

도시 환경에서 신뢰성 높은 브로드캐스트 메시지 전파를 위한 브로드캐스팅 방안

성 윤 영*, 이 미 정^o

A Rebroadcasting Approach for Reliable Broadcast Message Dissemination in Urban Environments

Yoon-young Sung*, Mee-jeong Lee^o

요 약

VANET에서 제공하는 운전자 및 승객의 안전을 위한 응용 서비스는 서비스의 긴급함과 중요성 때문에 신속하고 신뢰성 높은 메시지 전파가 매우 중요하다. 메시지 전파의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 메시지의 수신 여부를 판단하여 필요한 경우에 재전송을 해주는 방법이 필요하다. 특히 차량 밀도가 큰 도시 도로에서는 메시지 충돌 가능성이 높아 비콘과 같은 제어 오버헤드 발생이 적은 방안이 필요하고, 교차로 근처에서는 주변 건물 등의 장애물에 의한 전파 방해로 원활한 메시지 전달이 힘들기 때문에 교차로에서의 효율적인 메시지 전파 방안이 필요하다. 이에 본 논문에서는 도시 도로의 특성을 고려하여 주기적 비콘 교환에 의존하지 않으면서도 효율적으로 브로드캐스트 메시지를 전파하는 방안을 제안한다. 제안 방안은 목적지 수신 확인 방법을 이용해 메시지 수신 여부를 확인하고, 교차로 근처에서는 인접한 모든 도로로 메시지가 전파되었는지 확인하며, 교차로에서 재전송이 필요하다고 판단되는 경우에는 주변 장애물에 의한 신호 쇠퇴의 영향을 덜 받는 교차로 구역 내에 위치한 차량이 메시지를 재전송하도록 함으로써 교차로에 인접한 모든 도로로의 메시지 전파가 용이하도록 한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 방안이 기존 연구에 비해 무선 자원을 적게 사용하면서도 메시지 전파의 신뢰성을 향상시킴을 확인하였다.

Key Words : 브로드캐스트(broadcast), 신뢰성(reliability), beaconless, 도시 도로(urban street), 교차로(intersection)

ABSTRACT

Fast and reliable message broadcasting is critical for safety critical applications of VANET due to the urgency and/or significance of the messages for passengers and drivers. For reliable message delivery, a mechanism for checking the reception of message at the neighboring vehicles and retransmitting it if necessary is required. Especially, in urban environments, where the traffic density tends to be high, mechanisms that minimize control message overhead such as beacon are appropriate in order to minimize the message collisions. Furthermore, broadcast delivery is especially difficult at the intersection due to the road side obstacles such buildings, and hence, a mechanism that enables effective and efficient delivery across intersections is required. In this paper, we propose a beaconless reliable and efficient broadcast approach which specifically taking into account the urban streets. The proposed approach checks the message reception of neighboring vehicles implicitly by taking into account the broadcast of message by next vehicle as the acknowledgement. When retransmissions is necessary

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2012-0001636)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H0301-12-1004)

◆ 주저자 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 커뮤니케이션네트워크 연구실, syy83@ewhain.net, 정희원

○ 교신저자 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과, lmj@ewha.ac.kr, 종신희원

논문번호 : KICS2012-10-502, 접수일자 : 2012년 10월 23일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 30일

around the intersections, vehicles located within the intersection area, where the chance of successful signal propagation toward every branch of the intersection is higher due to less signal attenuation caused by road side obstacles, are to do the retransmissions. Simulation results show that the proposed approach can provide better reliability while consume less resources than the existing approaches.

I. 서 론

차량 애드 hoc 네트워크(VANETs: Vehicular Ad hoc Networks)는 무선 통신 기술을 이용할 수 있는 차량들에 의해 구성되는 네트워크로 각 차량은 서로의 통신 범위 내에서 통신을 하거나 도로를 따라 건설되어있는 고정된 인프라 구조물과 통신을 할 수 있다^[1]. 또한 차량과 도로에 장착된 다양한 센서들을 통해 도로 상태와 교통량에 대한 정보를 실시간으로 수집하여 위험상황 전파, 교통정체 탐지와 같은 승객의 안전을 위한 서비스뿐만 아니라 차량 간 게임, 채팅, 데이터 공유와 같은 승객의 편의를 위한 다양한 서비스를 지원할 수 있다^[2]. 특히 승객의 안전을 위한 서비스는 서비스의 긴급함과 중요성 때문에 효율적이면서도 신뢰성 높게 메시지가 전파되어야 한다.

신뢰성 높게 메시지를 브로드캐스트하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으며 이들 연구는 크게 차량 애드hoc 네트워크의 토폴로지 특성을 고려하여 차량 간 통신이 끊기지 않도록 견고한 경로를 찾는 연구^[3,6]와 메시지 수신 여부를 확인하여 필요한 경우 재전송을 하는 연구^[7,8]로 분류할 수 있다. [7]과 [8]은 주기적인 비콘 교환을 통해 이웃 차량의 정보를 유지하여 메시지를 수신하지 못한 차량이 있는 경우 메시지를 재전송함으로써 전파의 신뢰성을 향상시키는 방안을 제안하였으나 충돌이나 전송 에러로 인한 비콘 손실은 메커니즘의 성능에 영향을 줄 수 있다는 점에서 재고할 필요가 있다. [9]는 각 차량이 생성해서 보내는 비콘에 이웃 차량이 보낸 비콘 정보를 함께 삽입(piggyback)하는 방안을 제안하여 비콘이 손실되더라도 다른 비콘을 통해 주변의 상황정보를 파악할 수 있게 한다. 그러나 이러한 기존 연구들은 실제 도시 도로의 특성을 특별히 고려하지 않아 기존 연구 방안을 도시 환경에 적용하여 메시지를 전파할 경우 모든 대상 차량에게 메시지를 전달하지 못할 가능성이 크다. 도시 도로의 경우 차량 밀도가 높아 동시에 많은 차량이 무선 통신을 시도하는 경우 충돌이 발생할 가능성이 큰데, 특히 비콘 주기와 정보의 정확성은 상충하기 때문에 도시 환경에서의 잦은 비콘 교환은 비콘 뿐 아니라 브로드캐스트 메

시지의 충돌을 야기할 수 있다. 또한 도시에는 크고 작은 건물이 도로를 따라 위치하기 때문에 건물에 의한 신호 쇠퇴가 발생할 수 있다. 그림 1은 교차로 근처에서 건물에 의한 신호쇠약을 보여주는 것으로 교차로 근처에 위치한 차량 A가 메시지를 브로드캐스트 할 때, 차량 A의 브로드캐스트는 주변 건물에 의한 신호 쇠퇴로 교차로에 인접한 도로(회색 도로)로 도달할 수 없어 차량 B는 차량 A의 전송 범위 안에 위치함에도 불구하고 메시지를 받을 수 없는 상황이 발생한다. 이에 본 논문에서는 도시 도로의 특성을 고려하여 제어 오버헤드를 최소화하면서도 교차로에 인접한 모든 도로로 메시지를 전파하는 방안을 제안한다.

제안하는 방안은 비콘을 이용하지 않는 CBF (Contention-Based Forwarding)^[10]를 도시 환경에 적합하게 확장한 것으로, 교차로 근처에서 메시지를 전달하는 경우 교차로에 위치한 차량이 다음 전달 차량이 되어 메시지를 브로드캐스트하거나 교차로에 차량이 없을 때는 교차로로 진입하는 차량 중 가장 먼저 도달한 차량이 브로드캐스트함으로써 교차로에 인접한 모든 도로로 메시지를 전파시킨다. 또한 '다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지 (Acknowledgement)로 여기는 방법'을 제안하는 방안이 적합하게 적용시켜 수신 확인을 위해 비콘이나 명시적 메시지를 주고받지 않아 수신 확인을 위한

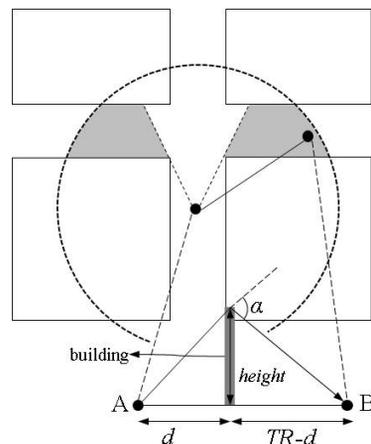


그림 1. 교차로 근처에서의 신호 쇠퇴
Fig. 1. Signal diffraction at the intersection

오버헤드를 발생시키지 않는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 신뢰성 높은 브로드캐스트 메시지 전파를 위한 기존의 연구를 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 도시 환경에 적합한 브로드캐스트 메시지 전파 방안에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 방안의 성능 평가 및 분석을 하고, 마지막으로 5장에서 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련연구

본 장에서는 메시지 전파의 신뢰성 향상을 위한 기존 연구 중에서도 브로드캐스트 후에 메시지 수신 여부를 확인하여 수신 대상 차량이 메시지를 수신하지 못한 경우 재전송해주는 방안을 중심으로 관련 연구를 살펴본다.

Geobroadcast-Slotted Restricted Mobility Based broadcasting protocol (G-SRMB)^[7]는 주기적인 비콘 교환을 통해 이웃 차량의 위치 정보를 수집한다. 현재 전달 차량은 수집한 이웃 정보를 바탕으로 자신과 이웃 차량 간의 거리, 이웃 차량의 속도 및 이동 방향 등을 고려해 전달 차량 후보(Multi-Point Relay (MPR) set)을 결정하여 메시지를 보낸다. 메시지를 수신한 전달 차량 후보(MPR 차량)들은 메시지의 MPR 필드에 명시된 순서를 바탕으로 대기 시간(dynamic time slot)을 설정하여 대기 시간 후에 메시지를 브로드캐스트한다. MPR로 선택되지 않은 차량(non-MPR 차량)도 대기 시간을 설정할 수 있으나 MPR 차량의 것보다 길기 때문에 브로드캐스트의 우선 순위는 MPR 차량에게 있다. 또한 불필요한 중복 전송을 피하기 위해 메시지를 수신한 각 차량은 현재 전달 차량과 자신의 이웃 차량간의 위치 정보를 바탕으로 모든 이웃 차량이 메시지를 수신했다고 판단하면 브로드캐스트 대기 시간을 취소하여 메시지 전송을 하지 않는다.

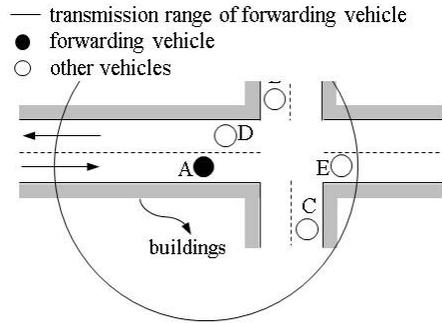
신뢰성있는 메시지 전파를 위해 G-SRMB에서는 제안 방안과 마찬가지로 ‘다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지(Acknowledgement)로 여기는 방법’을 사용한다. G-SRMB는 직선 도로를 대상으로 하는 메시지 전파 방안으로 다음 전달 차량의 브로드캐스트 메시지를 현재 전달 차량이 들으면 두

전달 차량 사이에 위치한 차량들은 브로드캐스트 메시지를 수신했다고 판단하는 것이다. 만약 현재 전달 차량이 메시지를 전송한 후 일정 시간 내에 다음 전달 차량의 브로드캐스트를 듣지 못하면 메시지가 제대로 전송되지 않았다고 판단하여 재전송한다. 전달 차량 후보(MPR 차량)로 선택된 차량뿐 아니라 메시지를 수신한 일반 차량(non-MPR 차량)도 전달 차량과 이웃 차량의 위치 정보를 고려해 메시지를 수신하지 못한 이웃이 있다고 판단하는 경우 메시지를 재전송함으로써 전파의 신뢰성을 향상시킬 수 있으나 G-SRMB의 메시지 전파 방안을 교차로와 신호등이 빈번한 도시 도로에 적용시키는 경우 그림 2와 같은 문제가 발생할 수 있다.

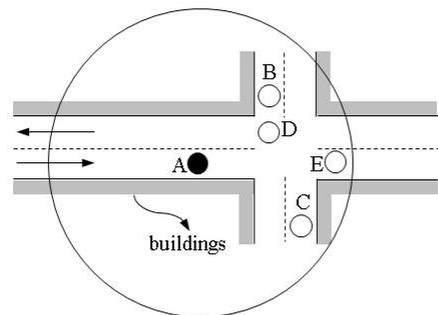
그림 2(a)는 교차로에 차량이 없는 경우로 차량 A는 전달 차량이고 B, C, D, E는 A의 전송 범위 내에 위치한 차량이다. 그러나 교차로 주변의 건물로 인한 신호 쇠퇴로 인해 A는 D, E와만 비콘 교환을 할 수 있어 A, D, E는 서로 만을 이웃 차량으로 인지한다. 이에 A의 브로드캐스트는 이웃 차량인 D와 E만 들을 수 있고 메시지를 수신한 D와 E도 B, C와는 비콘을 교환할 수 없기 때문에 B와 C를 이웃으로 인지하지 않아 이들을 위한 재전송을 하지 않는다. 즉, 결과적으로 차량 A가 위치한 도로에서 교차로를 지난 직선도로로는 메시지가 전파되나 B와 C가 위치한 도로로는 메시지가 전파되지 않는 것이다. 그림 2(b)는 교차로에 차량이 있는 경우로 차량 D는 교차로에 위치하고 있다. 전달 차량 A는 D, E와 비콘 교환이 가능하고 A의 브로드캐스트도 두 차량만 들을 수 있는 반면, D는 주변 건물에 의한 신호 쇠퇴의 영향을 적게 받는 교차로에 있기 때문에 A, B, C, E 모두와 비콘 교환이 가능하다. 그러나 G-SRMB는 이웃 차량의 메시지 수신 여부를 명시적으로 확인하는 것이 아니라 메시지 수신 차량이 전달 차량과 이웃 차량의 물리적인 위치관계를 고려해 수신 여부를 예측하므로 차량 D는 B, C, E가 전달 차량 A의 전송 범위 내에 위치하기 때문에 실제로 B, C는 브로드캐스트를 듣지 못했음에도 모든 이웃 차량이 메시지를 수신했다고 판단한다. 따라서 교차로에 차량이 위치 하더라도 전달 차량이 위치한 도로를 중심으로 교차로의 양 옆에 인접한 도로로는 메시지가 전달되지 않는 것이다.

Acknowledged Parameterless Broadcast in Static to highly Mobile (AckPBSM)^[8]은 비콘에 각 차량의 위치 정보뿐 아니라 수신한 메시지 정보도 함께 넣어서 교환한다. 비콘의 위치 정보를 바탕으로 Connected

1) G-SRMB는 이벤트 발생 지역으로 진입하는 차량, 즉 메시지가 전달되어야 하는 방향과 반대 방향으로 이동하는 차량만을 전달 차량 대상으로 한다.



(a) 교차로에 차량이 없는 경우
(a) No vehicles at the intersection



(b) 교차로에 차량이 있는 경우
(b) Vehicles located at the intersection

그림 2. 교차로 근처에서의 메시지 브로드캐스트
Fig. 2. Broadcast message delivery across an intersection

Dominating Set^[11]에 속하는 차량(CDS 차량)과 그렇지 않은 차량(non-CDS 차량)을 구분하고, 메시지 수신 정보를 바탕으로 메시지를 수신하지 못한 이웃 차량의 수에 반비례하게 재전송 타이머를 설정하여 모든 이웃 차량이 메시지를 수신한 것으로 확인 될 때까지 메시지를 재전송한다. 재전송 타이머는 CDS 차량의 경우 $t / |M|$, non-CDS 차량은 $t \times (1 + 1 / |M|)$ 으로 설정하여 CDS 차량의 재전송 우선순위가 높다.²⁾

비콘에 메시지 수신 여부가 표기되어 있으므로 새로운 이웃 차량이 합류하더라도 불필요한 재전송을 예방할 수 있으며 그림 2(a)와 같이 교차로에 차량이 없는 상황에서도 교차로에 가장 먼저 진입하는 차량(그림2(a)에서는 차량 A)이 B, C와의 비콘 교환을 통해 만약 B와 C가 메시지를 수신하지 않았다면 메시지를 재전송하여 B, C가 위치한 도로로 메시지 전파를 가능하게 한다. 또한 그림 2(b)와 같이 교차로에 차량 D가 있는 경우에 D는 A, B, C, E 모두와 비콘을 교환할 수 있고, 이를 통해 메시지 수신 여부를

2) [8]에서 성능 분석을 위한 실험에서 t 를 0.25초로 설정하였고, $|M|$ 은 메시지를 수신하지 않은 이웃의 수를 의미한다.

확인하여 메시지를 수신하지 못한 이웃 차량을 위해 메시지를 재전송함으로써 교차로에 인접한 모든 도로로 메시지를 전파시킬 수 있다. 즉, 비콘을 통해 차량의 위치 정보뿐 아니라 메시지 수신 여부도 확인할 수 있어 교차로에 진입하는 차량만 있다면 교차로에 인접한 모든 도로로 메시지를 전파시킬 수 있다. 그러나 재전송 여부를 결정하기 위해 메시지를 수신하지 않은 이웃 차량의 정보도 함께 유지 및 갱신해야 하므로 브로드캐스트를 위한 제어 오버헤드가 크며 CDS 전달 백본 구성을 위해 비콘에 자신의 위치 정보와 메시지 수신 정보 외에 1-hop 관계에 있는 이웃들의 정보가 포함되어야 하므로 비콘으로 인한 오버헤드가 커서 차량 밀도가 높은 도시 환경에서 비콘 및 메시지의 충돌을 발생시킬 확률이 크다. 또한 비콘의 1-hop 이웃 정보와 위치 정보를 바탕으로 CDS 전달 백본을 구성할 때 비콘이 충돌하면 정확한 정보를 얻지 못할 수 있고 차량 애드혹 네트워크 환경은 토폴로지가 빠르게 변화하기 때문에 CDS 전달 백본을 구성해 브로드캐스트를 하는 것이 메시지 전파의 효율성 측면에서 적합하지 않다^[12].

III. 도시 환경에서 효율적이면서도 신뢰성 높은 메시지 전파 방안

도시 도로는 차량 밀도가 크고 신호등과 교차로가 빈번해 신호등으로 인해 차량이 신호등 앞에 밀집되는 분포를 보이며 교차로 근처에서는 도로를 따라 위치한 장애물 때문에 신호 쇠약이 발생하여 교차로에 인접한 모든 도로로 메시지를 전달하는 것이 쉽지 않다. 이에 본 장에서는 도시 도로의 특성을 고려하여 제어 오버헤드를 최소화하면서도 신뢰성 높게 메시지를 전파하는 방안을 제안한다.

제안 방안을 설명하기에 앞서 각 차량은 GPS를 통해 자신의 현재 위치를 실시간으로 파악하고, 디지털 맵을 통해 주변 도로의 레이아웃 정보를 얻는다고 가정한다. 또한 브로드캐스트의 목적은 교통정체가 일어나거나 사고가 발생했을 때 해당 지역으로 향하는 차량들에게 차선 변경 및 감속, 우회 도로로의 경로 변경을 유도하여 추가적인 피해를 예방하기 위함이다.

제안하는 방안은 기본 브로드캐스트 메커니즘으로 CBF를 사용함으로써 제어 오버헤드를 최소화한다. CBF는 비콘을 활용하지 않고 다음 전달 차량을 결정하는 방법 중 하나로 현재 전달 차량으로부터 가

장 먼 거리에 위치한 차량이 다음 전달 차량이 된다. 메시지를 수신한 차량이 현재 전달 차량과의 거리에 반비례하게 전달 타이머(forwarding timer)를 설정하고 타이머가 실행되는 동안 중복 메시지를 수신하지 않는다면 타이머가 만료되었을 때 메시지를 브로드캐스트한다. CBF는 receiver-oriented 기법으로 전달 차량이 선택되므로 현재 전달 차량은 메시지를 브로드캐스트하는 것만으로 전달 차량의 책임을 다 했다고 할 수 있고 다음 브로드캐스트에 대한 책임은 메시지를 수신한 차량들 중 다음 전달 차량이 되는 차량에게 있다. 따라서 CBF 자체는 이웃 차량들이 메시지를 제대로 수신했는지에 대해 확인하는 수신 확인 메커니즘을 포함하지 않는다. 그러나 신호등과 교차로가 빈번한 도시 도로에서는 주변 건물에 의한 신호 쇠약으로 브로드캐스트 메시지가 제대로 전달되지 않는 경우가 발생하기 때문에 교차로에 인접한 각 도로로 메시지가 성공적으로 전달되었는지 확인하는 절차가 필요하고 메시지 전달이 실패하여 재전송이 필요하다고 판단되는 경우에는 재전송을 통해 교차로에 인접한 모든 도로로 메시지를 전파할 수 있어야 한다. 논문에서 제안하는 방안은 크게 1)브로드캐스트 수신 여부를 확인하는 방안과 2)교차로에서의 전송 방안으로 나눌 수 있는데, 교차로에서의 브로드캐스트를 위해 그림 3과 같이 주변 건물에 의한 신호 쇠약의 영향을 가장 적게 받는 교차로 정중앙 지역을 ‘교차로 구역’이라고 정의한다.

3.1. 브로드캐스트 수신 여부 확인

기존 CBF는 각 전달 차량이 메시지를 성공적으로 전달했는지 확인하는 과정이 없으므로 G-SRMB의 ‘다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지로 여기는 방법’을 CBF에 맞게 적용한 방안^[13]을 제안 방안에서 활용하고자 한다. 그러나 [13]의 방안은 직선 도로만을 대상으로 한 것으로 교차로를 포

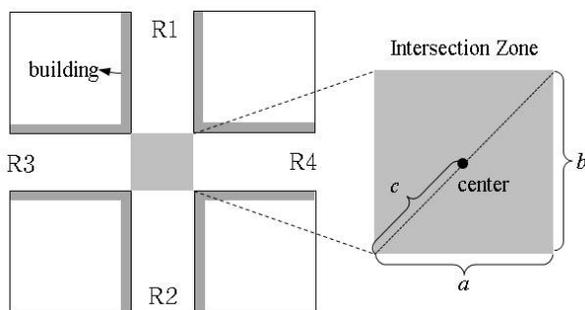


그림 3. 교차로 구역
Fig. 3. Intersection zone

합하는 도시 도로에 그대로 적용하는 경우, 교차로 근처에서 브로드캐스팅을 할 때 교차로의 인접 도로 중 한 도로에서만 중복 브로드캐스팅을 듣더라도 해당 전달 차량은 성공적으로 메시지를 전파했다고 판단한다. 그래서 이로 인해 전달 차량이 위치한 도로에서 교차로를 지난 직선 도로로는 메시지가 전파되거나 교차로에 인접한 나머지 도로로는 메시지가 상당히 늦게 전파되거나 아예 전파가 되지 않을 수 있다. 따라서 교차로에서는 모든 인접 도로로 메시지가 전파될 수 있도록 확인하는 방법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 재전송 타이머 (Rebroadcast Timer, RT)와 교차로 재전송 타이머를 (Intersection Rebroadcast Timer, IRT)를 추가적으로 정의하여 교차로를 포함한 도시 도로에서 브로드캐스트 수신 여부를 확인 할 수 있도록 [13]을 확장하였다.

모든 전달 차량은 메시지를 브로드캐스트 한 후 재전송이 필요한 경우 다시 브로드캐스트하기 위해 다음과 같이 재전송 타이머(Rebroadcast Timer, RT)를 설정하여 실행한다.

$$RT_{timeout} = MaxWT + 2 \times MaxPT \quad (1)$$

- MaxWT: CBF에서 정의한 최대 전달 시간
- MaxPT: 브로드캐스트 메시지의 최대 전파 지연시간으로 메시지가 전송 범위만큼 전파될 때의 지연시간

메시지를 브로드캐스트하는 현재 전달 차량은 전송 범위 내에 교차로를 포함하지 않는 경우와 교차로를 포함하는 경우가 있다. 전송 범위 내에 교차로를 포함하지 않는 경우에는 재전송 타이머가 만료되기 전에 다음 전달 차량의 브로드캐스트를 들으면 자신과 다음 전달 차량 사이에 위치한 이웃 차량들이 성공적으로 메시지를 수신했음을 확인하여 재전송 타이머를 취소하고 브로드캐스트 메시지 전달에 대한 책임을 다음 전달 차량에게 넘긴다. 그러나 재전송 타이머가 만료될 때까지 다음 전달 차량의 브로드캐스트를 듣지 못하면 신호 쇠약이나 전송 어려움으로 메시지가 제대로 전달되지 않았다고 판단하여 재전송하고, 수신 확인 메시지를 받을 때까지 재전송 메커니즘을 반복³⁾한다.

전달 차량의 전송 범위에 교차로가 포함되어 교차

3) 재전송 반복은 미리 설정한 최대 횟수까지 가능하고, 본 논문에서는 3회로 설정하였다.

로 근처에서 브로드캐스트를 할 때는 교차로의 모든 인접 도로로부터 브로드캐스트를 들어야 성공적으로 메시지를 전파했다고 할 수 있다. 현재 전달 차량의 브로드캐스팅은 주변 건물에 의한 신호 쇠약 때문에 인접한 도로로의 메시지 전파가 불가능한 경우가 빈번하므로 교차로 구역에 차량이 있는 경우⁴⁾ 교차로 구역의 차량이 인접 도로로의 메시지 전송을 담당하게 하고 교차로 재전송 타이머를 설정하여 재전송이 필요하다고 판단되면 메시지를 재전송을 한다. 즉, 현재 전달 차량이 교차로 근처에서 브로드캐스트 할 때 현재 위치한 도로에서 교차로를 지난 직선 도로로부터 브로드캐스트를 들으면 수신 확인 메시지로 여겨 재전송 타이머를 취소하고, 브로드캐스트 메시지를 수신한 교차로 구역의 차량이 다음 전달 차량이 되어 메시지를 브로드캐스트하는 것이다. 메시지를 브로드캐스트 한 교차로 구역의 차량은 어느 전달 차량과 마찬가지로 식 (1)에 따라 재전송 타이머를 설정하고 추가적으로 교차로 재전송 타이머를 다음과 같이 설정하여 인접한 도로로부터 수신확인 메시지를 기다린다. 한 번의 중복 브로드캐스팅을 들으면 재전송 타이머는 취소되는 반면 교차로 재전송 타이머는 교차로에 인접한 모든 도로로부터 브로드캐스트를 들어야 취소될 수 있고, 타이머가 만료될 때까지 인접한 모든 도로로부터 브로드캐스트를 듣지 못하면 메시지를 재전송한다.

$$IRT = RT_{timeout} \quad (2)$$

교차로 재전송 타이머는 메시지 수신 확인 및 재전송뿐 아니라 교차로 구역에서의 브로드캐스트를 위해서도 사용하는데 교차로 재전송 타이머를 설정

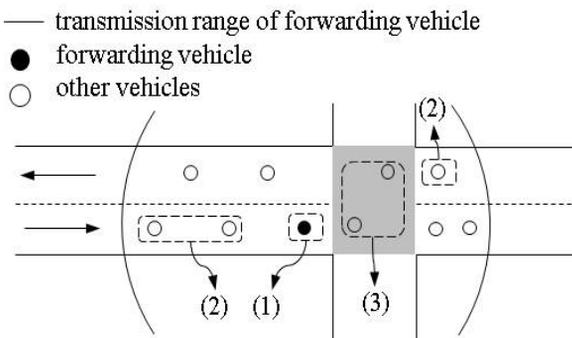


그림 4. 교차로 재전송 타이머를 설정하는 세 가지 경우
 Fig. 4. Three cases to set IRT

4) 교차로 구역에 차량이 없는 경우에는 2) 교차로에서의 전송 방안을 따른다.

하는 대상, 타이머 실행 시기, 타이머 설정 값 등에 대한 사항은 2)교차로에서의 전송 방안에서 자세히 다루도록 한다.

3.2. 교차로에서의 전송 방안

교차로 근처에서는 주변 건물에 의한 신호 쇠약이 발생하여 현재 전달 차량이 위치한 도로에서 교차로를 지난 직선 도로까지는 메시지가 전달되나 인접한 양 옆 도로로는 메시지가 전달되지 않는 경우가 빈번하다. 따라서 효율적으로 교차로에 인접한 모든 도로로 메시지를 전달하기 위해서 교차로 근처에서는 교차로 구역에 위치한 차량이 전달 차량이 되어 브로드캐스트를 하도록 한다. 이를 위해 그림 4의 두 가지 경우에 해당하는 차량들은 교차로 재전송 타이머를 설정한다. (1), (2)는 현재 전달 차량을 포함하여 전송 범위에 교차로를 포함하고 있으면서 교차로로 진입하고 있는 브로드캐스트 메시지 수신 차량의 경우이고, (3)은 브로드캐스트 메시지를 수신한 교차로 구역 내의 차량에 해당된다.

교차로 재전송 타이머는 교차로에서 인접한 모든 도로로의 브로드캐스트를 위한 것으로 교차로 구역에 차량이 없는 경우 그림 4의 (1), (2)에 해당하는 차량 중 교차로에 가장 먼저 도달하는 차량이 메시지를 브로드캐스트하게 한다. 이들 차량은 교차로에 도달하기 전까지 교차로 구역에 위치한 차량으로부터 브로드캐스트 메시지를 수신하지 못할 때 교차로 구역 내에 차량이 없다고 판단할 수 있다. 또한 그림 4의 (3)과 같이 교차로 구역 내에 여러 대의 차량이 있을 경우에는 이들 차량 가운데서 메시지를 브로드캐스트 할 다음 전달 차량을 결정한다.

이를 위해 그림 4의 (1), (2)와 (3)에 해당하는 차량은 각각 다르게 교차로 재전송 타이머 값을 설정한다. 그림 4의 (1) 혹은 (2)와 같이 교차로를 향해 진입하고 있는 차량은 교차로 재전송 타이머 값으로 일반적인 경우 교차로에 진입할 때까지 만료되지 않을 만큼 충분히 큰 값(IRT_{max})을 설정하고 교차로에 도달하면 식 (3)에 따라 교차로 재전송 타이머를 재설정한다. 그림 4의 (3)과 같이 메시지를 수신한 시점에 교차로 구역 내에 위치하고 있는 차량은 바로 식 (3)에 따라 교차로 재전송 타이머를 설정한다. 식 (3)은 교차로 중앙으로부터 차량까지의 거리에 반비례하는 값으로 교차로 재전송 타이머를 설정하도록 하는데, 이는 교차로 중앙으로 갈수록 건물 등의 교차로 주변 장애물에 의한 신호 쇠약 영향을 덜 받기 때문에 교차로 중앙 쪽에 가장 가까이 위치한 차량이 재전송을 담당하도록 하기 위함이다. 따

라서 교차로 중앙에 가까이 위치할수록 타이머 값이 작게 설정되고, 교차로 구역에 여러 대의 차량이 있을 때는 중앙에 보다 가까이 위치한 차량이 브로드캐스트의 우선순위가 높다.

그림 4에서 교차로를 향해 진입하는 현재 전달 차량인 (1)은 메시지를 브로드캐스트한 후 재전송 타이머와 교차로 재전송 타이머를 설정하고, (2)는 브로드캐스트 메시지를 듣고 CBF에서 다음 전달 차량을 결정하기 위해 사용하는 전달 타이머와 더불어 교차로 재전송 타이머를 설정한다. (1)과 (2)는 모두 교차로 재전송 타이머를 일단 최대 값인 IRT_{max} 로 설정했다가 교차로에 도달하면 식 (3)에 따라 재설정한다. 반면에 메시지 수신 당시 교차로 구역 내에 위치한 차량인 (3)은 브로드캐스트 메시지를 들으면 전달 타이머를 설정하고 이와 더불어 식 (3)에 따라 교차로 재전송 타이머를 설정한다.

$$IRT_{intersection-vehicle\ timeout} = MaxWT \times \frac{D_{vehicle-center}}{c} \quad (3)$$

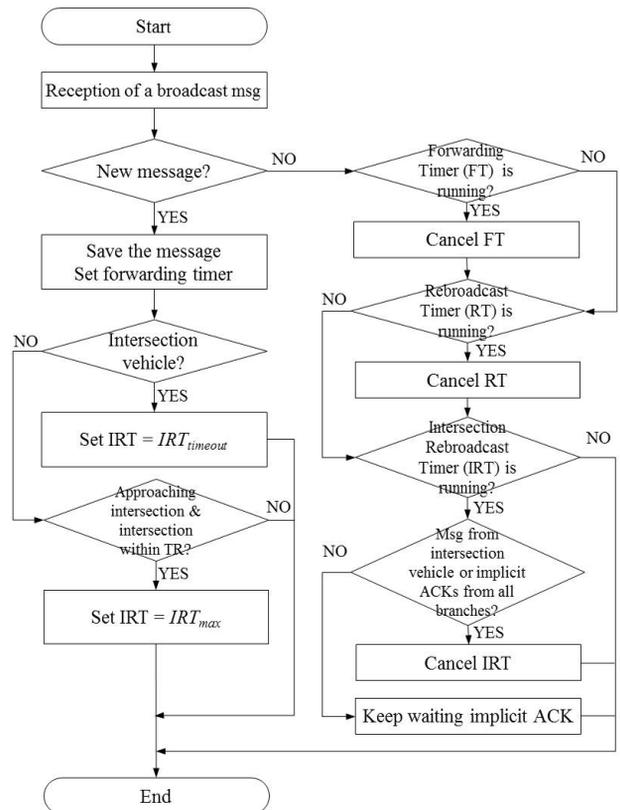
- MaxWT: CBF에서 정의하는 최대 전달 시간
- $D_{vehicle-center}$: 교차로 중앙으로부터 차량까지의 거리
- c: 교차로 구역의 대각선 길이의 절반, $\sqrt{(a^2 + b^2)}/2$ 로 계산한다. (그림 3 참조)

종합적으로 보면 제안하는 방안을 위해 이용하는 타이머는 세 종류로 CBF에서 다음 전달 차량을 결정하기 위해 사용하는 전달 타이머와 재전송 타이머, 교차로 재전송 타이머 등이다. 전달 타이머, 재전송 타이머는 한 번의 중복 브로드캐스팅을 들으면 취소하는데 중복 브로드캐스팅을 듣는다는 것은 수신한 메시지에 대해 다른 차량이 다음 전달 차량이 되어 브로드캐스팅을 담당하는 것을 의미하므로 현재 전달 차량은 설정했던 재전송 타이머를 취소하고 전달 차량이 아닌 차량은 다음 전달 차량을 결정하기 위해 설정했던 전달 타이머를 취소하는 것이다.

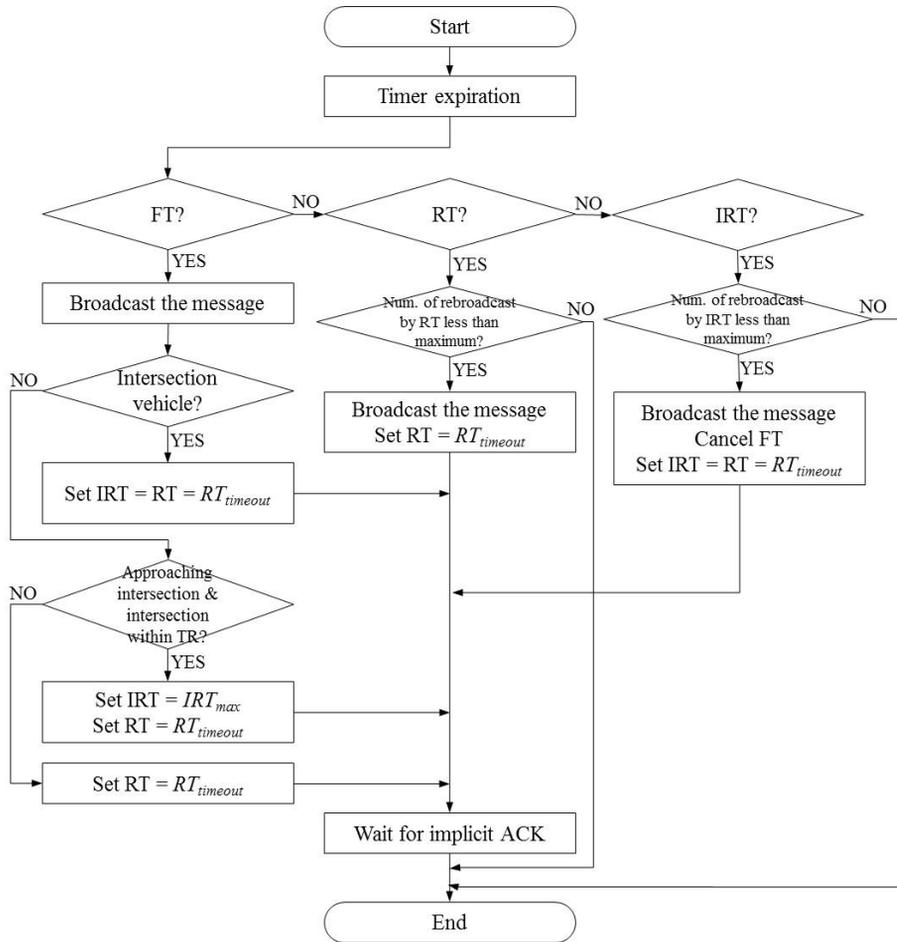
반면 교차로 재전송 타이머의 경우 그림 4의 (1), (2)와 (3)의 타이머 취소 조건이 각각 다르다. (1)과 (2)에 해당하는 차량들의 경우에는 교차로 구역으로부터 브로드캐스트를 들으면 교차로 구역 내에 이미 브로드캐스팅을 담당할 차량이 있다는 의미이므로 자신의 교차로 재전송 타이머를 바로 취소한다. 교차로 재전송 타이머는 교차로에 인접한 도로로의 브로드캐스트를 위한 것으로 교차로 구역의 차량이 메시지를 전송하는 경우 재전송에 대한 책임도 교차로

구역의 차량에게 있다. 따라서 (1)과 (2)에 해당하는 차량들이 교차로 구역의 차량으로부터 브로드캐스트를 들으면 자신들이 진입할 교차로의 인접 도로로의 메시지 전파가 교차로에 위치한 차량에 의해 수행될 것을 확신하고, 이에 타이머를 취소하는 것이다. 그러나 (3)과 같이 교차로 구역 내에 있는 차량의 교차로 재전송 타이머는 교차로에 인접한 각 도로로부터 브로드캐스트를 들어야 취소될 수 있다. 교차로 구역에 여러 대의 차량이 있는 경우에는 자신의 교차로 재전송 타이머가 실행 중일 때 교차로 구역의 다른 차량으로부터 브로드캐스트를 들으면 자신보다 교차로 브로드캐스팅의 우선순위가 높은 다른 차량 즉, 교차로 구역 중앙에 더 가까이 위치한 차량이 이미 전송을 한 것이므로 실행 중인 타이머를 취소한다.

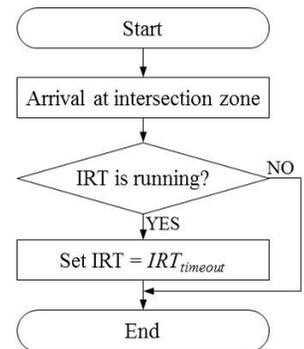
교차로 구역에 위치한 차량은 브로드캐스트 메시지를 수신한 후 전달 타이머와 교차로 재전송 타이머를 각각 설정하는데, 다른 전달 차량의 브로드캐스트를 듣지 못한 상태에서 둘 중 하나의 타이머가 만료되면 메시지를 브로드캐스트한다. 전달 타이머가 만료되어 브로드캐스트한 경우에는 재전송 타이머와 교차로 재전송 타이머를 식 (1)의 값으로 재설정하여 수신 확인 메시지를 기다린다. 반면에 교차로 재전송



(a) 브로드캐스트 메시지 수신
(a) Reception of a broadcast message



(b) 타이머 만료
(b) Timer expiration



(c) 차량이 교차로 구역에 진입
(c) Arrival at Intersection

그림 5. 제안하는 방안의 동작 방법
Fig. 5. Proposed approach

타이머가 만료되어 브로드캐스트를 한 경우에는 전달 타이머를 취소하고 재전송 타이머와 교차로 재전송 타이머를 식 (1)의 값으로 재설정하여 인접 도로로부터의 브로드캐스트를 기다린다. 그림 5는 제안하는 방안을 플로우 차트로 정리한 것이다. 그림 5(a)는 브로드캐스트 메시지를 수신했을 때의 처리 방식, 그림 5(b)는 타이머가 만료될 때의 처리 방식, 그림 5(c)는 차량이 교차로 구역에 진입했을 때의 타이머 설정을 나타낸다.

메시지가 브로드캐스트 될 때 교차로에서 가능한 차량 분포 시나리오는 다음의 세 가지 중 하나가 된다. 첫째는 교차로를 지나는 차량이 있는 경우이고, 두 번째는 교차로를 지나는 차량은 없지만 교차로에 진입하기 직전인 차량/진입하기 위해 신호 대기 중인 차량이 있는 경우, 마지막은 교차로를 지나는 차량도 없고 교차로에 진입하기 직전인 차량/진

입하기 위해 신호 대기 중인 차량도 없는 경우이다. 첫 번째의 경우 메시지를 수신한 교차로 구역의 차량은 제안하는 방안을 따라 전달 타이머와 교차로 재전송 타이머를 설정한다. 교차로 구역에서 서로 다른 위치에 있는 두 대 이상의 차량이 교차로 중앙으로부터 동일한 거리에 위치한다면 교차로 재전송 타이머가 모두 같게 설정되어 타이머 만료 후 브로드캐스팅 충돌이 발생하고 이는 제안하는 방안의 성능에 큰 영향을 미치나 실제 도로에서 차량들이 교차로 중심을 기준으로 같은 거리만큼 떨어져 위치하는 경우가 매우 드물뿐더러 이러한 차량들이 교차로 중심에 가장 가까이 위치하여 교차로 재전송 타이머가 가장 먼저 만료되고 브로드캐스팅을 할 가능성은 매우 희박하다. 두 번째는 동서 도로는 정지 신호, 남북 도로는 주행 신호로 가정하였을 때, 동서 도로에 있는 차량은 교차로에 진입하기 위해 신호 대기 중

인 차량이고 남북 도로에 있는 차량은 교차로로 진입하기 직전의 차량으로 설명할 수 있다. 이 때 두 대 이상의 차량이 교차로 중심으로부터 동일한 거리만큼 떨어진 위치에 있다면 교차로 재전송 타이머의 값이 같게 설정되어 브로드캐스트 충돌이 발생할 수 있으나 첫 번째 경우와 마찬가지로 실제 도로의 차량이 교차로 중심을 기준으로 동일한 거리에 위치할 가능성은 매우 적다. 마지막으로 교차로를 지나는 차량, 교차로에 진입하기 직전인 차량/진입하기 위해 신호 대기 중인 차량이 모두 없는 경우에는 제안하는 방안을 따라 그림 4의 (1), (2)에 해당하는 차량들이 교차로에 진입하여 교차로 재전송 타이머를 식 (3)과 같이 재설정함으로써 교차로에서 인접한 도로로 브로드캐스팅을 할 수 있다. 따라서 제안하는 방안은 교차로에서 발생하는 모든 상황을 다룰 수 있으며 교차로에서의 신뢰성 있는 전송을 가능하게 한다.

IV. 성능 평가 및 분석

제안하는 방안과 AckPBSM, G-SRMB, 플러딩, R-CBF^[13]의 성능을 비교하기 위해 OPNET을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 브로드캐스트 메시지를 수신한 후 다음 전달 차량을 선택하는 기존 방안들과 달리 플러딩은 브로드캐스트 메시지를 수신한 모든 차량이 다음 전달 차량이 되어 브로드캐스팅을 수행한다. R-CBF는 도시의 비교차로 구간에서 다음 전달 차량의 브로드캐스트 메시지를 수신 확인 메시지로 여기고 이를 위해 일정 시간 후에도 통신 연결에 가능한 차량을 다음 전달 차량 대상으로 삼는 방안이다.

네트워크의 크기는 2,445m x 2,445m로 9개의 교차로를 갖는 3 x 3 격자 도로로 구성된다. 교차로 사이의 직선 도로는 600m이고, 각 도로는 양방향 1차 도로로 도로 폭은 15m이다. 전체 차량을 일정한 간격을 두고 도로에 배치하여 시뮬레이션을 시작하며, 각 차량을 14 ~ 18m/s의 범위에서 무작위로 선택된 속도로 이동하다 신호등에 따라 정지했다가 다시 주행이 시작되면 해당 속도로 계속 이동한다. 신호등은 300m 간격으로 위치하여 초록 불과 빨간 불이 30초씩 교대로 켜져 신호에 따라 차량들이 주행과 정지를 반복하고, 교차로에 도달한 차량은 80%의 확률로 직진, 각 10%의 확률로 좌/우회전을 한다. 도로의 끝에 도달하는 차량은 반대 차선으로 유턴하여 반대 방향으로 주행하도록 함으로써 시뮬레이션 동안 차

량의 수를 일정하게 유지한다. 또한 도로변에 10~20m 높이의 건물들이 위치한다고 가정하여 주변 건물에 의한 신호쇠약이 발생하도록 하였고 이는 knife-edge 모델^[14]을 따라 구현하였다. 제안하는 방안의 메시지 전파의 신뢰성을 평가하기 위해 100bytes의 메시지 20개를 60초 간격으로 네트워크 정중앙에서 발생시켜 수신한 브로드캐스트 메시지 개수에 따른 차량 수를 측정하였고, 메시지 전파 시 무선 자원 사용의 효율성을 평가하기 위해 메시지를 수신한 차량 수에 대한 전달 차량의 비율, 시뮬레이션 동안 전체 네트워크에서의 자원 사용량을 비교하기 위해 시뮬레이션 동안 생성된 트래픽(브로드캐스트 메시지와 비콘) 양을 측정하였다. 모든 측정값은 실험을 20

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Simulation Parameters		Values
Network Size		2,245m x 2,245m
Intersection Number and Distance between intersections		9, 600m
Distance between Traffic lights		300m
Broadcast msg Number and Size		20, 100bytes
Transmission Range		300m
Vehicle Velocity		14 ~ 18 m/s
Vehicle density		48, 96 vehicles/km ²
Vehicle Number and Initial Distance between vehicles		(288vehicles, 50m), (576vehicles, 25m)
Channel Bandwidth		10MHz
Proposed approach	Maximum Wait Time	0.1 secs
	Maximum Propagation Time	0.003 secs
	Maximum Retransmission	3
	MAC protocol	802.11 DCF
AckPBSM	<i>t</i>	0.25 secs
	Beacon period and Hold time	(0.1, 0.3), (0.5, 1.5), (1.0, 3.0)
	MAC protocol	802.11 DCF
G-SRMB	dynamic slot time	0.00000016 secs x <i>n</i>
	<i>n</i>	the order at MPR fields
	MAC protocol	802.11 p
R-CBF	Maximum Wait Time	0.1 secs
	Maximum Retransmission	3
	MAC protocol	802.11 DCF

번 반복하여 평균을 낸 것이다.

실험을 위한 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 차량의 전송 범위는 반경 300m이고, 차량의 이동속도는 14 ~ 18m/s, 전체 차량 수는 288, 576대로 초기 배치 간격은 각각 50m, 25m이다. 제안하는 방안의 브로드캐스트 최대 전달 시간은 0.1초, 최대 전파 지연시간은 0.003초이고, G-SRMB의 비콘 주기는 0.1초, AckPBSM의 비콘 주기는 0.1, 0.5, 1.0초로 변경시켜 가며 실험을 한다. G-SRMB와 AckPBSM은 모두 비콘을 활용하는 방안이고 MAC 계층 프로토콜로 G-SRMB는 802.11p^[15], AckPBSM은 802.11 DCF^[16]를 사용한다. 프로토콜 자체에서 차량 간 통신을 위해 필요한 정보를 비콘(주기 0.1초)을 통해 교환하는 802.11p와 달리 802.11 DCF에서는 차량 간 정보 교환을 위해 추가적으로 비콘을 활용하므로 비콘으로 인해 추가적인 오버헤드가 발생하고 이로 인해 비콘 주기가 AckPBSM의 성능에 미치는 영향을 함께 평가하고자 비콘 주기를 변경하며 실험하였다.

그림 6은 차량이 수신한 메시지 개수가 x 축의 메시지 개수 이상인 차량의 비율을 누적 분포도로 나타낸 것으로 그림 6(a)과 그림 6(b)는 차량 밀도가 각각 48대/km², 96대/km²인 경우이다. 차량 밀도가 클수록 전달 차량의 전송 범위 내에 메시지를 수신하는 차량의 수가 많고 차량 간 통신 연결성이 좋아 많은 수의 메시지를 수신한 것을 볼 수 있는데 특히 제안하는 방안의 경우 차량 밀도가 크면 모든 차량이 17개 이상의 메시지를 수신한다. 차량 밀도가 큰 경우 제안하는 방안의 성능이 AckPBSM(1.0)과 거의 비슷한 것을 제외하면 모든 경우에서 기존 연구보다 높은 신뢰성을 보인다. AckPBSM은 비콘 주기가 길수록 제안 방안에 가까운 높은 신뢰성을 보이는 반면 비콘 주기가 0.1초인 경우에는 성능이 매우 떨어져 단순 플러딩 기법보다도 메시지 수신률이 낮다. AckPBSM은 비콘의 메시지 수신 정보를 명시적으로 확인해서 메시지를 수신하지 못한 이웃이 있는 경우에 재전송하므로 브로드캐스트가 완료된 시점에서 메시지를 수신하지 못한 새로운 이웃을 발견하더라도 메시지를 전달할 수 있다는 장점이 있으나 새로운 이웃 차량을 발견한 후 바로 메시지를 브로드캐스트 하는 것이 아니라 일정 시간 동안 기다린 후 마지막으로 수신한 비콘의 정보를 바탕으로 브로드캐스트 여부를 결정하므로 이 시간 동안 전송 에러 및 비콘 충돌로 인해 비콘을 정상적으로 교환하지 못한다면 이 이웃 차량은 이웃 리스트에서 제거되어 메시지를 받을 기회를 잃게 되는 상황이 발생할 수

있다. 비콘 주기가 짧을수록 비콘이 충돌할 가능성이 크기 때문에 실제로는 이웃 관계임에도 이웃으로 인지하지 못하고 이 경우 메시지를 수신하지 못하기 때문에 그림 6처럼 비콘 주기가 짧을수록 메시지를 수신한 차량의 수가 적어지는 것이다. G-SRMB와 R-CBF의 성능이 가장 낮는데, G-SRMB는 전달 차량과 이웃 차량 간의 거리만을 고려하여 메시지 수신 여부를 판단하고 메시지를 수신하지 못한 차량이 있는 경우 브로드캐스트하여 메시지를 전달한다. 그러나 도시 도로의 특성을 특별히 고려하지 않아 관련 연구에서 언급했듯이 전달 차량이 교차로 근처에서 브로드캐스트 할 때 거리상으로는 전달 차량의 전송 범위 내에 위치하지만 교차로 주변의 전파 방해로 메시지를 수신하지 못하는 이웃 차량이 있음에도 이를 감지하지 못해 교차로에서의 메시지 전파가 원활하지 않아 차량 밀도에 관계없이 전파의 신뢰성이 매우 낮다. R-CBF는 도시 도로에서의 신호등에 의한 차량 분포를 고려하지만 교차로에서의 전파를 고려하지 않았다. 따라서 메시지가 브로드캐스트되는 시점에 교차로 구역에 차량이 없으면 교차로에 인접한 도로로 메시지가 전파될 수 없고, 현재 전달 차량으로부터 가장 먼 거리에 위치한 차량이 다음 전달 차

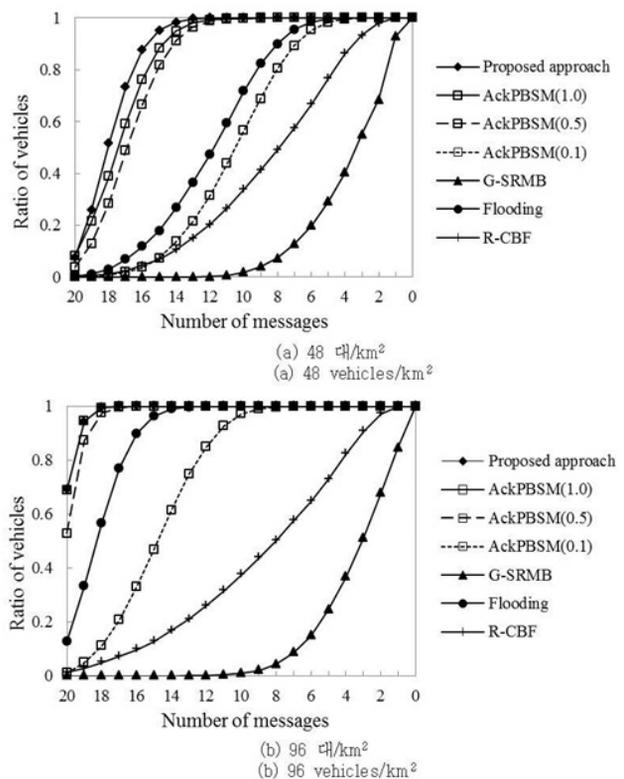


그림 6. x 개 이상의 메시지를 수신한 차량의 비율
Fig. 6. Ratio of Vehicles receiving x or more message

량이 되는 전달 차량 정책 때문에 교차로 구역에 차량이 위치하더라도 이 차량이 현재 전달 차량으로부터 가장 멀리 떨어져 있어야만 다음 전달 차량이 될 수 있으므로 교차로에서의 원활한 브로드캐스팅이 힘들다. 따라서 교차로 간의 직선 도로에서는 성공적으로 메시지가 전파되더라도 교차로 근처에서 브로드캐스팅을 하는 경우에 전달 차량이 위치한 현재 도로에서 교차로를 지난 직선 도로로는 메시지 전파가 가능하나 그렇지 않은 인접도로로는 전파가 불가능하여 차량 밀도에 관계없이 전파의 신뢰성이 낮음을 볼 수 있다. 그러나 특정 방향으로 이동하는 차량만을 전달 차량 대상으로 하는 G-SRMB의 전달 차량 선택 정책과 달리 R-CBF는 이동 방향에 관계없이 전달 차량을 선택하므로 보다 많은 이웃 차량에게 브로드캐스트 메시지를 전달 할 수 있는 차량이 다음 전달 차량이 되어 G-SRMB보다는 높은 브로드캐스트 성능을 보인다. 단순 플러딩 기법 역시 도시 환경을 특별히 고려하지 않기 때문에 브로드캐스트를 하는 시점에 교차로 구역에 차량이 없으면 교차로에 인접한 도로로 메시지를 전파할 수 없다. 그러나 플러딩 기법은 메시지를 수신한 모든 차량이 전달 차량이 되어 브로드캐스트에 참여하므로 교차로 구역에 차량이 있다면 R-CBF, G-SRMB와 달리 교차로 구역의 차량도 전달 차량이 되어 메시지를 전파한다. 이에 교차로에 인접한 도로로의 브로드캐스팅이 가능하여 G-SRMB와 R-CBF보다 높은 브로드캐스트 성능을 보인다.

그림 7은 메시지를 수신한 차량 수에 대한 전달 차량 수의 비율을 차량 밀도 별로 측정된 결과를 보

인 것으로 메시지 브로드캐스트의 효율성을 나타낸다. 차량 밀도가 클수록 전달 차량의 전송 범위 내에 더 많은 차량이 포함되어 한 번의 브로드캐스트로 더 많은 차량이 메시지를 수신 할 수 있어 제안 방안과 AckPBSM, G-SRMB, R-CBF 모두 차량 밀도가 클수록 효율적으로 메시지를 전파함을 볼 수 있다. 제안 방안과 G-SRMB, R-CBF의 경우 현재 전달 차량으로부터 가장 먼 거리에 위치한 차량이 다음 전달 차량이 되어 브로드캐스트하기 때문에 직선 도로에서의 브로드캐스트 횟수는 차량 밀도에 크게 영향 받지 않고 거의 비슷하게 유지된다. 교차로 근처에서의 메시지 전파를 위해 제안 방안은 교차로 구역에서의 추가적인 브로드캐스트를 필요로 하는데 추가 브로드캐스트의 최대 횟수는 네트워크 내의 교차로 개수만큼이라 전파의 효율성에 큰 영향을 미치지 않으며, G-SRMB와 R-CBF는 교차로가 있는 도로 환경을 고려하지 않은 방안이므로 앞서 언급했듯이 교차로에서 추가적인 브로드캐스트를 하지 않는다. 따라서 제안 방안과 G-SRMB, R-CBF는 차량 밀도에 관계없이 거의 일정한 횟수만큼 브로드캐스트를 하므로 차량 밀도가 클수록 수신한 메시지 당 브로드캐스트 횟수는 적을 수밖에 없다. 제안 방안과 G-SRMB, R-CBF에서 밀도 변화에 따른 메시지 수신 차량 수에 대한 전달 차량 수의 비율은 비슷한 양상으로 변화하고 특히, R-CBF는 제안 방안과 매우 비슷하나 그림 2에서 보았듯이 G-SRMB는 신뢰성 측면에서 크게 뒤떨어지고 R-CBF도 교차로를 고려하지 않는 방안이기 때문에 제안 방안과 G-SRMB, R-CBF의 브로드캐스트 효율성을 메시지 수신 차량 수에 대한 전달 차량 수의 비율만으로 비교하기는 힘들다. AckPBSM은 브로드캐스트 효율성에 대한 성능이 신뢰성과는 반대되는 경향을 보여 비콘 주기가 짧아질수록 보다 효율적임을 알 수 있고 이는 비콘을 바탕으로 구성되는 CDS 전달 백본 때문이다. AckPBSM은 효율적인 브로드캐스트를 위해 CDS 전달 백본을 구성하여 한 번의 브로드캐스트로 최대한 많은 이웃 차량을 커버할 수 있는 CDS 차량을 결정한다. 이는 비콘에 삽입된 이웃 차량의 1-hop 이웃들의 정보를 이용하는 것으로 CDS 차량뿐 아니라 non-CDS 차량도 전달 차량이 될 수 있으나 CDS 차량의 브로드캐스트 대기 시간이 짧게 설정되어 브로드캐스트의 우선 순위가 높다. 비콘의 정보를 바탕으로 CDS 전달 백본을 구성하므로 토폴로지가 빠르게 변화하는 차량 애드혹 네트워크에서 비콘이 실제 이웃 차량의 상황을 최대한 정확하게 반영해야 CDS

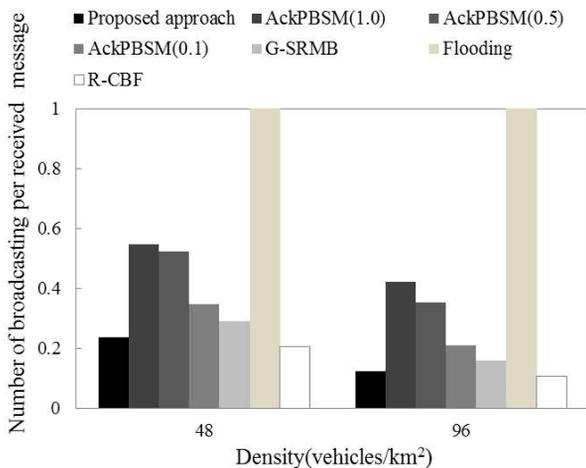


그림 7. 차량 밀도 별 메시지를 수신한 차량 수에 대한 전달 차량 수의 비율
Fig. 7. Number of broadcasting per received message

표 2. 네트워크 전체에서 발생한 트래픽 양 (Mbytes)
Table 2. Amount of overhead traffic (Mbytes)

density schemes	48 vehicles/km2			96 vehicles/km2		
Proposed Approach	116			140		
AckPBSM (beacon period)	1417 (1.0)	2549 (0.5)	11621 (0.1)	2781 (1.0)	5003 (0.5)	23211 (0.1)
G-SRMB	28			27		
Flooding	331			1017		
R-CBF	48			51		

차량도 정확하게 결정되거나 비콘 주기와 정보의 정확성은 상충하기 때문에 비콘 주기가 길수록 비콘에 삽입 정보와 실제 이웃 차량의 상황에 차이가 있어 CDS 차량이 적합하지 못한 경우가 많아진다. 이웃한 두 차량 이상이 CDS 차량으로 결정되어 불필요한 브로드캐스트를 하는 경우가 발생하고 이로 인해 브로드캐스트 메시지가 충돌하여 불필요한 재전송을 해야 하는 상황도 발생하기 때문에 비콘 주기가 길수록 수신한 메시지 당 많은 브로드캐스팅을 필요로 하는 것이다. 차량 밀도가 클수록 제안 방안과 G-SRMB, R-CBF의 메시지를 수신한 차량 수에 대한 전달 차량 수의 비율이 밀도의 차이만큼 감소하는 반면 AckPBSM은 밀도가 증가해도 그 비율이 약간만 감소하는 것도 차량 밀도가 클수록 비콘 및 브로드캐스트 메시지의 충돌이 빈번하여 그 만큼 재전송을 많이 하기 때문이다.

표 2는 시뮬레이션 동안 사용한 네트워크 자원량을 비교하기 위해 시뮬레이션 동안 발생한 트래픽 양을 측정하는 것이다. 측정된 트래픽은 브로드캐스트 메시지와 비콘의 합으로 제안 방안은 비콘을 활용하는 AckPBSM과 메시지를 수신한 모든 차량이 브로드캐스트하는 플러딩 기법보다 적은 오버헤드를 발생시킴을 볼 수 있다. G-SRMB도 비콘을 활용하지만 이는 프로토콜 자체의 비콘을 활용하여 추가적인 오버헤드를 발생시키지 않으므로 브로드캐스트된 메시지 양만을 측정하였다. 측정 결과를 보면 G-SRMB와 R-CBF가 제안 방안보다 적은 오버헤드를 발생시키는 것을 볼 수 있는데 그림 6에서 본 것처럼 G-SRMB와 R-CBF의 브로드캐스트 성능이 매우 낮아 네트워크 전체에 브로드캐스트 메시지가 전달되지 않기 때문에 메시지에 의한 오버헤드가 적게 발생하는 것일 뿐 G-SRMB와 R-CBF가 제안 방안에 비해 적은 트래픽 오버헤드를 발생시킨다고 말할 수는

없다.

V. 결 론

본 논문에서는 도시 환경을 특성을 고려하여 신뢰성 높고 효율적인 브로드캐스트 방안을 제안하였다. 제안하는 방안은 CBF 기법을 기본 브로드캐스트 메커니즘으로 이용해 비콘 교환 없이 메시지를 전달하고, 다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지로 여기는 방안을 적용하여 수신 확인을 위한 비콘이나 명시적 메시지를 교환하지 않아 메시지 수신 확인을 위한 오버헤드를 발생시키지 않는다. 또한 도시 도로에서 메시지 전파의 신뢰성을 향상시키기 위해 교차로 구역의 차량이나 가장 먼저 교차로에 진입하는 차량이 메시지를 브로드캐스트 하여 교차로에 인접한 모든 도로로 메시지를 전파시킬 수 있게 한다. 성능 평가를 위해 차량 밀도에 따라 각 차량이 수신한 메시지 개수와 메시지 수신 차량에 대한 전달 차량 수의 비율, 시뮬레이션 동안 네트워크 전체에서 발생한 트래픽 양을 측정하였다. 실험을 통해 제안하는 방안이 AckPBSM 과 비교해서는 전파의 신뢰성 관점에서 높거나 유사한 성능을 보이면서 브로드캐스트 효율성 및 트래픽 오버헤드 측면에서 훨씬 유리함을 확인할 수 있었고, G-SRMB, R-CBF, 플러딩에 비해서는 제안하는 방안이 신뢰성 및 효율성 측면에서 모두 월등함을 확인하였다.

References

- [1] M. Nekovee, "Sensor networks on the road: the promises and challenges of vehicular ad hoc networks and vehicular grids," in *Proc. Workshop on Ubiquitous Computing and e-Research*, May 2005.
- [2] H. Jung, S. Lee, "Routing Algorithm for Urban Vehicular Ad hoc Networks," *Journal of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers: Information Communication*, vol. 37, no. 2, pp. 157~161, Apr. 2010.
- [3] N. Rajgure, G. Wang, and C. Borcea, "VANET Routing on City Roads Using Real-Time Vehicular Traffic Information," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 58, no. 7, pp. 3609-3626, Sep. 2009.
- [4] M. Jerbi, T. Rasheed, Y. Ghamri-Doudane,

“Towards Efficient Geographic Routing in Urban Vehicular Networks,” *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 9, pp. 5048-5059, Nov. 2009

[5] P. Lai, X. Wang, N. Lu, F. Liu, “A Reliable Broadcast Routing Scheme Based on Mobility Prediction for VANET,” *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 1083-1087, Jun. 2009

[6] R. He, H. Rutagemwa, X. Shen, “Differentiated Reliable Routing in Hybrid Vehicular Ad-Hoc Networks,” *IEEE International Conference on Communications*, May. 2008. (ICC '08)

[7] M. Koubek, S. Rea, D. Pesch, “Reliable Broadcasting for Active Safety Applications in Vehicular Highway Networks,” *Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring)*, 2010 IEEE 71st, May. 2010

[8] F.J. Ros, P.M. Ruiz, I. Stojmenovic, “Reliable and Efficient Broadcasting in Vehicular Ad Hoc Networks,” *Vehicular Technology Conference (VTC 2009-Spring)*, 2009 IEEE 69th, May. 2009

[9] L. Yang, J. Guo, Y. Wu, “Piggyback Cooperative Repetition for Reliable Broadcasting of Safety Messages in VANETs,” *Consumer Communications and Networking Conference*, 2009. CCNC 2009. 6th IEEE, Jan. 2009

[10] H. Fuessler, J. Widmer, M. Käsemann, M. Mauve, H. Hartenstein, “Contention-based forwarding for Mobile Ad-Hoc Networks,” *Ad Hoc Networks* 1(2003): 351-369

[11] I. Stojmenovic, M. Seddigh, J. Zunic, “Dominating sets and neighbor elimination based broadcasting algorithms in wireless networks,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 14-25, Jan. 2002; *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 15, no. 11, pp. 1054-1055, Nov. 2004.

[12] H. Jiang, H. Guo, L. Chen, “Reliable and efficient alarm message routing in VANET,” in *Proc. Int. Conf. Dist. Comput. Systems Workshops (ICDCSW)*, pp. 186-191, Jun. 2008.

[13] Y. Sung, S. Jo, M. Lee, “Reliable Contention-Based Forwarding Approach,” *J. KICS*, vol 37B, no. 8, pp. 695~705. Aug. 2012.

[14] Theodore S.Rappaport. *Wireless communications: Principles and Practice*, 2nd Ed., Prentice Hall, 2004

[15] *IEEE P802.11p/D2.01, Draft Amendment for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)*, Mar. 2007.

[16] *IEEE Std. 802.11-2007, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*, Jun. 2007.

성 윤 영 (Yoon-young Sung)



2007년 2월 이화여자대학교 컴퓨터학과 졸업 (학사)
2009년 8월 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사
2009년 9월~현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> VANETs, 무선 이동 네트워크, etc.

이 미 정 (Mee-jeong Lee)



1987년 이화여자대학교 전자계산학과 졸업(학사)
1989년 University of North Carolina at Chapel Hill 컴퓨터학과 석사
1994년 North Carolina State University 컴퓨터공학과 박사

1994년~현재 이화여자대학교 공과대학 컴퓨터공학과 교수
<관심분야> 프로토콜 설계 및 성능분석, 멀티미디어 전송을 위한 트래픽 제어, 인터넷 QoS, 트래픽 엔지니어링, 무선 이동 네트워크, VANETs, CCN, etc.