

# 차량간 통신에서 긴급 메시지 전파를 위한 적응적 릴레이 노드 선정기법

김 태 환<sup>†</sup> · 홍 원 기<sup>\*\*</sup> · 김 희 철<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

차량 애드혹 네트워크는 기반 시설의 도움 없이 차량간 무선통신을 통해 구성되는 임시 네트워크이다. 특히, 운전자의 안전과 관련된 교통 정보가 다루어지기 때문에 신속한 메시지 전파가 요구된다. 이를 위한 대표적인 메시지 전파 기법으로 거리 기반 브로드캐스트 기법이 있다. 이 기법은 소스노드로부터의 거리를 기반으로 메시지 전파 노드를 선택한다. 그러나 각 메시지 전파 노드가 소스노드의 통신범위 가장자리에 위치하지 않을 경우 메시지 전파 지연시간이 증가하는 문제점을 가지고 있다. 특히, 노드의 밀도가 낮을 경우 메시지 전파 지연시간은 더욱 증가한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 시간창 예약 기반 릴레이 노드 선정기법을 사용한 브로드캐스트 프로토콜을 제안하였다. 제안한 기법은 각 노드가 주어진 시간창 내에서 임의의 메시지 전송 대기시간을 선택한다. 각 노드의 시간창은 릴레이 노드로부터의 거리에 따라 각기 다른 시간범위를 갖게 되며, 소스노드의 통신영역의 가장자리에 좀 더 가까이 위치한 노드가 다음 릴레이 노드로 선택될 수 있도록 주어진 시간창의 일부를 예약한다. 실험결과, 시간창 예약 기반 릴레이 노드 선정기법을 사용한 브로드캐스트 프로토콜이 거리 기반 브로드캐스트보다 노드밀도의 변화에 상관없이 더 짧은 종단간 메시지 전파 지연시간을 보였다. 특히, 노드밀도가 낮을 경우 25.7% 짧은 종단간 메시지 전파 지연시간을 보였으며, 지연시간과 네트워크 부하의 합성성능은 제안한 기법이 46% 우수한 성능을 보였다.

키워드 : 차량 애드혹 네트워크, 멀티-홉 브로드캐스트, 긴급 메시지 전파, 차량간 통신

## An Adaptive Relay Node Selection Scheme for Alert Message Propagation in Inter-vehicle Communication

Tae-Hwan Kim<sup>†</sup> · Won-Kee Hong<sup>\*\*</sup> · Hie-Cheol Kim<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Vehicular ad-hoc networks is temporarily established through inter-vehicle communication without any additional infrastructure aids. It requires a immediate message propagation because it mainly deals with critical traffic information such as traffic accidents. The distance-based broadcast scheme is one of the representative broadcast schemes for vehicular ad-hoc network. In this scheme, a node to disseminate messages is selected based on a distance from a source node. However, a message propagation delay will be increased if the relay nodes are not placed at the border of transmission range of the source node. In particular, when the node density is low, the message propagation delay is getting longer. In this paper, we propose a time-window reservation based relay node selection scheme. A node receiving the alert message from the source node has its time-window and randomly selects its waiting time within the given time-window range. A proportional time period of the given time-window is reserved in order to reduce the message propagation delay. The experimental results show that the proposed scheme has shorter message propagation delay than the distance-based broadcast scheme irrespective of node density in VANET. In particular, when the node density is low, the proposed scheme shows about 26% shorter delay and about 46% better performance in terms of compound metric, which is a function of propagation latency and network traffic.

Key Words : Vehicular Ad-hoc Network, Multi-hop broadcast, Alert Message Propagation, Inter-vehicle Communication

### 1. 서 론

VANET(vehicular ad-hoc network)은 기지국이나 액세

스 포인트와 같은 기반 시설의 도움 없이 이동 노드<sup>1)</sup>들에 의해 임시적으로 네트워크를 구성하는 점에서 MANET과 유사하다[1]. 그러나 VANET은 MANET과 달리 노드의 이동이 빠르고, 네트워크 토폴로지와 노드밀도의 빈번한 변화 그리고 잦은 네트워크 단절 등의 특징을 갖는다[2]. 기존의

\* 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음.(KRF-2006-331-D00339)

† 정 회 원: 유비쿼터스 신기술 연구센터 선임연구원

\*\* 정 회 원: 대구대학교 정보통신공학부 조교수(교신저자)

\*\*\* 정 회 원: 대구대학교 정보통신공학부 부교수

논문접수: 2007년 6월 29일, 심사완료: 2007년 10월 2일

1) 본 논문에서는 차량을 간단히 노드라 표현함

전통적인 네트워크 프로토콜에서는 이러한 특징들이 고려되지 않고 있기 때문에 VANET에서 좋은 성능을 기대하기 어렵다. 특히, VANET에서 노드들은 도로를 따라 이동하기 때문에 방향성을 가진 메시지 전파 기법이 요구되며, 운전자의 안전과 관련된 데이터가 주로 다루어지기 때문에 무엇보다 신속한 메시지 전파 프로토콜이 요구된다.

일반적으로, 무선 애드-혹 네트워크에서 브로드캐스트는 일대다 통신 모델로서 단일-홉 거리 내에 있는 모든 노드들에게 동시에 동일한 메시지를 전달하기 위해 사용된다. 그러나 VANET에서 브로드캐스트는 메시지 전달 범위가 넓고 다수의 노드들에게 메시지가 전파되어야 하기 때문에 주로 멀티-홉을 통해 메시지 전달이 이루어진다. 이때, 전파할 메시지를 가진 노드를 소스노드라 하고, 메시지 전파의 임무를 담당하는 노드를 릴레이 노드라 한다. VANET에서 전파되는 메시지는 주로 운전자의 안전과 관련된 교통정보이기 때문에 다수의 노드들에게 신속히 전파되어야 한다. 이를 위해 기존에 제안된 멀티-홉 브로드캐스트 프로토콜은 릴레이 노드 선정방식에 따라 플러딩 기반[3], 클러스터 기반[4], 테이블 기반[5], 거리 기반 [6] 브로드캐스트 기법들로 구분할 수 있다. 그러나 기존 브로드캐스트 기법은 대역폭 낭비, 제어메시지 증가, 전파 지연시간 증가라는 측면에서 문제점을 갖고 있다. 플러딩 기반 브로드캐스트는 노드의 높은 이동성에도 우수한 메시지 도착율을 보이지만 노드의 밀도가 높을 경우 급격한 대역폭 낭비를 초래한다. 테이블 기반과 클러스터 기반 브로드캐스트는 노드의 이동성과 네트워크 토폴로지가 빈번히 변할 경우 제어메시지 교환의 증가에 따른 성능저하를 가져온다. 거리 기반 브로드캐스트는 제어메시지 교환이 필요 없어 네트워크 부하가 낮고 메시지 전파 지연시간이 짧기 때문에 VANET에서 비교적 우수한 성능을 보인다. 그러나 릴레이 노드의 선정이 노드간 거리를 기반으로 이루어지기 때문에 노드밀도가 낮을 경우 짧은 메시지 전파 지연시간을 보장할 수 없는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 기존 거리 기반 브로드캐스트에서 노드밀도의 변화에 따른 메시지 전파 지연시간을 최소화하기 위해 시간창 예약 기반 릴레이 노드 선정기법(Time-window Reservation based Relay node Selection, TRRS)을 제안한다. TRRS는 노드간 거리를 기반으로 릴레이 노드의 선정이 이루어진다는 점에서 기존의 거리 기반 브로드캐스트의 릴레이 노드 선정방식(Distance Based Relay node Selection, DBRS)과 유사하다. 그러나 TRRS는 각 노드가 소스노드로부터 거리에 따라 각기 다른 크기의 시간창을 갖게 하며, 주어진 시간창 내에서 임의의 메시지 전송 대기시간을 선택하도록 한다. 메시지 전송 대기시간이 가장 먼저 만료된 노드가 릴레이 노드가 된다. 또한, 소스노드로부터 메시지를 수신한 노드들이 동시에 메시지 재전송을 시도할 경우 소스노드로부터 가장 멀리 있는 노드가 가장 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택할 수 있도록 함으로써 이 노드가 릴레이 노드가 되도록 한다. 즉, 소스노드로부터 거리가 먼 노드일수록 좁은 범위의 시간창을 갖도록 하여 가까운 노드들보다

짧은 메시지 전파 지연시간을 선택할 수 있도록 한다. 그러나 메시지 전송 대기시간이 주어진 시간창 내에서 임의로 선택되기 때문에 자신보다 멀리 위치한 노드가 있음에도 불구하고 릴레이 노드로 선택될 수 있다. 이를 예방하기 위해, 각 노드들은 자신보다 멀리 위치한 노드가 다음 릴레이 노드로 선택될 수 있도록 메시지 전송 대기시간을 선택하기 전에 주어진 시간창의 일부를 예약한다. 각 노드는 자신이 예약한 시간창 내에서는 메시지 전송 대기시간을 선택하지 못하도록 한다. 또한, 릴레이 노드간의 브로드캐스트 영역 중복구간에 위치한 노드가 메시지를 중복하여 수신하는 것을 피하기 위하여, 메시지 중복수신 횟수가 많은 노드는 릴레이 노드로 선택되지 못하도록 한다. TRRS는 노드밀도가 낮은 경우와 같이 통신범위의 가장자리에 노드가 위치하지 않더라도 짧은 메시지 전송 대기시간을 가질 수 있도록 하기 때문에 메시지 전파 지연시간을 최소화 할 수 있다. 실험결과, TRRS를 사용한 브로드캐스트 프로토콜이 기존 거리 기반 브로드캐스트보다 노드밀도의 변화에 상관없이 짧은 메시지 전파 지연시간을 보였다. 특히, 노드밀도가 낮을 경우 25.7%의 짧은 종단간 메시지 전파 지연시간을 보였으며, 브로드캐스트 메시지의 중복수신 횟수와 종단간 메시지 전파 지연시간의 성능이 결합된 합성성능의 경우 TRRS가 DBRS보다 46% 우수한 성능을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 VANET을 위한 브로드캐스트 프로토콜의 관련 연구들을 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 시간창 예약 기반 릴레이 노드 선정기법을 설명한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능평가를 수행하고 분석 결과를 설명한다. 마지막으로, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

<표 1>에서 보듯이, MANET과 VANET은 여러 가지 면에서 다른 특징을 갖고 있다. 기존의 MANET에서 제안되었던 여러 네트워크 프로토콜들을 VANET에 그대로 적용할 경우 좋은 성능을 기대하기 어렵다. 그 주된 이유는, VANET에서는 노드의 높은 이동성, 네트워크 토폴로지와 노드밀도의 빈번한 변화 그리고 잦은 네트워크 단절 등의 특성으로 인하여 효과적으로 메시지를 전달하기 어렵다 [1][2]. 특히, 기존 MANET에서 제안되었던 멀티-홉 라우팅 기법들을 VANET에 적용하였을 경우, 3~4홉 이상에서 급격한 성능저하를 보인다[7]. 이것은 잦은 네트워크 단절로 인한 노드간 링크 생존시간이 매우 짧기 때문이며, 새로운 라우팅 경로탐색을 위한 제어메시지 교환의 증가로 인하여 메시지 전송 지연시간과 네트워크 부하가 증가하기 때문이다. 라우팅 경로탐색은 주로 플러딩을 이용하여 제어메시지를 브로드캐스팅 함으로써 이루어진다. 그러나 플러딩은 브로드캐스트 스톱 문제[8]와 같이 네트워크 내의 모든 노드가 메시지 전달에 참여하기 때문에 노드밀도가 증가함에 따라 대역폭과 메시지 전파 지연시간이 함께 증가한다. 따라서

〈표 1〉 MANET과 VANET 특징 비교

| 구분                  | MANET   | VANET  |
|---------------------|---|--|
| 이동성                 | 중/저속 (보행속도)                                   | 고속   |
| 노드 생산 단가            | 비교적 저가  | 고가   |
| 네트워크 토폴로지 변화        | 느림  | 아주 빠르고 빈번하게 변함   |
| 노드의 밀도              | 낮음  | 높고 변화가 빠름  |
| 노드의 전송범위            | 100m 내외                                       | 400m 내외  |
| 노드의 전송 대역폭          | 협대역 (저속데이터)                                   | 비교적 광대역(고속데이터)   |
| 전력자원                | 저용량의 제한된 전원 사용                                | 고용량의 전원 사용(지속적으로 재충전)  |
| 노드의 생명 주기           | 전력 공급원의 성능에 의존                                | 차량의 상태에 의존   |
| 컴퓨팅 능력              | 중저속(8~16 비트)                                  | 고속(32 비트)  |
| 어드레싱 기법             | 속성기반 어드레싱 기법<br>(Attributed-based addressing) | 위치기반 어드레싱 기법, 유일 ID사용<br>(Location-based address or unique ID) |
| 멀티-홉 라우팅            | 가능<br>(지역 네트워크의 규모에 의존)                       | 가능하지만 3~4 hop으로 제한됨<br>(차량의 밀도에 의존)                            |
| 메시지 전파의 신뢰성 요구도     | 중간 (어플리케이션에 의존)                               | 매우 높음 (운전자의 안정성에 의존)   |
| 노드의 위치 획득 방법        | 라디오 신호 강도 (RSSI) 및 초음파를 이용한 삼각측량기법            | GPS, 레이더, 비전   |
| 노드의 이동 패턴 (속도 및 방향) | 임의 위치로 이동 (Random)                            | 도로를 따라 정해진 이동경로를 가짐<br>(이동 방향 및 속도가 서로 연관되어 지며, 예측 가능함)        |
| 신뢰성 요구도             | 비교적 낮음  | 아주 높음  |

VANET 환경에서 네트워크 프로토콜의 성능을 개선하기 위해서는 무엇보다 낮은 네트워크 부하와 짧은 메시지 전파 지연시간을 갖는 메시지 전파 프로토콜이 요구된다.

VANET에서 메시지 전파를 위한 여러 브로드캐스트 프로토콜들이 제안되었다. 브로드캐스트 프로토콜은 메시지 전파에 참여하는 노드의 역할과 릴레이 노드의 선정방식에 따라 플러딩 기반, 클러스터 기반, 테이블 기반, 거리 기반 방식으로 나눌 수 있다. 이들 대부분은 GPS를 통해 위치정보를 획득한다.

플러딩 기반 브로드캐스트 기법은 메시지 전달에 참여하는 노드의 재전송 횟수를 제한하여 네트워크 부하를 줄이는 방법을 제안하였다. 이 기법은 구현이 용이하고 이동성이 높은 VANET 환경에서 우수한 메시지 도착율을 갖는다. 그러나 플러딩의 브로드캐스트 스톱 문제로 인한 네트워크 부하와 메시지 전파 지연시간 증가 등의 오버헤드는 크게 개선하지 못하였다. 플러딩 기반 브로드캐스트에는 NB[3], DOLPHIN[9] 등이 있다.

클러스터 기반 브로드캐스트 기법은 도로를 일정한 영역을 갖는 다수의 클러스터로 구분한다. 이 기법은 각 클러스터에 속한 노드들 중 클러스터 헤더를 선정하고 클러스터 헤더를 통해 메시지를 전파하는 방식이다. 클러스터 기반 브로드캐스트 기법은 노드수와 네트워크 토폴로지 변화가 적을 때는 비교적 우수한 성능을 보인다. 하지만, 노드의 이동성이 증가 할 경우 네트워크 토폴로지 변화가 빈번해짐에 따라 클러스터 멤버 재구성과 클러스터 헤더 선정을 위한 제어메시지 교환이 증가하기 때문에 성능이 급격히 감소

하는 단점이 있다.

대표적인 클러스터 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 SIMCOMM[4], CBLR[10] 등이 있다

테이블 기반 브로드캐스트 기법은 각 노드가 이웃 노드들의 위치정보 테이블을 유지하고, 소스노드가 다음 릴레이 노드를 선택하는 방식이다. 이웃 노드의 위치정보 테이블은 주기적 혹은 전파할 메시지가 발생할 경우에 이웃 노드와 질의-응답 메커니즘을 사용한 제어메시지 교환을 통해 유지된다. 그러나 이 기법은 노드의 밀도와 이동성 증가에 따라 네트워크 토폴로지가 빈번히 변화할 경우 이웃 노드의 위치정보 테이블 갱신을 위한 노드간의 제어메시지 교환이 빈번해진다. 따라서 네트워크 부하뿐만 아니라 전송 지연시간이 증가하는 단점을 갖는다. 대표적인 테이블 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 TRADE[5], OAPB[11], UMB[12] 등이 있다.

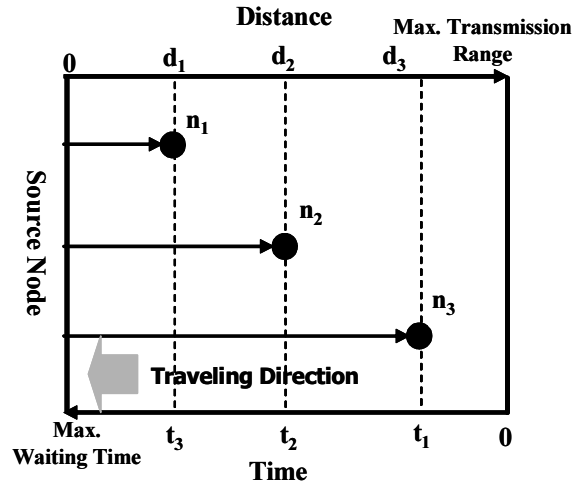
거리 기반 브로드캐스트 기법은 네트워크 부하와 메시지 전파 지연시간을 줄이기 위해 통신범위 내의 노드들 중 오직 하나의 노드만이 메시지를 전파하는 방법이며, 거리 기반 릴레이 노드 선정 (Distance Based Relay node Selection, DBRS) 기법을 통해 메시지 전파 노드의 선정이 이루어진다. 소스노드의 통신범위 내에 있는 각 노드들은 소스노드로부터의 거리에 반비례하는 메시지 전송 대기시간을 갖는다. 즉, 소스노드의 통신범위 가장자리에 위치한 노드가 소스노드로부터의 거리가 가장 멀기 때문에 가장 짧은 메시지 전송 대기시간을 갖는다. 따라서 소스노드의 통신영역 내에 있는 노드들 중 소스노드로부터 가장 멀리 위치한

노드가 릴레이 노드로 선택된다. 노드의 밀도가 높을 경우에는 소스노드의 통신범위 가장자리 주변에 노드가 위치해 있을 확률이 높기 때문에 메시지 전파에 따른 네트워크 부하와 중단간 메시지 전파 지연시간이 비교적 우수하다. 또한, 노드간 제어메시지 교환이 필요 없고 노드들의 높은 이동성에서 우수한 메시지 도착율을 갖는다. 그러나 노드밀도가 낮을 경우와 같이 소스노드의 통신범위 가장자리에 노드가 위치하지 않을 경우 각 릴레이 노드는 그 만큼 긴 메시지 전송 대기시간을 갖게 되어 메시지 전파 지연시간이 증가하는 단점을 가지고 있다. 거리 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 DDT[6], RBM[13], ODAM[14] 등이 있다.

### 3. 시간창 예약 기반 릴레이 노드 선정기법

도로상에서 응급상황을 감지한 노드가 뒤따르는 노드들에게 긴급 메시지를 전파하고자 할 경우에 메시지 전파범위가 소스노드의 통신범위보다 크면 멀티-홉을 통해 메시지를 전파하여야 한다. 따라서 멀티-홉 브로드캐스트에서 신속하게 긴급 메시지를 전파하기 위해서는 효과적인 릴레이 노드 선정 방법이 무엇보다 중요하다. 이것은 릴레이 노드 선정 방식에 따라 메시지 전파에 따른 네트워크 부하와 중단간 메시지 전파 지연시간이 영향을 받기 때문이다.

2장에서 언급 하였듯이, DBRS는 소스노드로부터의 거리에 의해서만 다음 릴레이 노드가 결정된다. 즉, 메시지 전송 대기시간이 소스노드로부터의 거리에 의해 정적으로 결정된다. 따라서 노드밀도가 낮을 경우에는 짧은 메시지 전파 시간을 보장하기 어렵다. (그림 1)은 DBRS의 릴레이 노드 선정기법을 나타내었다. 임의의 노드가 뒤따르는 노드들에게 멀티-홉을 통해 메시지를 전파 할 경우, 뒤따르는 노드들 가운데 소스노드의 통신범위 내에 있는 노드 중에서 다음 릴레이 노드를 선택 하여야 한다. 소스노드의 통신범위 내에 소스노드로부터  $d_1, d_2, d_3$  만큼 떨어진 곳에 각각  $n_1, n_2, n_3$  노드가 위치해 있다고 가정하자. 이들은 릴레이 노드 선정에 참여하는 릴레이 노드 후보가 된다. 각 노드들은 소스노드로부터의 거리에 반비례하는 메시지 전송 대기시간을 갖는다. 즉, 소스노드로부터 가장 가까이 위치한  $n_1$ 노드가 가장 긴  $t_3$ 의 대기시간을 갖게 되며, 가장 멀리 위치한  $n_3$ 노드가 가장 짧은  $t_1$ 의 대기시간을 갖는다. 따라서  $n_3$ 가 메시지 전송 대기시간이 가장 먼저 만료되기 때문에 릴레이 노드로 선정되며,  $n_1$ 과  $n_2$ 는 메시지 전송 대기시간이 만료되기 전에 자신들보다 뒤에 위치한  $n_3$ 로부터 메시지를 수신하게 되면 더 이상 메시지 전파를 시도하지 않는다. 이러한 릴레이 노드 선정과정을 반복하여 수행함으로써, 브로드캐스트 메시지가 도로를 따라 일정한 방향으로 전파된다. DBRS에서 각 노드의 메시지 전송 대기시간  $DWT$ (Dissemination Waiting Time)는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서,  $d$ 는 소스노드로부터의 거리이고,  $DWT_{max}$ 는 사전에 정의된 최대 메시지 전송 대기시간이고,  $R$ 은 소스노드의 최대 전송



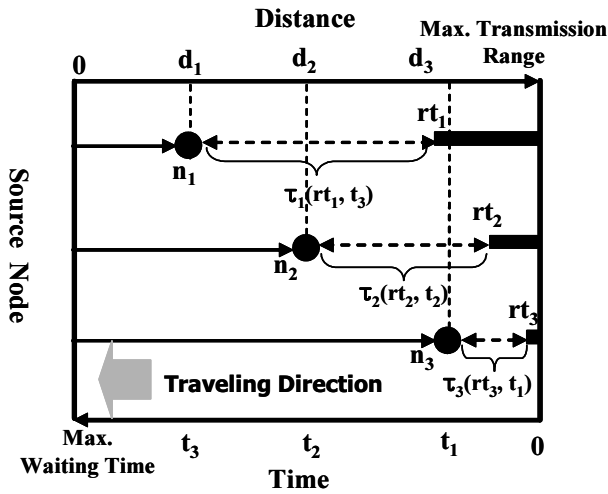
(그림 1) 거리 기반 릴레이 노드 선정기법 (DBRS)

거리를 나타낸다.

$$DWT_i = DWT_{max} \times \left(1 - \frac{d_i}{R}\right) \quad (1)$$

이 기법은 매우 간단하기는 하지만  $DWT$ 가 오직 소스노드로부터의 거리에 의해서만 결정된다. 따라서 선정된 릴레이 노드가 소스노드의 통신범위 가장자리에 위치하지 않을 경우 최적화된 메시지 전송 대기시간을 갖지 못하는 문제점이 있다. 이는 중단간 메시지 전파 지연시간을 증가시키는 주요원인이 되며, 노드밀도가 낮을 경우에는 메시지 전파 지연시간을 더욱 증가 시킨다. 또한 소스노드의 통신범위 가장자리에 노드가 위치함에도 불구하고 실제 환경에서 소스노드의 최대 통신거리는 주변 환경에 따라 변할 수 있기 때문에 이 노드가 가장 짧은 메시지 전송 대기시간을 갖지 못할 수 있는 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 TRRS는 소스노드의 통신범위 가장자리에 노드가 위치하지 않더라도 짧은 메시지 전송 대기시간을 갖게 하여 신속한 메시지 전파가 이루어 질 수 있도록 한다. 이를 위해, 각 노드가 소스노드로부터 거리에 따라 정적으로 메시지 전송 대기시간을 갖는 것이 아니라 주어진 시간창 내에서 임의의 메시지 전송 대기시간을 선택하도록 한다. 시간창은 각 노드가 임의의 메시지 전송 대기시간을 선택할 수 있는 시간범위이며, 영점 기준 시간을 시작으로 소스노드로부터 거리에 반비례하는 시간을 최대값으로 하는 시간범위를 갖는다. 소스노드의 통신범위 내의 각 노드는 자신보다 더 멀리 위치한 노드가 자신보다 더 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택할 수 있도록 주어진 시간창의 일부분을 예약한다. 예약된 시간창 범위는 영점 기준 시간을 시작으로 주어진 시간창의 일정비율의 시간범위를 갖게 되며, 각 노드들은 자신이 예약해둔 시간창 범위 내에서는 메시지 전송 대기시간을 선택하지 않는다. 이것은 자신보다 소스노



(그림 2) 시간창 예약 기반 릴레이 노드 선정기법 (TRRS)

드로부터 더 멀리 위치한 노드가 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택할 수 있도록 하여 릴레이 노드가 되도록 하기 위함이다. 또한, TRRS는 릴레이 노드들 간의 브로드캐스트 영역의 중복구간에 위치한 노드들이 중복하여 메시지를 수신하는 것을 줄이기 위하여 메시지 수신 횟수가 많은 노드들의 시간창 예약 비율을 높게 하여 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택할 수 없도록 한다. 이것은 메시지 수신 횟수가 많은 노드일수록 소스노드와 가까운 곳에 위치하기 때문이다. 즉, 소스노드에 가까운 노드들이 릴레이 노드로 선택될 경우 릴레이 노드간 브로드캐스트 영역의 중복구간이 그 만큼 커지기 때문에 중복구간에 위치한 노드들의 메시지 중복수신 횟수는 증가하게 된다. 따라서 중복 메시지 횟수에 따라 시간창 예약 비율을 달리 함으로써 릴레이 노드들 간의 브로드캐스트 영역의 중복구간을 줄일 수 있다.

(그림 2)는 TRRS의 릴레이 노드 선정기법을 보여준다. 소스노드의 통신범위 내에  $d_1, d_2, d_3$  거리에 각각  $n_1, n_2, n_3$  노드들이 있다고 가정하자. 각 노드들은 소스노드로부터의 거리에 반비례하는 시간  $t_i$ 를 최대시간으로 하는 시간창을 갖는다. 따라서 노드  $n_i$ 의 시간창 범위는 0보다 크고  $t_i$ 보다 같거나 작다. 각 노드들은 자신보다 더 멀리 위치한 노드가 더 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택하여 릴레이 노드로 선정될 수 있도록 전체 시간창에 대한 일정 비율의 시간창을 예약한다. 예약된 시간창의 범위는 0보다 크고  $rt_i$ 보다 작다. 따라서 각 노드가 임의의 메시지 전송 대기시간을 선택할 수 있는 시간창 범위  $\tau_i$ 는  $rt_i$ 보다 크고  $t_i$ 보다 같거나 작은 범위를 갖는다. 노드들은 서로 다른 시간창 범위를 갖게 되며, 주어진 시간창  $\tau$  내에서 임의로 메시지 전송 대기시간을 선택한다. 그러므로 소스노드로부터 가장 멀리 있는  $n_3$ 가 가장 짧은 시간범위를 갖는 시간창  $\tau_3$  내에서 메시지 전송 대기시간을 선택하기 때문에 다음 릴레이 노드로 선택될 가능성이 가장 높게 된다. 반면,  $n_3$ 보다 넓은 시간 범위를 갖는  $n_1$ 와  $n_2$ 는 예약된 시간창 범위 내에서는 메시지 전

송 대기시간을 선택할 수 없기 때문에  $n_3$ 보다 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택할 가능성은 매우 낮게 된다.

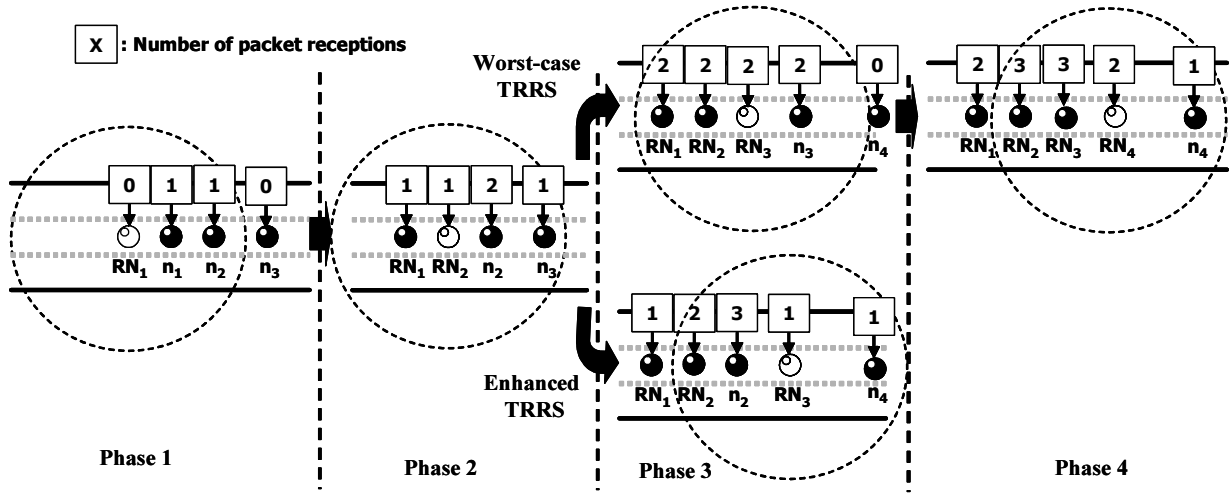
TRRS에서 빈번히 발생하지는 않지만 최악의 경우, 자신보다 더 멀리 위치한 노드가 있음에도 불구하고 소스노드로부터 가까이 위치한 노드가 연속해서 다음 릴레이 노드로 선택될 수 있다. 이러한 경우, 릴레이 노드들 간의 브로드캐스트 영역의 중복으로 인한 노드들의 메시지 중복이 증가한다. 소스노드로부터 가까이 위치한 노드일수록 메시지 중복수신 횟수가 멀리 있는 노드보다 많다. 따라서 TRRS는 이러한 노드들이 릴레이 노드로 선택되지 못하도록 한다. 이를 위해, 브로드캐스트 메시지의 중복수신 횟수가 많은 노드일수록 높은 시간창 예약 비율을 갖게 함으로써, 릴레이 노드로 선택되지 않도록 한다. TRRS에서 발생 할 수 있는 최악의 경우의 시나리오와 예방방법을 (그림 3)에 나타내었다. 원시 소스노드(Original Source Node)인  $RN_1$ 이 브로드캐스트 한 메시지가  $n_1$  노드까지 전파되어야 할 경우를 가정하자. TRRS에서 최악의 경우 소스노드로부터 제일 가까이 위치한 노드가 제일 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택 함으로써,  $n_1, n_2, n_3$  노드가 연속적으로 릴레이 노드로 선택될 수 있다. 이때의 메시지 전파 비용은 총 4개의 릴레이 노드와 11개의 패킷이 소요된다. 반면, 이를 개선한 TRRS는 브로드캐스트 메시지의 중복수신 횟수가 많은 노드는 릴레이 노드로 선정되지 않도록 예방한다. 즉, (그림 3)의 2단계에서  $n_2$  노드는 브로드캐스트 메시지 수신 횟수가 두 번이기 때문에 한번인  $n_3$  노드보다 높은 시간창 예약 비율을 갖는다. 따라서 노드  $n_2$ 는 노드  $n_3$ 보다 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택할 가능성이 낮기 때문에 다음 릴레이 노드로 선택되지 않는다. 개선된 TRRS의 메시지 전파 비용은 3개의 릴레이 노드와 8개의 패킷이 소요되었으며, 최악의 경우의 TRRS보다 메시지 전파 비용을 줄일 수 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 실험을 통해 가장 우수한 성능을 보이는 최적의 시간창 예약 비율을 찾도록 한다. 실험에 사용될 시간창 예약 비율은 브로드캐스트 메시지 수신 횟수가 한번일 경우 0~50%의 시간창 예약 비율을 가지며, 브로드캐스트 메시지 수신 횟수가 두 번 이상일 경우에는 50~100% 시간창 예약 비율을 갖도록 하였다. 개선된 TRRS에서 각 노드의 메시지 전송 대기시간  $DWT_i$ 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 노드  $n_i$ 의 예약된 시간창 범위의 최대 시간은  $rt_i$ , 시간창 예약 비율은  $\rho$ , 메시지 중복수신 횟수는  $c$ , 노드  $n_i$ 의 시간창 범위의 최대 시간은  $tw_{max}$ 를 나타내며, 함수  $P$ 는  $rt_i$ 와  $tw_{max}$  범위 내에서 임의의 시간을 반환하는 함수이다.

$$DWT_i = P(rt_i, tw_{max})$$

$$rt_i = tw_{max} \times \rho, \rho(c_i) = \begin{cases} 0 \leq \rho \leq 0.5 & \text{if } c \leq 1 \\ 0.5 < \rho \leq 1 & \text{if } c > 1 \end{cases}$$

$$tw_{max} = DWT_{max} \times (1 - \frac{d_i}{R})$$

(2)



(그림 3) TRRS의 최악의 경우의 시나리오와 예방기법

```

/* When a node receives a alert message */
/* Amsg=Alert Message, OSN=Original Source Node
SN=Source Node, N=Node, BR=Broadcast Region*/

1: If ( new == Amsg){ // received a Amsg from ahead node
2:   get_pos(OSN, SN,N);
3:   D1 = get_dist(OSN,N); // distance between OSN&N
4:   D2 = get_dist(SN,N); // distance between SN&N
5:   if(D1 < BR){
6:     wt = get_wt(D2); //wt : takes waiting time using TRRS
7:     if(wt expired){
8:       chg_Amsg_pos(N); //change SN position with N
9:       send_msg(Amsg);
10:      if(ACK){ //to hear if the next relay node gets Amsg
11:        return;
12:      }
13:      else re_transmit_proc(Amsg); // when NAK
14:    }
15:  }
16:  else break; // I am outside broadcast region
17: }
18: else { //Amsg duplicated
19:   reset rebroadcast procedure
20:   drop Amsg
21: }
    
```

(그림 4) 노드의 긴급 메시지 처리 의사코드

소스노드의 통신범위 내의 노드가 브로드캐스트 메시지를 수신하게 되면 (그림 4)와 같은 과정을 통해 메시지가 전파가 이루어진다.

- i. 수신한 메시지에 포함되어 있는 원시 소스노드와 소스노드의 위치정보를 추출하고 GPS를 통해 노드 자신의 위치정보를 획득한다.
- ii. 수신한 메시지 내에 포함되어있는 브로드캐스트 범위와 원시 소스노드로부터의 거리를 비교하여 수신한 메시지의 재전송 여부를 결정한다. 브로드캐스트 범위는 원시 소스노드로부터 메시지가 전파될 거리를 나타낸다.
- iii. 만약 노드가 브로드캐스트 범위 내에 있다면, 소스노드로부터의 거리를 이용하여 식 (2)를 통해 메시지 전송 대기시간을 선택한다.
- iv. 메시지 전송 대기시간이 만료되면 브로드캐스트 메시

지 내에 포함되어 있는 소스노드의 위치정보를 자신의 위치정보로 바꾼 다음 수신한 메시지를 재전송한다.

- v. 메시지 전송 대기시간이 만료되기 전에 이웃 노드로부터 동일한 브로드캐스트 메시지를 수신하게 되면, 메시지 재전송 과정을 초기화 하고 대기상태로 진입한다. 이것은 자신보다 짧은 메시지 전송 대기시간을 가진 노드가 이미 메시지를 재전송 하였으므로 더 이상 메시지 전파를 시도하지 않아도 되기 때문이다.
- vi. 메시지를 전송하고 난 후 다음에 선택된 릴레이 노드의 메시지 재전송을 탐지할 때까지 기다린다. 만약, 일정 시간동안 다음 릴레이 노드로부터 메시지를 수신하지 못한다면 릴레이 노드 선정이 이루어지지 않은 것으로 판단하고 다시 메시지 재전송을 시도한다.

#### 4. 성능평가

제안한 TRRS를 사용한 멀티-홉 브로드캐스트 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여, 본 논문에서는 VANET의 응용 서비스 중의 하나인 응급상황 경고 서비스[14]를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 C언어로 구현된 자체 시뮬레이터를 통해 수행되었다. 응급상황 경고 서비스는 위험상황을 인지한 차량이 뒤따르는 차량들에게 응급상황 경고 메시지를 신속하게 전파하여 위험지역의 차량들이 사전에 위험상황에 대처하도록 하는 서비스이다. <표 2>는 시뮬레이션에 사용된 실험변수를 나타내었다. 실험에 사용된 모든 노드는 GPS를 통해 자신의 위치를 알 수 있고, IEEE 802.11 DCF(distribution control function) MAC 프로토콜을 사용하는 것을 가정하였다. 실험에 사용된 브로드캐스트 메시지의 길이는 250 바이트이며, 메시지 ID, 원시 소스노드의 위치, 소스노드의 위치, 메시지의 전파 범위 그리고 전파 메시지 등 5개 항목으로 구성되었다. 차량의 차선변경 및 추월은 고려하지 않았으며, 도로 상의 차량위치는 균일분포를 갖는다. 시뮬

<표 2> 시뮬레이션 변수

| 네트워크 환경        |                       | 도로 환경        |                        |
|----------------|-----------------------|--------------|------------------------|
| 구분             | 값                     | 구분           | 값                      |
| 최대 전송 거리       | 150 m                 | 도로의 길이       | 5 km                   |
| 메시지 전파 거리      | 5 km                  | 차선 폭         | 3.6 m                  |
| 패킷 길이          | 250 bytes             | 도로 구분        | 단 방향                   |
| 대역폭            | 2 Mbps                | 차선 수         | 3                      |
| 패킷 전파지연        | 0.125 μsec (250 byte) | 평균 노드의 이동 속도 | 100 km/h               |
| 계산 시간          | 1 ms                  | 노드밀도         | 18.33 vehicles/lane/km |
| 최대 메시지 전송 대기시간 | 10 ms                 | 노드의 길이       | 4 m                    |

<표 3> 시간창 예약 비율에 따른 TRRS의 효율

| 시간창 예약비율               | 0 %    | 10 %   | 20 %   | 30 %   | 40 %   | 50 %   |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Network load (packets) | 671.58 | 604.77 | 593.77 | 584.84 | 577.25 | 575.07 |
| ETE Delay (ms)         | 61.421 | 62.061 | 65.438 | 68.495 | 70.596 | 73.992 |
| Compound Metric        | 0.856  | 0.941  | 0.909  | 0.882  | 0.867  | 0.830  |

레이션을 통해 DBRS와 TRRS의 중단간 메시지 전파 지연시간과 브로드캐스트 메시지의 중복수신율을 측정하였다. 실험 결과는 100번의 시뮬레이션을 통한 평균값이다.

최적의 시간창 예약비율을 찾기 위해, TRRS의 시간창 예약 비율을 0~50% 변화시켰을 경우의 실험결과를 <표 3>에 나타내었다. 네트워크 부하는 전체 노드들이 수신한 메시지 수를 나타내며, 중단간 메시지 전파 지연시간은 긴급 메시지 수신율이 일정 비율에 도달할 때까지의 시간을 나타낸다. 메시지 수신율은 브로드캐스트 범위 내에 있는 노드들 중 긴급 메시지를 수신한 노드의 비를 나타낸다. 실험에서는 브로드캐스트 메시지 수신율이 97%에 도달할 때까지의 시간을 측정하였다. 메시지 수신율이 97% 이상에서는 네트워크 단절이 거의 발생하지 않으며, 노드밀도가 증가하여도 수신율의 증가는 거의 일어나지 않는다. 본 실험에서는 합성성능이라는 새로운 성능측정 체계를 사용하며, 이것은 네트워크 부하와 메시지 전파 지연시간의 결과를 동일한 가중치로 정규화 하였을 때의 성능을 의미한다. 실험 결과, 네트워크 부하의 경우 시간창 예약비율이 50%일 때 가장 낮은 네트워크 부하를 보였으며, 시간창 예약 비율이 0%일 때 가장 짧은 중단간 메시지 전파 시간을 보였다. 그러나 합성성능의 경우 시간창 예약 비율이 10%일 때 가장 좋은 성능을 보였다. 시간창 예약 비율이 높을수록 노드들이 메시지를 중복하여 수신하는 횟수는 감소한다. 반면, 각 릴레이 노드들이 짧은 메시지 전송 대기시간을 선택할 수 있는 시간창의 범위가 그만큼 줄어들기 때문에 중단간 메시지 전파 지연시간은 증가하게 된다.

실험에서는 TRRS의 시간창 예약에 따른 성능을 분석하기 위해, 시간창을 예약을 했을 때와 하지 않았을 때, 그리고 긴급 메시지의 수신횟수를 고려하였을 때의 성능을 각각 비교 평가하였다. 본 연구에서 시간창 예약 비율이 0%일 때

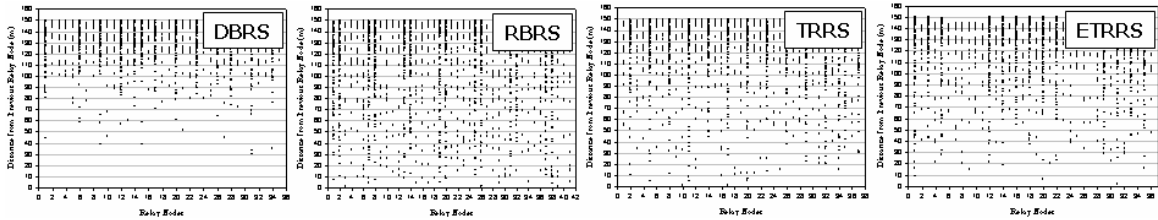
를 RBRS(Range Based Relay node Selection)로 표현하였으며, 시간창 예약 비율이 10%일 때를 TRRS로 표현하였다. 또한, 시간창 예약 비율 10%이고 긴급 메시지의 수신횟수를 고려하여 시간창 예약 비율을 달리 적용한 것을 ETRRS(Enhanced TRRS)라 표현하였다. 실험에서 DBRS, RBRS, TRRS 그리고 ETRRS 모두 노드밀도가 증가할수록 메시지 수신율이 급격히 증가하다가 97%이상에서 포화상태에 도달하였으며, 릴레이 노드 선정기법에 상관없이 거의 동일한 수신율을 보였다. 이것은 노드의 전송거리와 노드밀도가 네트워크 단절에 가장 큰 영향을 주기 때문이다.

(그림 5)는 메시지 수신율이 97%이고 노드밀도가 18.33 vehicles/lane/km 일 때 각 릴레이 노드들의 소스노드로부터의 거리와 메시지 전송 대기시간을 나타내었다. (그림 5(a))에서 X축은 메시지 전파에 참여한 릴레이 노드들을 나타내며, Y축은 각 릴레이 노드들의 소스노드로부터의 거리를 나타낸다. (그림 5(b))의 Y축은 각 릴레이 노드들의 메시지 전송 대기시간을 나타낸다. (그림 5(a))에서 보듯이, DBRS의 릴레이 노드들은 다른 기법들에 비하여 소스노드의 통신영역 가장자리 주변에 대부분 위치함을 알 수 있다. 이것은 소스노드의 통신범위 내에서 가장 바깥쪽에 위치한 노드만이 다음 릴레이 노드로 선택되기 때문이다. 반면, 각 릴레이 노드들이 소스노드로부터의 거리에 정확히 반비례하는 메시지 전송 대기시간을 갖기 때문에 다른 기법에 비해 긴 메시지 전송 대기시간을 갖는 것을 볼 수 있다.

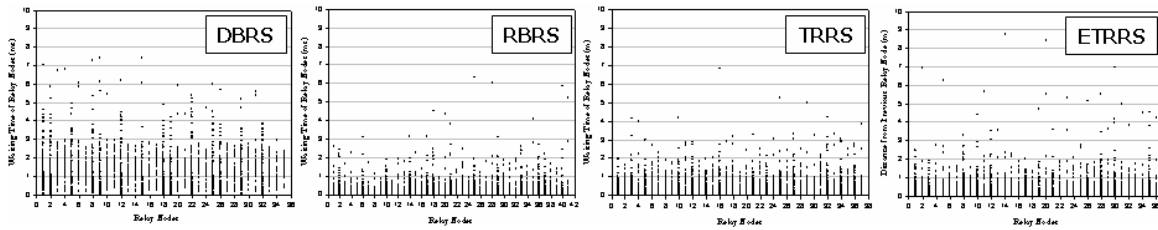
<표 4>는 (그림 5)의 결과를 평균한 결과이다. <표 3>에서 보듯이, DBRS가 다른 기법에 비해 가장 작은 릴레이 노드 수를 보이지만 가장 긴 메시지 전송 대기시간을 갖는다. RBRS는 다른 기법에 비해 가장 짧은 메시지 전송 대기시간을 보이지만, 릴레이 노드들이 소스노드의 통신범위 내에 넓게 분포되기 때문에 가장 많은 수의 릴레이 노드를 필요로 한다.

〈표 4〉 릴레이 노드수, 메시지 전송 대기시간, 소스노드로 부터의 거리 비교

| 구분               | DBRS   | RBRS   | TRRS   | ETRRS  |
|------------------|--------|--------|--------|--------|
| 릴레이 노드수          | 35     | 41     | 37     | 36.5   |
| 메시지 전송 대기시간 (ms) | 1.26   | 0.348  | 0.531  | 0.535  |
| 소스노드로부터의 거리 (m)  | 131.09 | 112.95 | 123.64 | 125.32 |



(a) 각 릴레이 노드의 소스노드로부터의 거리



(b) 릴레이 노드들의 메시지 전송 대기시간

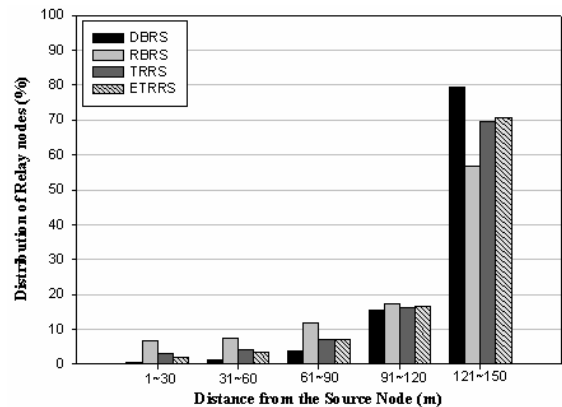
(그림 5) 소스노드로부터의 거리와 릴레이 노드들의 메시지 전송 대기시간

TRRS와 ETRRS는 RBRS보다 약간 긴 메시지 전송 대기시간을 갖지만 소스노드로부터 보다 먼 곳에 위치한 노드들이 릴레이 노드로 선택되었음을 알 수 있다. ETRRS와 TRRS는 거의 동일한 메시지 전송 대기시간을 보이지만 ETRRS가 TRRS 비하여 약간 더 작은 릴레이 노드수를 보였다. 또한, ETRRS에서는 소스노드로부터 가까이 있는 노드들은 릴레이 노드로 선택되지 않았음을 알 수 있다. 이것은 ETRRS가 소스노드로부터 가까이 위치한 노드들의 시간창 예약비율을 높게 하여 릴레이 노드로 선택되지 않도록 예방하기 때문이다.

(그림 6)에서 보듯이, DBRS는 메시지 수신율이 97% 일 경우 릴레이 노드의 79.4%가 소스노드로부터 120m 이상 떨어진 곳에 위치해 있다. 이것은 DBRS가 소스노드로부터 제일 멀리 떨어진 노드만을 릴레이 노드로 선택하기 때문이다. RBRS는 릴레이 노드의 43.1%가 소스노드로부터 120m 이내 넓게 분포되어 있음을 알 수 있다. 이것은, RBRS가 소스노드로부터 먼 곳에 노드가 위치해 있음에도 불구하고 소스노드로부터 가까이 위치한 노드가 릴레이 노드로 선택될 수 있기 때문이다. 반면, TRRS와 ETRRS는 시간창 예약을 통해 소스노드로부터 좀 더 멀리 위치한 노드가 릴레이 노드로 선택될 수 있도록 하기 때문에 각각 69.5%와 70.8%가 소스노드로부터 120m 이상 떨어진 곳에 위치해 있다. 특히,

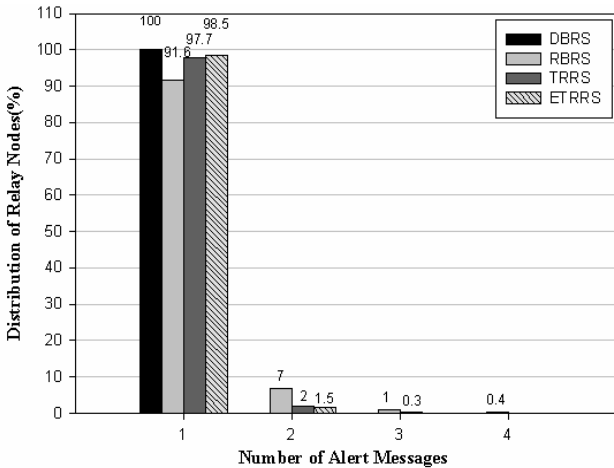
ETRRS는 TRRS보다 릴레이노드들이 약간 더 먼 곳에 위치해 있음을 알 수 있다. 이것은 메시지 중복수신 횟수가 많은 노드들이 주로 소스노드 가까이 분포되어 있기 때문에 ETRRS는 이러한 노드들이 릴레이 노드로 선정되지 않도록 하기 때문이다.

(그림 7)에서 보듯이, RBRS는 전체 릴레이 노드 중 8.4%가 두 번 이상 메시지를 중복수신한 노드들 중에서 선택되었으며, TRRS는 전체 릴레이 노드 중 2.3%가 두 번 이상

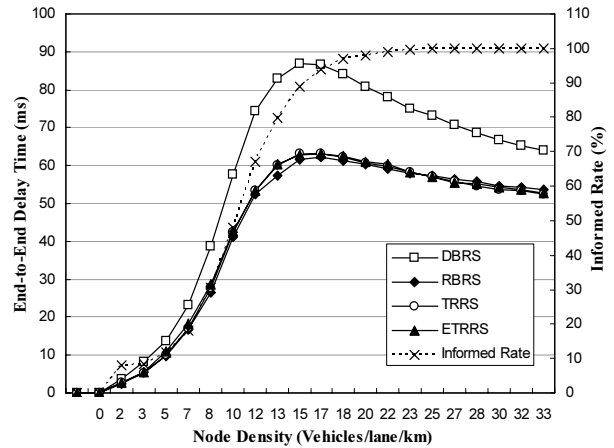


(그림 6) 소스노드로부터의 거리에 따른 릴레이 노드의 분포

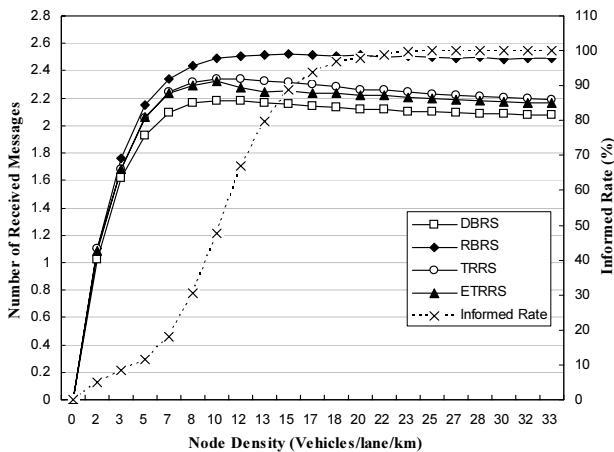




(그림 7) 메시지 수신 횟수에 따른 릴레이 노드의 분포



(그림 9) 중단간 메시지 전파 지연시간



(그림 8) 노드들의 메시지 중복수신 횟수

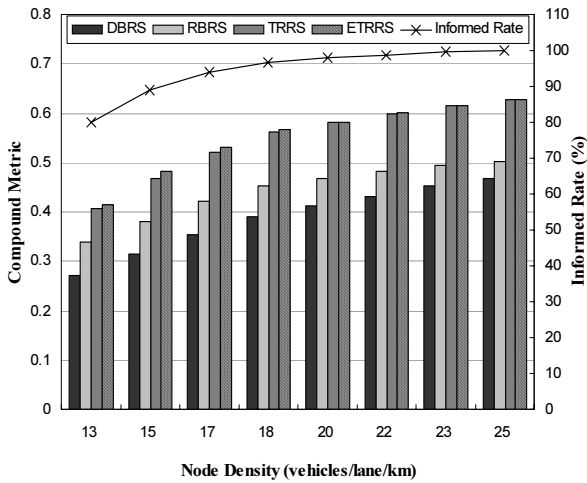
메시지를 중복수신한 노드들 중에서 선택 되었다. 반면, ETRRS는 DBRS와 거의 유사하게 전체 릴레이 노드의 98.5%가 메시지 중복수신 횟수가 한번인 노드들 중에서 선택되었으며, 단 1.5% 만이 두 번인 노드들 중에서 선택되었음을 알 수 있다.

(그림 8)은 노드밀도의 변화에 따른 메시지 수신율과 네트워크 내의 노드들의 평균 긴급 메시지 수신 횟수를 보여 준다. 이상적인 경우, 각 노드들은 자신보다 앞쪽에 위치한 소스노드와 뒤쪽에 위치한 릴레이 노드로부터 각각 한 번씩 메시지를 수신하기 때문에 메시지 중복수신 횟수는 최소 두 번이 된다. 메시지 수신율이 97%일 경우 DBRS가 가장 낮은 중복수신 횟수를 보였다. RBRS는 가장 높은 중복수신 횟수를 보였으며, DBRS보다 17.8% 높은 중복수신율을 보였다. ETRRS의 메시지 중복수신 횟수는 시간창 예약 비율이 0%인 RBRS보다 12% 낮았으며, 메시지 중복수신 횟수를 고려하지 않는 TRRS보다 2.6% 낮았다. 반면, DBRS보다는 4.5% 높은 메시지 중복수신 횟수를 보였다. 메시지 수신율은 노드밀도가 증가함에 따라 급격히 증가하다가 97% 이후

부터는 거의 안정 상태에 도달하였고 완만히 감소하였다. 이것은 노드밀도가 증가할수록 소스노드의 통신범위 가장자리에 노드가 위치할 확률이 높아지기 때문이다. 즉, 릴레이 노드들 간의 브로드캐스트 영역의 중복이 최소화 되기 때문에 노드들의 메시지 중복수신 횟수는 감소한다. DBRS가 가장 낮은 메시지 중복수신횟수를 보이는 것은 이러한 이유 때문이다.

(그림 9)는 노드밀도 변화에 따른 중단간 메시지 전파 지연시간의 실험결과를 보여준다. 중단간 메시지 전파 지연시간은 일정한 메시지 수신율에 도달할 때까지의 시간을 나타낸다. 실험결과, DBRS가 가장 긴 지연시간을 보였으며, 메시지 수신율 97% 이후부터 완만히 감소하였다. 이것은 노드 밀도가 증가함에 따라 소스노드의 통신범위 가장자리에 좀 더 가까이 위치한 노드들이 릴레이 노드로 선택되기 때문이다. 다시 말해, 각 릴레이 노드들의 메시지 전송 대기시간이 짧아지기 때문이다. 반면, RBRS, TRRS와 ETRRS는 노드 밀도의 변화에 상관없이 DBRS보다 훨씬 짧은 중단간 메시지 전파 지연시간을 보였다. 메시지 수신율이 97%일 경우, ETRRS는 DBRS보다 25.7% 짧은 중단간 메시지 지연시간을 보였으며, RBRS와 TRRS보다 각각 1.7%와 0.7% 긴 메시지 전파 지연시간을 보였다. 그러나 메시지 수신율이 97% 이상에서는 ETRRS가 가장 짧은 중단간 메시지 전파 지연시간을 보였다. 이것은 3장에서 언급하였듯이 ETRRS가 노드밀도가 증가함에 따라 최악의 경우의 노드가 릴레이 노드로 선택되는 것을 방지하기 때문이다. RBRS는 각 릴레이 노드가 가장 짧은 메시지 전송 대기시간을 가짐에도 불구하고 ETRRS와 유사한 중단간 메시지 전파 지연시간을 보이는 것은 메시지 전파를 위해 많은 릴레이 노드를 필요로 하기 때문이다. 이처럼, 본 논문에서 제안하는 기법은 낮은 노드밀도에서도 DBRS보다 훨씬 짧은 메시지 전파 지연시간을 보이는 것을 알 수 있다.

노드밀도의 변화에 따른 각 릴레이 노드 선정기법의 합성 성능을 (그림 10)에 나타내었다. 합성성능은 노드의 메시지



(그림 10) 네트워크 부하와 종단간 메시지 전파 지연시간에 따른 성능 비교

중복수신 횟수와 종단간 메시지 전파 지연시간을 동일한 기준으로 정규화 하였을 경우의 성능을 의미한다. ETRRS가 다른 기법에 비해 노드밀도의 변화에 상관없이 가장 우수한 성능을 보였으며, DBRS가 가장 낮은 성능을 보였다. 메시지 수신율이 97%일 경우, ETRRS는 DBRS에 비해 46% 높은 성능을 보였으며, RBRS보다 26% 높은 성능을 보였다. 또한, ETRRS는 메시지 수신율이 97% 이상에서는 TRRS와 거의 유사한 성능을 보이지만, 97% 이하에서는 약 1.7% 높은 성능을 보였다. 이것은 TRRS가 노드밀도가 낮을 경우 소스노드로부터 가까이 위치한 노드가 릴레이 노드로 선택되는 빈도가 높아지기 때문이다.

결과적으로, DBRS는 노드들의 메시지의 중복수신 횟수는 가장 낮지만 종단간 메시지 전파 지연시간이 가장 길다. 이것은 소스노드로부터 가장 멀리 위치한 노드가 릴레이 노드로 선택되지만 짧은 메시지 전송 대기시간을 갖지 못하기 때문이다. RBRS는 각 릴레이 노드의 메시지 전송 대기시간은 가장 짧지만, 메시지를 전파하기 위해 가장 많은 릴레이 노드를 필요로 한다. 이는 릴레이 노드들 간의 브로드캐스트 영역의 중복을 증가시키기 때문에 노드들의 메시지 중복수신 횟수가 가장 높다. 반면, TRRS와 ETRRS는 DBRS와 거의 유사한 브로드캐스트 메시지 중복수신 횟수를 보이지만, 짧은 종단간 메시지 전파 지연시간을 갖기 때문에 다른 기법에 비해 가장 우수한 성능을 보였다. 특히, ETRRS는 최악의 경우의 노드가 릴레이 노드로 선택되는 것을 방지하기 때문에 TRRS보다 약간 더 높은 성능을 보였다.

5. 결 론

VANET은 MANET과 달리 노드의 이동이 빠르고, 네트워크 토폴로지와 노드밀도의 빈번한 변화 그리고 잦은 네트워크 단절 등의 특징을 갖는다. 기존의 전통적인 무선 애드-혹 네트워크 프로토콜들은 이러한 특징들을 고려하지 않았기 때문에

VANET에서 좋은 성능을 기대하기 어렵다. 특히, VANET에서는 운전자의 안전과 관련된 데이터가 주로 다루어지기 때문에 무엇보다 신속한 메시지 전파 프로토콜이 요구된다.

기존의 VANET을 위해 제안되었던 여러 멀티-홉 브로드캐스트 프로토콜들은 VANET 고유의 특성 때문에 신속한 메시지 전파를 보장하지 못하였다. DBRS 기법을 사용한 브로드캐스트 프로토콜에서는 소스노드의 통신범위 내의 노드들 중에서 소스노드로부터 가장 멀리 위치한 노드가 릴레이 노드로 선택되기 때문에 노드밀도가 높을 경우에는 비교적 짧은 종단간 메시지 전파 지연시간을 보인다. 하지만, 소스노드의 통신범위 가장자리와 가까운 곳에 노드가 위치하지 않을 경우, 메시지 전파 지연시간이 증가하여 신속한 긴급 메시지 전파가 어려운 단점을 가지고 있다. 특히, 노드밀도가 낮을 경우, 메시지 전파 지연시간은 더욱 증가한다.

본 논문에서는 이를 개선하기 위해 TRRS 기법을 사용한 브로드캐스트 프로토콜을 제안하였다. TRRS에서 소스노드의 통신범위 내에 있는 각 노드는 주어진 시간창 내에서 임의의 메시지 전송 대기시간을 선택하며, 자신보다 먼 곳에 위치한 노드가 릴레이 노드로 선택될 수 있도록 주어진 시간창의 일부를 예약한다. 또한, 릴레이 노드들 간의 브로드캐스트 영역의 중복으로 인한 노드들의 메시지 중복수신을 줄이기 위하여 릴레이 노드 선택 시에 메시지 중복수신 횟수가 많은 노드들은 릴레이 노드로 선정되지 않도록 시간창의 예약 비율을 높게 한다. 따라서 소스노드로부터 좀 더 멀리 위치한 노드가 짧은 메시지 전송 대기시간을 갖게 하여 릴레이 노드로 선정될 수 있도록 한다. 제안한 기법은 소스노드의 통신범위 가장자리에 노드가 위치하지 않더라도 짧은 메시지 전송 대기시간을 가질 수 있기 때문에 종단간 메시지 전파 지연시간을 최소화 할 수 있다. 실험결과, 본 논문에서 제안한 TRRS가 노드밀도의 변화에도 기존의 DBRS보다 짧은 종단간 메시지 전파 지연시간을 보였다. 특히, 노드밀도가 낮을 경우, TRRS는 DBRS보다 종단간 메시지 전파 지연시간이 25.7% 낮았으며, 합성성능의 경우 TRRS가 DBRS보다 46% 우수한 성능을 보였다.

본 논문에서 제안한 TRRS는 VANET의 응용서비스 중의 하나인 응급상황 경고 서비스에서 신속하게 긴급 메시지를 전파할 수 있으며, 멀티-홉 라우팅 프로토콜에서 신속한 경로발견을 위한 브로드캐스트 프로토콜로 사용이 가능한 장점을 갖는다.

참 고 문 헌

[1] J. J. Blum, A. Eskandarian, and L. J. Hoffman, "Challenges of inter-vehicle ad hoc networks," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, Issue 4, pp.347-351, Dec. 2004.  
 [2] M. Torrent-Moreno, M. Killat, and H. Hartenstein, "The challenges of robust inter-vehicle communications," 2005

*IEEE 62nd Vehicular Technology Conference, VTC-2005-Fall, Vol. 1*, pp.319-323, Sep. 2005.

[3] S. Biswas, R. Tatchikou, and F. Dion, "Vehicle - to - vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety," *IEEE Communications Magazine, Vol. 44, Issue 1*, pp.74-82, Jan. 2006.

[4] M. Durresi, A. Durresi, and L. Barolli, "Sensor inter-vehicle communication for safer highways," *19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2005. AINA 2005. Vol. 2*, pp.599-604, Mar. 2005.

[5] S. Min-Te, F. Wu-Chi, L. Ten-Hwang, K. Yamada, H. Okada, and K. Fujimura, "GPS-Based Message Broadcasting for Inter-vehicle Communication," *2000 International Conference on Parallel Processing*, pp.279-286, Aug. 2000.

[6] S. Min-Te, F. Wu-Chi, L. Ten-Hwang, K. Yamada, H. Okada, and K. Fujimura, "GPS-based message broadcast for adaptive inter-vehicle communications," *IEEE 52nd Vehicular Technology Conference, VTS-Fall VTC 2000, Vol. 6*, pp.2685-2692, Sep. 2000.

[7] M. M. Artimy, W. Robertson, and W. J. Phillips, "Connectivity in inter-vehicle ad hoc networks," *2004 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol. 1*, pp.293-298, May 2004.

[8] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen, and J. Sheu., "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *In ACM MOBICOM '99*, pp.151-162, Aug. 1999.

[9] K. Tokuda, M. Akiyama, and H. Fujii, "DOLPHIN for inter-vehicle communications system," *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IVS 2000*, pp.504-509, Oct. 2000.

[10] R. A. Santos, R. M. Edwards, and A. Edwards, "Cluster-based location routing algorithm for vehicle to vehicle communication," *2004 IEEE Radio and Wireless Conference*, pp.39-42, Sep. 2004.

[11] H. Alshaer and E. Horlait, "An optimized adaptive broadcast scheme for inter-vehicle communication," *2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference, VTC 2005-Spring, Vol. 5*, pp.2840-2844, May 2005.

[12] K. Gokhan, E. Eylem, O. Fusun, and 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.

[13] L. Briesemeister and G. Hommel, "Role-based multicast

in highly mobile but sparsely connected ad hoc networks," *2000 First Annual Workshop on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing, 2000. MobiHOC*, pp.45-50, Aug. 2000.

[14] B. Abderrahim, "Optimized Dissemination of Alarm Messages in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET)," *7th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communications, HSNMC 2004, LNCS Vol. 3079*, pp.655-666, 2004.



**김 태 환**

e-mail : thkim76@daegu.ac.kr

2002년 대구대학교 전자공학과(학사)

2004년 대구대학교 정보통신공학과  
(공학석사)

2007년 8월 대구대학교 정보통신공학과  
(공학박사)

2007년 9월~현재 유비쿼터스 신기술 연구센터 선임연구원  
관심분야: 임베디드 시스템, 무선 센서 네트워크, 차량 애드혹  
네트워크 등



**홍 원 기**

e-mail : wkhong@daegu.ac.kr

1995년 연세대학교 전산학과(학사)

1997년 연세대학교 컴퓨터학과  
(공학석사)

2001년 연세대학교 컴퓨터학과  
(공학박사)

2001년~2002년 UC Irvine (미) 박사후과정  
2002년~2004년 LG전자 디지털 미디어 연구소 선임연구원  
2004년~현재 대구대학교 정보통신공학부 조교수  
관심분야: 임베디드 시스템, 실시간 시스템, 무선 센서 네트워크 등



김 희 철

e-mail : hckim@daegu.ac.kr

1983년 연세대학교 전자공학과(학사)

1990년 University of Southern  
California 컴퓨터과학과  
(공학석사)

1995년 University of Southern

California 컴퓨터과학과(공학박사)

1996년~1997년 삼성 SDS 수석연구원

1997년~현재 대구대학교 정보통신공학부 부교수

관심분야: 무선 센서 네트워크, 그리드 컴퓨팅, 미들웨어