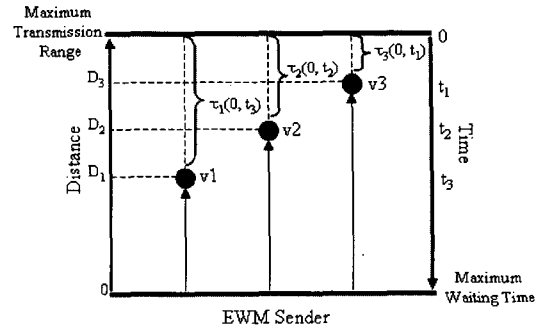


그림 4. 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘
Fig. 4. Range-based relay node selecting algorithm.

다른 노드에게 전달하는 N1, N2, N3, N4, N5 노드가 릴레이 노드가 된다. 그림 3에서 음영 부분은 릴레이 노드의 새로운 브로드캐스팅 영역을 나타내며, 음영부분 영역 내에 위치한 노드는 EWM 전달을 위한 릴레이 노드 후보가 된다. 그림 3 (a)와 같이 차량 밀도가 높을 때는 각 릴레이 노드의 통신 영역 내에 많은 수의 릴레이 노드 후보가 존재하기 때문에 통신영역내의 가장자리에 릴레이 후보 노드가 위치할 확률이 커진다. 따라서, 최적화된 메시지 전달 대기 시간을 가질 수 있기 때문에 EWM 전달 지연시간을 최소화할 수 있다. 그러나, 그림 3 (b)와 같이 도로상에 차량 밀도가 낮을 경우를 생각해 보자. 그림에서 보듯이, N2는 N1의 다음 릴레이 노드가 되고, N3는 N2의 다음 릴레이 노드로 결정 된다. 그러나, 실제로 N2와 N3가 EWM 전송 노드의 통신 영역의 가장자리에 위치하고 있지 않기 때문에 EWM 전달 대기시간은 그만큼 길어지게 된다. 따라서, EWM이 원시 송신 노드로부터 브로드캐스팅 범위 내의 마지막 노드까지 EWM이 전달되는 종단간 메시지 전달 지연 시간은 증가하게 된다.

본 논문에서 제안하는 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘은 통신 영역의 가장 자리에 노드가 위치하지 않더라도 EWM 송신 노드로부터의 거리를 기반으로 각 노드가 확률적으로 최소의 전달 대기 시간을 갖도록 한다. 그림 4와 같이 EWM 전송 노드로부터 D1, D2, D3 거리에 각각 v1, v2, v3의 릴레이 노드 후보가 있을 경우, 각 릴레이 노드 후보가 가질 수 있는 최대 전달 대기시간은 EWM 전송 노드로 부터의 거리에 반비례하는 시간 t_3, t_2, t_1 이 된다. 그리고 각 후보는 자신이 가질 수 있는 최대 전달 대기시간 내에서 임의의 시간 τ_1, τ_2, τ_3 를 선택하여 자신의 메시지 전달 대기 시간으로 사용한다. 따라서, EWM 전송 노드로부터 멀리 있는 노드일수록 더 짧은 메시지 전달 시간을 가질 확률은

더욱 커지게 되며, 통신 영역의 가장자리에 위치한 노드가 아니라 할지라도 보다 짧은 메시지 전달 시간을 갖게 된다. 또한, EWM 전송 노드로부터 가까이 있는 노드라 할지라도 짧은 메시지 전달 시간을 가질 수 있다. 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘을 통하여 각 릴레이 노드 후보가 가지는 메시지 전달 대기시간 RWT_i 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$RWT_i = \{RWT : 0 < RWT < ST_{max}\}$$

$$ST_{max} = RWT_{max} - \frac{d_i}{R} \cdot RWT_{max} \quad (2)$$

여기에서 ST_{max} 는 릴레이 노드 후보의 최대 메시지 전달 대기 시간이다.

브로드캐스팅 메시지 전달 범위 내의 모든 노드를 v_i , 릴레이 노드를 r_i , 릴레이 노드의 통신영역 이웃 노드를 n_i 라 하면, 이들 각각의 집합 V, R, N 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$$

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$$

$$N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$$
(3)

원시 송신 노드가 최초 EWM 을 브로드캐스트 한 후 네트워크 내의 모든 노드가 EWM을 수신 할 때까지의 EWM 전파 지연 시간 $T_{s,d}$ 는 식 (4)와 같이 근사화하여 나타낼 수 있다.

$$T_{s,d} = \sum_{i=1}^l (t_{com}(r_i) + t_{rwt}(r_i) + t_c(r_i))$$

$$t_c(r_i) = E(r_i) \cdot \Delta t \quad (4)$$

$t_{com}(r_i)$ 은 릴레이 노드 r_i 가 EWM을 수신한 뒤 프로토콜을 처리하는데 소요되는 계산 시간이며, $t_{rwt}(r_i)$ 는 릴레이 노드 r_i 의 EWM 전달 대기 시간이다. $t_c(r_i)$ 는 MAC 계층에서 EWM을 전송하기까지의 매체 접근 지연시간이며, 릴레이 노드 r_i 의 통신 영역 내에 동시에 EWM을 전송하는 이웃 노드 수 ($E(r_i)$)와 임의의 백오프 시간 (Δt)에 의해 결정된다. 따라서, 플러딩의 경우 t_{rwt} 는 없지만 전송영역 내의 모든 노드가 릴레이 노드가 되기 때문에 동시에 EWM을 전송할 경우 메시지 충돌과 재전송의 증가로 인하여 t_c 가 급격히 증가할 수 있다. 반면, 거리를 기반으로 하는 릴레이 노드 선택 방식은 통신 영역 내에 하나의 노드만이 릴레이 노드로 결정되기 때문에 EWM 전달 대기 시간 (t_{rwt})이 추가 되는 대신 매체 접근 지연 (t_c)를 최소화 할 수 있다.

그림 5는 본 논문에서 사용된 EWM의 메시지 형식

Original Sender Node Position	Relay Node Position	Delivery Range	Broadcast Data
F1	F2	F3	F4

그림 5. EWM 메시지 형식
Fig. 5. EWM Message format.

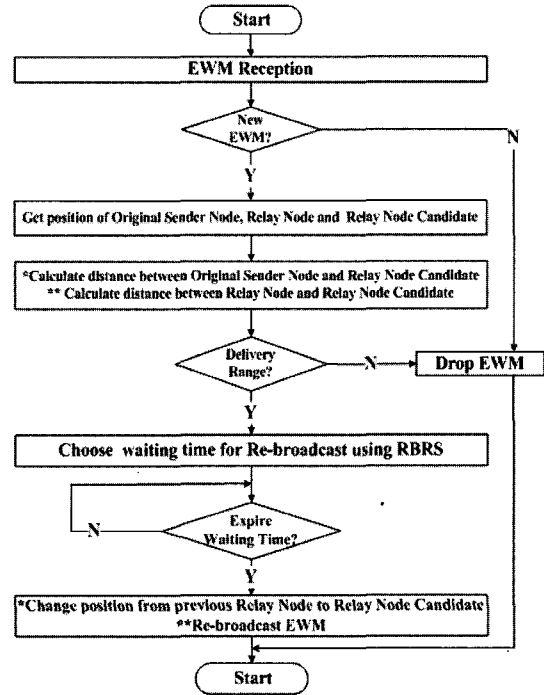


그림 6. 릴레이 노드 후보의 EWM 전달 과정
Fig. 6. EWM Broadcasting of relay node candidate.

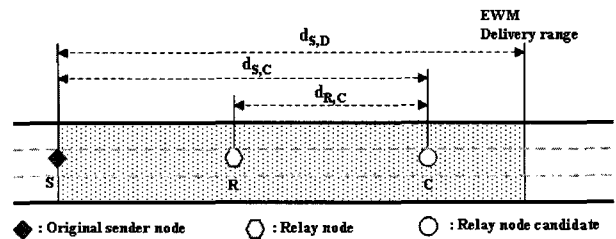


그림 7. 노드간 거리
Fig. 7. Distance between nodes.

을 나타내었다. EWM 메시지의 길이는 250 바이트이며, 원시 송신 노드의 위치, 이전 릴레이 노드의 위치, EWM 메시지의 전달 범위 그리고 전달 데이터 등 4개 항목으로 구성되어 있다.

그림 6은 릴레이 노드 후보가 EWM을 수신하고 메시지를 재전달 하기까지의 과정을 나타내었다. 릴레이 노드 후보가 EWM을 수신한 후, 수신한 메시지가 새로운 EWM인지를 판단하여 이미 수신된 메시지이면 수신된 EWM을 파기한다. 이어서, 수신된 EWM에 포함되어 있는 원시 송신 노드의 위치 정보와 이전 릴레이

노드의 위치정보를 추출하고 GPS를 통해 릴레이 노드 후보 자신의 위치정보를 획득한다. 그리고, 그림 7과 같이 원시 송신 노드 S와 릴레이 노드 후보 C 사이의 거리 $d_{S,C}$ 와, 릴레이 노드 R과 릴레이 노드 후보 C 사이의 거리 $d_{R,C}$ 를 계산한다. 이때, 릴레이 노드 후보 C는 $d_{S,C} \leq d_{S,D}$ 를 만족하는지를 판단하며, EWM 브로드캐스팅 범위를 벗어난다면 수신한 EWM을 파기하고 EWM 전달을 시도하지 않는다. 만약 릴레이 노드 후보가 EWM 브로드캐스팅 범위 내에 있다면, 수식 (2)에 따라 EWM 전달 대기시간을 결정한다. EWM 전달 대기시간이 만료되면 수신한 EWM 메시지에 포함된 이전 릴레이 노드의 위치를 릴레이 노드 후보 자신의 위치로 바꾸어 EWM을 재전달 한다. 이처럼, 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘은 EWM 송신 노드의 전송 영역 가장자리로부터 떨어져 있는 노드라 할지라도 메시지 대기 전달 시간을 최소화할 수 있기 때문에 도로 상의 차량 밀도가 낮은 환경에서도 중단간 메시지 전달 지연 시간을 줄일 수 있다.

IV. 성능평가

본 절에서는 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘의 노드 밀도와 전송거리의 변화에 따른 네트워크 부하와 전달 지연 시간의 변화를 살펴본다.

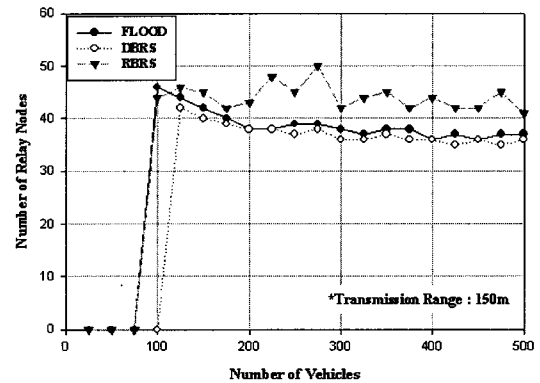
표 2는 시뮬레이션을 위한 네트워크 환경을 보여준다. 실험에 사용된 모든 노드는 GPS를 통해 자신의 위치를 알 수 있다. 또한, 각 노드는 무선 통신 장치를 가지고 있으며, IEEE 802.11 DCF(Distribution Control Function) MAC을 사용하는 것을 가정하였다. 표 3은 시뮬레이션을 위한 도로 환경을 나타내었으며, 차량의 차선 변경 및 추월은 고려하지 않았다. 도로 상의 차량 위치는 정규 분포를 갖는다. 실험에서 노드의 밀도는 전송거리가 150m인 노드를 25개씩 500노드까지 증가하여 실험하였으며, 노드의 전송거리는 5km 길이의 도로

표 2. 네트워크 환경
Table 2. Network environment.

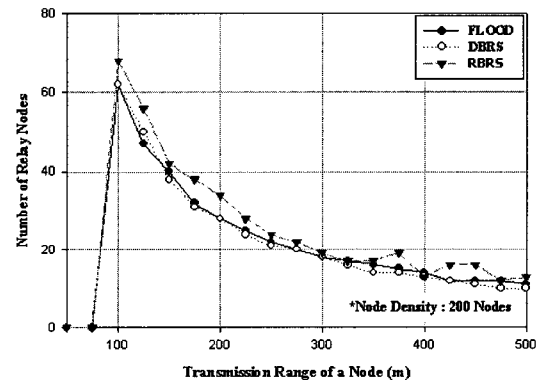
Item	Value
Transmission Range	150m (Default)
Packet Length	250 byte
Channel Bandwidth	2M bps
Packet Propagation Delay	0.125 μ S (250 byte)
Computation Time	1ms
RWT _{max}	10ms

표 3. 도로환경
Table 3. Road environment.

Item	Value
Length of Road	5 km
Width of Lane	3.6 m
Road Direction	One Way
Lanes	3
Average Speed of Node	100km/h
Traffic Density	13 veh/lane/km (Default)
Length of Vehicle	4m



(a) 노드 밀도에 따른 릴레이 노드 수 변화
(a) Node density versus number of relay nodes.



(b) 전송거리에 따른 릴레이 노드 수 변화
(b) Transmission range versus Number of relay nodes.

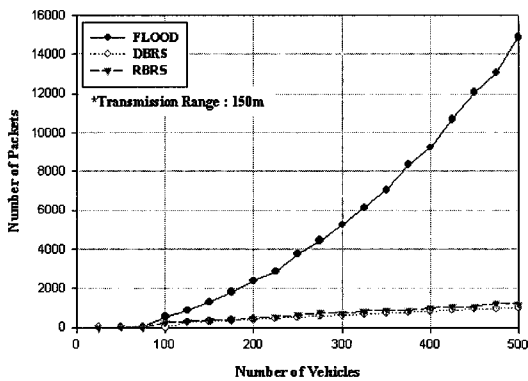
그림 8. 릴레이 노드 수
Fig. 8. Number of relay nodes.

상에 200개의 노드를 기준으로 25m씩 500m까지 변화하여 실험 하였다. 그림 8, 9, 10에서와 같이 노드 밀도가 125개 이하와 전송거리 125m 이하에서는 빈번한 네트워크 단절로 네트워크상의 모든 노드가 100%의 EWM 수신률을 보이지 못하였다.

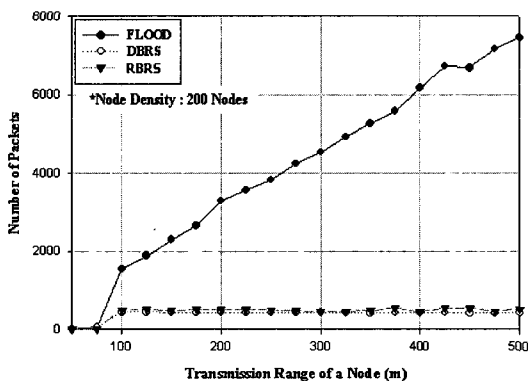
그림 8은 노드 밀도와 전송거리가 증가할 경우 플러딩, 거리 기반 릴레이 노드 선택 방식 (Distance Based Relay Selection, DBRS)과 영역 기반 릴레이 노드 선택 방식 (Range Based Relay Selection, RBRS)의 최소 릴레이 노드 수에 대한 실험 결과를 보여준다. 그림 8에

서 릴레이 노드 수가 0인 것은 네트워크 단절로 EWM이 도로상의 모든 노드에게 전달되지 않았음을 나타낸다. 실험결과 DBRS의 릴레이 노드 수가 가장 작은 반면, RBR5가 가장 많은 릴레이 노드 수를 보였다. 특히, 실험에서 노드의 수를 500개 까지 증가시킬 경우 RBR5의 릴레이 노드 수는 DBRS에 비해 평균 1.18배 많았으며, 노드의 전송거리를 500m까지 증가시킬 경우 DBRS에 비해 평균 1.17배 많은 릴레이 노드 수를 보였다. 이것은 DBRS가 EWM 전송 노드로 부터의 거리만을 기반으로 릴레이 노드를 선택하는 반면, RBR5는 거리와 확률에 의해 릴레이 노드를 선택하기 때문이다. 즉, EWM 전송 노드의 가장자리에 노드가 위치해 있음에도 불구하고 EWM 전송 노드에 가까운 거리의 노드가 다음 릴레이 노드로 선택될 경우, EWM 전달을 위한 릴레이 노드의 수가 증가 할 수 있기 때문이다. 여기에서 플러딩은 5km 길이의 도로상에 모든 노드가 EWM을 수신하기 위한 최소 릴레이 노드 수를 나타낸다.

노드의 밀도와 전송거리 증가에 따른 네트워크 부하



(a) 노드 밀도에 따른 네트워크 부하 변화
(a) Node density versus network load.

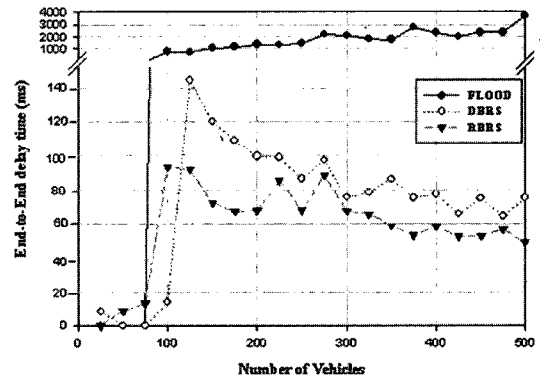


(b) 전송거리에 따른 네트워크 부하 변화
(b) Transmission range versus network load.

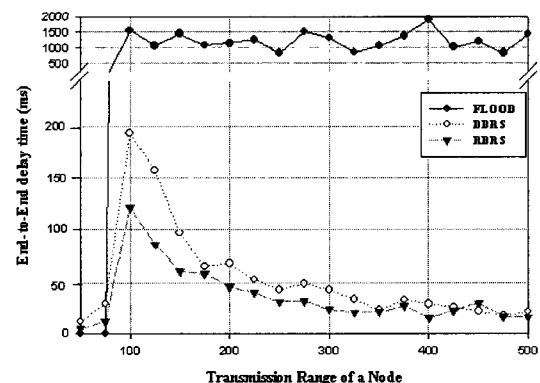
그림 9. 네트워크 부하
Fig. 9. Network load.

를 그림 9에 나타내었으며, 네트워크 부하는 네트워크 내의 각 노드가 수신한 EWM의 합으로 계산하였다. 실험결과 플러딩 방식은 노드 수와 전송거리가 증가함에 따라 브로드캐스트 스톱 문제 때문에 네트워크 부하가 급격히 증가 하였다. 반면, DBRS와 RBR5는 플러딩에 비하여 노드수가 500개 까지 증가할 경우 평균 7배의 낮은 증가율을 보였으며, 노드의 전송거리가 500m까지 증가할 경우 평균 9배의 매우 낮은 증가율을 보였다. RBR5는 DBRS에 비해 평균 17% 약간 높은 네트워크 부하를 보였다. 이것은, RBR5의 릴레이 노드 수가 DBRS 보다 1.17배 많기 때문이다.

그림 10은 노드의 밀도와 전송거리의 증가에 따라 5km 길이의 네트워크 내의 모든 노드가 EWM을 수신할 때까지의 종단간 메시지 전달 지연 시간을 나타내었다. 실험 결과 플러딩은 노드의 수가 500개 까지 증가할 경우와 전송 거리가 500m까지 증가할 경우 1초 이상의 가장 긴 전달지연 시간을 보였다. 반면, RBR5와 DBRS는 200ms 이하의 EWM 전달지연 시간을 보였으며, 플



(a) 노드 밀도에 따른 종단간 메시지 전달 지연 시간
(a) Node density versus end-to-end delay time.



(b) 전송거리에 따른 종단간 메시지 전달 지연 시간
(b) Transmission range versus end-to-end delay time

그림 10. 종단간 메시지 전달 지연 시간
Fig. 10. End-to-end delay time.

러딩에 비해 평균 30배 이상의 짧은 전달 지연 시간을 보였다. 이것은 플러딩이 노드 밀도와 전송거리가 증가함에 따라 EWM 패킷의 충돌, 재전송, 매체접근지연이 증가하기 때문이다. RBRS는 DBRS에 비하여 노드수가 증가 할 경우, 평균 35% 짧은 EWM 전달 지연시간을 보였으며, 전송거리가 증가할 경우 평균 40% 짧은 지연 시간을 보였다. 특히, RBRS는 노드의 수가 250개 이하로 낮은 노드 밀도를 가질 경우, DBRS의 전달 지연 시간에 비해 46% 감소하였으며, 250m이하의 짧은 전송거리에서는 종단간 메시지 전달 지연 시간을 45% 줄여줄 수 있었다. 이는 RBRS가 EWM 전송 노드의 가장자리에 노드가 위치하지 않더라도 최적의 메시지 전달 대기 시간을 갖기 때문이다.

V. 결 론

VANET은 기반시설의 도움 없이 차량 간의 무선통신을 기반으로 자율적인 네트워크 구성을 통해 교통흐름제어, 운전자의 안전 및 편의 등을 크게 개선할 수 있다. 특히, 응급 차량의 긴급 경고 메시지를 이웃 차량에게 신속 정확하게 전달함으로써 운전자의 안전을 크게 개선 할 수 있다. 그러나, VANET은 노드의 고속 이동성, 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화, 노드 밀도의 급변 등 기존 MANET에서 볼 수 없었던 차량 환경만의 고유 특징을 가진다. 이러한 VANET의 특징들은 기존 MANET에서 사용되던 네트워크 토폴로지 기반 프로토콜을 그대로 적용하기 어렵게 한다. 따라서, VANET 환경을 고려한 브로드캐스트 프로토콜이 요구된다.

본 논문에서는 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘을 사용한 EWM 브로드캐스트 프로토콜을 제안하였다. 영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘은 전송 노드의 통신 영역 가장 자리에 노드가 위치하지 않더라도 최적의 메시지 전달 대기 시간을 갖게 할 수 있다. 또한, 브로드캐스팅을 위한 제어메시지 교환이 필요 없기 때문에 네트워크 부하를 최소화할 수 있다.

시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘을 사용한 브로드캐스트 프로토콜이 플러딩에 비하여 평균 30배, 거리기반 브로드캐스팅 프로토콜에 비하여 평균 35% 정도의 종단간 메시지 전달 지연 시간을 줄여줄 수 있었다. 특히, 노드 밀도가 17 vehicle/lane/km 이하의 낮은 노드 밀도와 노드의 전송거리가 250m 이하인 짧은 전송거리에서는 거리 기반 브로드캐스팅 프로토콜보다 평균 45% 짧은 종단간 메시지 전달 지연 시간을 보였다. 네트워크 부하의 경우 거리 기반 브로드캐스팅 프로토콜에 비하

여 평균 17%의 약간 높은 네트워크 부하를 보였지만 무시할 수 있을 만큼의 낮은 증가를 보였다.

영역 기반 릴레이 노드 선택 알고리즘은 종단간 메시지 전달 지연 시간과 네트워크 부하가 낮기 때문에 노드의 이동에 따른 네트워크 토폴로지가 빈번히 변화할 때에도 좋은 성능을 보일 것으로 기대 된다. 특히, 제안한 프로토콜은 VANET환경에서 유니캐스트를 위한 라우팅 프로토콜의 경로 발견을 위한 브로드캐스팅 프로토콜로 사용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] J. J. Blum, A. Eskandarian, L.J. Hoffman, "Challenges of inter-vehicle ad hoc networks", Intelligent Transportation Systems, IEEE Tran. on Vol. 5, Issue 4, pp. 347-351, Dec. 2004.
- [2] M. Torrent-Moreno, M. Killat, H. Hartenstein, "The challenges of robust inter-vehicle communications", Vehicular Technology Conf. 2005. VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd Vol. 1, pp. 319-323, Sept. 2005.
- [3] M.M. Artimy, W. Robertson, W.J. Phillips, "Connectivity in inter-vehicle ad hoc networks", Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on Vol. 1, pp. 293-298, May 2004.
- [4] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion, "Vehicle - to -vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety ", Communications Magazine, IEEE Vol. 44, Issue 1, pp. 74-82, Jan. 2006.
- [5] B.M. Royer, T. Chai-Keong, " A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks", Personal Communications, IEEE Vol. 6, Issue 2, April 1999 pp. 46-55, April 1999.
- [6] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen, J. Sheu., "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network", In ACM MOBICOM '99, pp. 151-162, Aug. 1999.
- [7] M. Green, "How Long Does It Take to Stop? Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Time", Transportation Human Factors, 2(3), pp. 195-216, 2000.
- [8] K. Tokuda, M. Akiyama, H. Fujii, "DOLPHIN for inter-vehicle communications system", Intelligent Vehicles Symposium, 2000. IV 2000. Proceedings of the IEEE, pp. 504-509, Oct. 2000.
- [9] S. Min-Te, F. Wu-Chi, L. Ten-Hwang, K. Yamada, H. Okada, K. Fujimura, "GPS-based

- message broadcast for adaptive inter-vehicle communications”, Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE VTS-Fall VTC 2000. 52nd. Vol. 6, pp. 2685-2692, Sept. 2000.
- [10] L. Briesemeister, G. Hommel, “Role-based multicast in highly mobile but sparsely connected ad hoc networks”, Mobile and Ad Hoc Networking and Computing, 2000. MobiHOC. 2000 First Annual Workshop, pp. 45-50, Aug. 2000.
- [11] B. Abderrahim, “Optimized Dissemination of Alarm Messages in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET)”, High Speed Networks and Multimedia Communications 7th IEEE Int. Conf., HSNMC 2004, LNCS Vol. 3079, pp. 655-666, 2004.
- [12] Y. Xue, L. Jie, Z. Feng, V. Nitin, “Vehicle-to-vehicle Communication Protocol for Cooperative Collision Warning”, The First Annual Int. Conf. on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous’04), pp. 114-123, Aug. 2004.
- [13] S. Min-Te, F. Wu-Chi, L. Ten-Hwang, K. Yamada, H. Okada, K. Fujimura, “GPS-Based Message Broadcasting for Inter-vehicle Communication”, Parallel Processing, 2000. Int. Conf., pp. 279-286, Aug. 2000.
- [14] S. Massashi, F. Mayoko, U. Takaaki, H. Teruo, “Inter-Vehicle ad-hoc Communication Protocol for Acquiring Local Traffic Information”, The 11th World Congress on ITS, Nov. 2004.
- [15] H. Alshaer, E. Horlait, “An optimized adaptive broadcast scheme for inter-vehicle communication”, Vehicular Technology Conf., VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st Vol. 5, pp. 2840-2844, May 2005.
- [16] K. Gokhan, E. Eylem, O. Fusun, O. Umit, “Urban Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems”, Proceedings of First ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2004), pp. 76-85, Oct. 2004.
- [17] M. Durrresi, A. Durrresi, L. Barolli, “Sensor inter-vehicle communication for safer highways”, Advanced Information Networking and Applications, 2005. AINA 2005. 19th Int. Conf. on Vol. 2, pp. 599-604, Mar. 2005.
- [18] R.A. Santos, R.M. Edwards, A. Edwards, “Cluster-based location routing algorithm for vehicle to vehicle communication”, Radio and Wireless Conference, 2004 IEEE, pp. 39-42, Sept. 2004.

저 자 소 개



김 태 환(학생회원)
 2002년 대구대학교
 전자공학과 학사
 2004년 대구대학교
 정보통신공학과 석사
 2004년~현재 대구대학교
 정보통신공학과 박사과정
 <주관심분야 : 모바일 애드혹 네트워크, 무선 센서 네트워크>



김 희 철(정회원)
 1983년 연세대학교
 전자공학과 학사
 1990년 University of Southern California 컴퓨터공학 석사
 1990년 University of Southern California 컴퓨터공학 박사
 1997년~현재 대구대학교 정보통신공학과 부교수.
 <주관심분야 : 무선 센서 네트워크, 그리드 컴퓨팅, 미들웨어>



홍 원 기(정회원)
 1995년 연세대학교
 컴퓨터과학과 학사
 1997년 연세대학교
 컴퓨터과학과 석사
 2001년 연세대학교
 컴퓨터과학과 박사
 2004년~현재 대구대학교 정보통신공학과 조교수
 <주관심분야 : 무선 센서 네트워크, 임베디드 시스템>