

Contention-Based Forwarding의 신뢰성 향상 방안

성 윤 영*, 조 선 미*, 이 미 정°

Reliable Contention-Based Forwarding Approach

Yoon-young Sung*, Sun-mi Jo*, Mee-jeong Lee°

요 약

무선 단말과 자동차 산업의 발전으로 도로 위의 차량들이 데이터 전달의 주체가 되는 차량 애드 hoc 네트워크 (Vehicular Ad hoc Networks, VANET)에 대한 연구가 활발하다. 차량에 의해 전달되는 데이터는 승객/운전자의 안전 및 교통 혼잡에 영향을 주는 긴급한 정보를 포함하고 있으므로 빠르고 신뢰성 있게 전달되어야 하고, 이를 위한 라우팅 프로토콜은 VANET의 성능에 큰 영향을 미친다. 이에 본 논문에서는 데이터 전달에 참여하는 차량의 이동 방향이 성능이 미치는 영향을 살펴보고, 이를 기반으로 신호등이 있는 도로에서 빠르고 신뢰성 있게 메시지를 전파하기 위해 CBF(Contention-Based Forwarding)를 확장하는 방안을 제안한다. 제안하는 방안은 신호등이 있는 도로에서 메시지 전파의 신뢰성을 높이면서도 전달 차량 간의 위치 관계 변화에 의한 라우팅 루프와 메시지 전달이 중단되는 등의 문제를 발생시키지 않는다. 또한 시뮬레이션을 통하여 제안하는 방안을 적용한 CBF(R-CBF)와 기존 연구 중 메시지 전달의 신뢰성을 향상시키되 메시지 전파 방향과 반대로 이동하는 차량을 전달 차량으로 선택하는 G-SRMB의 성능을 비교하여 R-CBF가 G-SRMB에 비해 메시지 전파 지연 시간을 최대 38% 감소시키고, 불필요한 재전송 없이 동작함을 확인하였다.

Key Words : Contention-Based Forwarding, 신뢰성(Reliability), 전달 차량의 이동 방향(movement direction of forwarding vehicles), 신호등(traffic lights), 차량 애드 hoc 네트워크(vehicular ad hoc networks)

ABSTRACT

Due to recent advances in wireless devices and the automotive industry, Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) have emerged as a very promising technology for transferring data collected on the road by moving cars. The delivered data may contain emergency information which affects the safety of passengers and drivers as well as the traffic congestion, and the routing protocols have thus a significant impact on the performance of VANETs. In this paper, we study the impact of movement direction of the participating cars which forward data packets on the performance of data delivery and present a new approach which extends the contention-based forwarding (CBF). The proposed reliable CBF (R-CBF) increases the reliability of data deliver on the traffic lights installed roads and reduces the overall propagation delay without routing loops or interruption of data forwarding that may be caused by changes of relative positions of involving cars in routing. Simulation demonstrates that the R-CBF diminishes propagation delay by 38% in comparison to G-SRMB which forwards data to moving cars in the backward direction and eliminates unnecessary retransmissions.

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

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

° 교신저자 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과, lmj@ewha.ac.kr, 종신회원

* 이화여자대학교 컴퓨터공학과 커뮤니케이션네트워크 연구실, sunmi.jo@ewhain.net, 정희원

논문번호 : KICS2012-07-301, 접수일자 : 2012년 7월 3일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 31일

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]. 차량끼리의 통신을 통해 브로드캐스트 메시지를 목적지까지 빠르고 신뢰성 있게 전달하기 위해서는 차량의 속도, 이동 방향 등의 속성을 고려하여 다음 전달 차량을 선택해야 한다^[2]. n 번째와 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 속도와 이동 방향에 따라 라우팅 루프나 메시지 전달 실패 등의 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 기존 연구^[2,5,7,8]에서는 802.11 DCF 방법을 이용해 MAC 계층에서 통신을 하므로 각 차량은 이웃 차량들의 위치 파악을 위해 별도의 비콘 메시지에 자신의 위치 정보를 포함시켜 차량들과 주기적으로 교환한다. 이러한 정보를 기반으로 다음 전달 차량을 결정하는 Sender-oriented 기법으로 다음 전달 차량을 선택하는 경우, n 번째 전달 차량이 마지막으로 비콘을 수신한 시점과 $(n+1)$ 번째 차량이 메시지를 수신하는 시점 간의 시간 간격이 비콘 주기에 따라 수 초) 가 될 수 있기 때문에 이 시간 동안 n 번째와 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 선 후 관계나 간격 등이 변할 수 있다. 메시지 전송 방향에 대한 두 차량의 상대적 선 후 관계가 변하는 경우 라우팅 루프를 발생시킬 수 있고, 두 차량 간의 위치가 상대적으로 멀어지는 경우 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 n 번째 전달 차량의 전송 범위에서 벗어나 메시지를 수신하지 못하게 될 수 있다.

반면 메시지를 수신한 측에서 다음 전달 차량을 결정하는 receiver-oriented 기법에서는 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 추가적으로 커버할 수 있는 지역의 범위를 고려하여 커버할 수 있는 지역이 미리 설정한 한계 값보다 큰 수신 차량만 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 후보가 되고 수 밀리초의 무작위 대기 시간(Random Assessment Delay, RAD)을 설정하여 대기 시간이 가장 빨리 만료되는 차량이 메시지를 브로드캐스트한다. Receiver-oriented 기법은 대기 시간이 짧을 뿐 아니라 일반적으로 전달 차량을 결정하는 시점에서의 실시간 위치 정보를 바탕으로 n 번째 전달 차량으로부터 전송범위 내에서 가장 멀리 떨어진 차량이 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 후보가 되므로 n 번째와 $(n+1)$

번째 전달 차량의 선 후 위치 관계가 바뀔 가능성이 매우 낮아 라우팅 루프 염려가 거의 없다고 본다. 또한, n 번째 전달 차량으로부터 메시지를 수신한 차량이 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 후보가 되므로 두 전달 차량 간의 위치가 상대적으로 멀어지더라도 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 n 번째 전달 차량의 전송 범위 밖에 있게 되는 상황도 발생하지 않을 것으로 예측된다.

이에 본 논문에서는 receiver-oriented 기법 중 하나인 CBF(Contention-Based Forwarding)^[3]를 기반으로 전달 차량의 이동 방향이 성능에 미치는 영향을 살펴보고, 이를 기반으로 신호등이 있는 도로 환경에서 빠르고 신뢰성 높게 메시지를 전파하기 위해 CBF를 확장하는 방안을 제안하였다. CBF는 차량의 지리적 위치를 이용하여 전송의 신뢰성과 지연과의 상관관계를 고려하여 설계된 전달 방식으로 브로드캐스트 메시지를 수신한 차량은 송신 차량과의 거리에 반비례하게 브로드캐스트를 위한 대기 시간을 설정하고, 대기 시간이 만료되면 메시지를 전송한다. 송신 차량의 전송 범위 내에서 가장 먼 거리에 위치한 수신 차량의 대기 시간이 가장 짧게 설정되기 때문에 가장 멀리 떨어진 차량이 다음 전달 차량이 되고, 대기 시간이 만료되기 전에 메시지를 중복으로 수신하면 이미 다른 차량이 전달 차량이 되어 메시지를 브로드캐스트했다고 판단하여 자신의 브로드캐스트를 중지한다. CBF는 이러한 제한된 브로드캐스트의 반복을 통해 신속하고 효율적으로 대상 지역 내의 전체 네트워크로 메시지를 전파 시킨다. 브로드캐스트의 책임은 각 전달 차량에게 있으나 전송 범위내의 모든 이웃 차량이 메시지를 수신했는지 혹은 다음 전달 차량이 브로드캐스트를 정상적으로 수행하는지에 대해서는 전달 차량이 확인을 하지 않고 CBF도 메시지 수신확인을 위한 메커니즘을 특별히 포함하지 않으므로 기존 CBF만으로는 신뢰성 있는 전송이 이루어지지 않는다.

제안하는 방안은 다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지(Acknowledgement)로 여기는 방법을 CBF에 적합하게 적용하는 것으로 신뢰성 향상을 위해 추가적인 비콘 사용이나 명시적인 수신 확인 메시지 교환을 필요로 하지 않으므로 차량 밀도가 높아 메시지 충돌 가능성이 높은 도시 환경에도 적합하고, 차량의 이동 방향을 고려하여 전달 차량을 선택하므로 불필요한 재전송을 발생시키지 않는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 기존 연구에서 전달 차량 선택 시 차량의 이동 방향을 고려하는 방식을 살펴보고 이러한

1) 기존 연구에서 사용된 비콘 주기는 [0.5, 2.25] 이다

방식들이 CBF에서 어떤 의미를 가지며 영향을 미치는지 분석한다. 이를 바탕으로 3장에서는 신호등이 있는 도로 환경에서 CBF의 신뢰성 향상을 위한 방안을 설명하고 4장에서 시뮬레이션을 통해 제안하는 방안의 성능 평가 및 분석을 한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구: 전달 차량 선택 시 차량의 이동 방향이 성능에 미치는 영향에 관한 분석

본 장에서는 기존 연구에서의 전달 차량 선택 방식을 살펴보고 이러한 방식들이 CBF에서 어떤 의미를 가지는지 분석하고자 한다. 기존 연구는 전달 차량 선택 방식에 따라 1) 동일한 방향으로 이동하는 차량을 전달 차량으로 선택하는 경우와 2) 방향에 관계없이 전달 차량을 선택하는 경우로 분류할 수 있다.

2.1. 동일한 방향으로 이동하는 차량을 전달 차량으로 선택

동일한 방향으로 이동하는 차량을 전달 차량으로 선택하는 방식은 다시 메시지 전파 방향으로 이동하는 차량들만을 전달 차량으로 선택하는 경우와 메시지 전파 방향과 반대 방향으로 이동하는 차량들만을 전달 차량으로 선택하는 경우로 구분할 수 있다.

Position Based Multi-hop broadcast Protocol (PBMP)^[4]은 차량 간 통신을 통해 긴급 메시지를 전파하기 위한 방안으로 메시지의 신속한 전파를 위해 메시지 전파 방향으로 이동하는 차량들만을 전달 차량으로 선택한다. [5]는 도로에서 주행하고 있는 차량의 정보를 이웃 차량에게 전달 할 때 차량의 이동 방향에 따라 메시지 전파 방향으로 이동하는 차량이 통신에 참여하는 모델, 메시지 전파 방향과 반대로 이동하는 차량이 통신에 참여하는 모델, 이동 방향에 관계없이 모든 차량이 통신에 참여하는 모델 등을 보인다. 실험을 통해 각 데이터 전파 모델의 성능을 비교하였고 메시지 전파 방향으로 이동 하는 차량만을 전달 차량으로 선택할 때 전파 지연 시간이 가장 짧음을 보였다. 그런데 신속한 메시지 전파를 목적으로 한 이러한 전달 차량 선택이 CBF에 미칠 수 있는 영향을 살펴보면 CBF는 브로드캐스트까지의 대기 시간 단위가 수 밀리초에 불과하기 때문에 메시지가 전달되어야 하는 방향과 반대 방향의 차량이 다음 전달 차량으로 선택하더라도 대기 시간 동안 이동한 거리가 매우 짧아 전체 전파 지연에 큰 영향

을 미치지 않음을 알 수 있다. 즉, CBF는 현재 전달 차량으로부터 먼 거리에 위치할 수록 브로드캐스트 대기 시간이 짧고 대기 시간 동안 차량이 이동할 수 있는 거리가 매우 짧기 때문에 메시지 전파 방향으로 이동 하는 차량만을 전달 차량으로 선택하는 것보다 방향에 관계없이 가장 먼 거리에 위치한 차량을 전달 차량으로 선택하는 것이 메시지 전달할 때 메시지 전파 지연 관점에서 더 유리할 수 있다.

Geobroadcasting Slotted Restricted Mobility-Based broadcasting protocol (G-SRMB)^[6]은 이벤트가 발생한 지역으로 진입하는 차량, 즉, 이벤트에 관련되어 메시지를 수신해야 하는 차량만을 전달 차량 대상으로 하기 위해 메시지 전파와 반대 방향으로 이동하는 차량들만을 전달 차량으로 선택한다. 이 방식은 이벤트에 관련된 차량들만 브로드캐스트에 참여한다는 장점이 있으나 메시지 전파 지연 관점에서는 성능이 떨어진다. 종합적으로 볼 때 CBF와 같이 브로드캐스트 메시지를 수신한 측에서 다음 전달 차량을 선택하는 방식에서는 메시지 전파 방향으로 이동하는 차량만을 전달 차량 대상으로 하는 것이 큰 의미가 없거나 메시지 전파 방향의 반대로 이동하는 차량들만을 전달 차량으로 선택하는 것은 메시지 전파 속도를 지연시키는 요인이 되므로 이동 방향에 관계없이 다음 전달 차량을 선택하는 것이 더 유리하다고 예측된다.

2.2. 방향에 관계없이 전달 차량 선택

차량의 이동 방향에 관계없이 다음 전달 차량을 선택하는 경우 n 번째와 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 이동 방향 및 속도 차에 따라 n 번째 전달 차량이 메시지를 브로드캐스트한 후 이를 수신한 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 브로드캐스트 하는 동안 두 전달 차량의 선 후 위치 관계나 간격이 변화할 수 있고 이로 인해 라우팅 루프나 메시지 전달 실패 등의 문제가 발생할 수 있다. 라우팅 루프는 메시지가 전송되는 방향에 대한 두 전달 차량의 상대적 선 후 위치 관계가 바뀔 때 발생할 수 있는 문제로 그림 1에서는 n 번째 전달 차량이 $(n+1)$ 번째 전달 차량을 결정할 시점과 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 실제로 브로드캐스트 메시지를 받을 시점에서의 두 차량 간 위치 관계가 변하여 라우팅 루프가 발생하는 예를 보인 것이다. 그림 1(a)는 n 번째와 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 같은 방향으로 이동 할 때, n 번째 전달 차량이 가속하거나 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 감속하여 위치관계가 변하는 경우, 그림 1(b)는 n 번째 전달 차량이 메시지가 전달

되어야 하는 방향으로 이동하는 반면 $(n+1)$ 번째 전달 차량은 그 반대 방향으로 이동하여 메시지 전달 방향에 대한 두 차량의 위치 관계가 뒤바뀌는 경우이다.

이러한 라우팅 루프 문제를 해결하기 위해 Predictive Directional Greedy Routing (PDGR)^[2]은 2-홉 이웃의 정보를 수집하여 라우팅 루프를 발생시키지 않는 차량을 선택하는 방안을 제안하였고, Vehicle-Assisted Data Delivery (VADD)^[7]는 이전 전달 차량의 정보를 기록함으로써 라우팅 루프를 피할 수 있도록 하는 방안을 제안하였다.

그런데 이러한 라우팅 루프 문제를 CBF 동작 방식에 비추어 고찰해 보면 CBF는 메시지를 수신한 시점에서의 실시간 위치 정보를 기반으로 현재 전달 차량과의 거리에 반비례하게 대기 시간을 설정하고,

대기 시간이 가장 먼저 만료되는 차량이 다음 전달 차량이 되어 메시지를 브로드캐스트하므로 라우팅 루프 문제가 발생할 가능성이 매우 희박함을 알 수 있다. 즉, n 번째 전달 차량으로부터 가장 멀리 떨어진 차량인 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 브로드캐스트 대기 시간이 수 밀리초이므로 이 대기 시간 동안 n 번째와 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 위치관계가 바뀔 가능성이 매우 희박하다. 그림 2는 CBF 방법으로 $(n+1)$ 번째 전달 차량을 선택할 때 두 전달 차량 간의 위치 관계를 보인 것이다. 그림에서 n 번째 전달 차량과 전달 차량 후보는 서로 마주보는 방향으로 이동하고 있고, D_n 은 n 번째 전달 차량이 메시지를 보낸 후 이를 수신한 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 브로드캐스트하여 n 번째 전달 차량이 중복 수신할 때까지 이동한 거리, $D_{(n+1)}$ 은 n 번째 전달 차량으로부터 메시지를 수

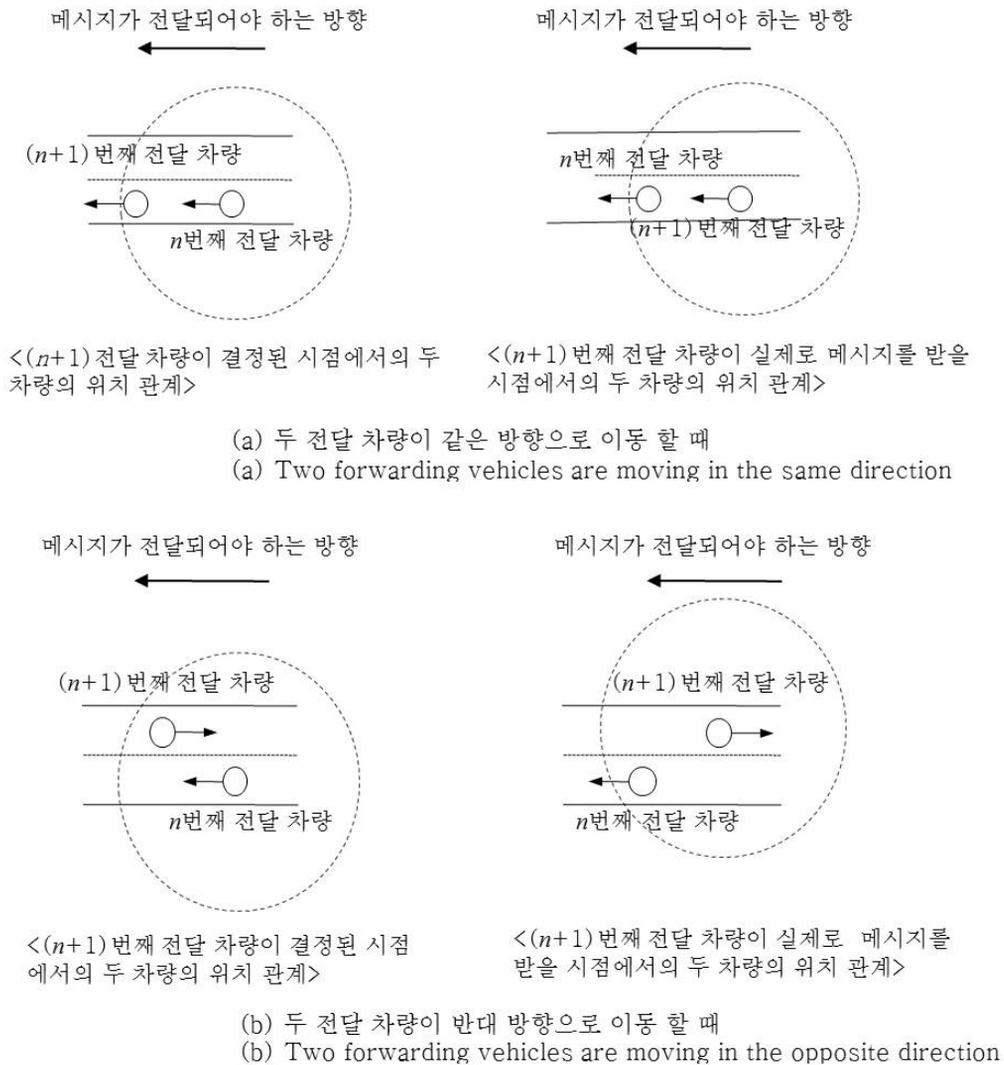
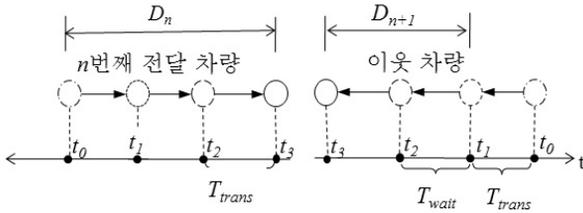


그림 1. 라우팅 루프 문제
Fig. 1. Routing loop

신 한 후 대기 시간 후에 메시지를 브로드캐스트하여 이 메시지를 n 번째 전달 차량이 받을 때까지 ($n+1$)번째 전달 차량이 이동한 거리이다. 두 전달 차량의 선후 위치 관계가 바뀌려면 n 번째 전달 차량이 ($n+1$)번째 전달 차량으로부터 메시지를 중복 수신할 때까지 두 전달 차량이 이동한 거리(D)가 n 번째 전달 차량이 메시지를 브로드캐스트 할 때 두 차량 간의 거리보다 커야 하고, D 는 다음과 같이 계산한다.



t_0 : n 번째 전달 차량이 메시지를 보냄
 t_1 : ($n+1$)번째 전달 차량이 메시지를 받음, $t_1 = t_0 + T_{trans}$
 t_2 : ($n+1$)번째 전달 차량이 메시지를 보냄, $t_2 = t_1 + T_{wait}$
 t_3 : n 번째 전달 차량이 ($n+1$)번째 전달 차량이 보낸 메시지를 다시 받음, $t_3 = t_2 + T_{trans}$
 T_{trans} : 메시지 전송 지연 시간
 T_{wait} : 브로드캐스트를 위한 대기 시간

그림 2. 메시지를 브로드캐스트할 때 n 번째, ($n+1$)번째 전달 차량의 이동거리
 Fig. 2. movement of n^{th} and $(n+1)^{th}$ forwarding vehicles when message is broadcasted

- $D = D_n + D_{(n+1)}$ (1)
 $= (V_n \times T_n) + (V_{(n+1)} \times T_{(n+1)})$
- T_n : n 번째 전달 차량이 메시지를 보낸 후 ($n+1$)번째 전달 차량으로부터 중복으로 수신할 때까지 걸리는 시간으로
 $T_n = t_3 - t_0 = 2T_{trans} + T_{wait}$
- $T_{(n+1)}$: ($n+1$)번째 전달 차량이 n 번째 전달 차량에게서 메시지를 수신 한 후 대기 시간 후에 브로드캐스트하여 이 메시지가 n 번째 전달 차량에게 다시 전달 될 때까지 걸리는 시간으로
 $T_{(n+1)} = t_3 - t_1 = T_{trans} + T_{wait}$
- V_n and $V_{(n+1)}$: n 번째와 ($n+1$)번째 전달 차량의 속도

(1)의 식을 바탕으로 다시 다음과 같이 계산할 수 있다.

- $D \approx V \times (2T_{wait} + 3T_{trans})$
 $< V \times (2T_{maxwait} + 3T_{maxtrans}),$
- V : V_n 과 $V_{(n+1)}$ 의 평균 속도

- $T_{maxwait}$: CBF의 최대 대기 시간
- $T_{maxtrans}$: 메시지의 최대 전파 지연 시간

예를 들어 V 가 60km/h이고 $T_{maxwait}$ 이 100ms, $T_{maxtrans}$ 이 15ms이라면 메시지가 브로드캐스트되는 동안 두 전달 차량이 이동한 거리의 합은 약 4m보다 작다. 따라서 n 번째 전달 차량이 메시지를 보낼 때 n 번째 전달 차량으로부터 약 4m 이내에 위치한 차량이 ($n+1$)번째 전달 차량이 될 때만 라우팅 루프가 발생할 수 있는데, CBF에서는 n 번째 전달 차량으로부터 멀리 떨어질수록 ($n+1$)번째 전달 차량이 되는 우선순위가 높으므로 차량 밀도가 매우 낮아 약 4m 이상 떨어진 곳에 위치한 이웃 차량이 없는 경우를 제외하고는 두 전달 차량의 선후 위치 관계가 바뀔 수 없으므로 라우팅 루프가 발생할 가능성이 매우 희박하다.

그림 3은 ($n+1$)번째 전달 차량이 n 번째 전달 차량의 전송 범위를 벗어나 브로드캐스트 메시지를 수신하지 못하는 상황을 보인다. 그림 3(a)는 n 번째와 ($n+1$)번째 전달 차량이 같은 방향으로 이동할 때, n 번째 전달 차량이 감속하거나 ($n+1$)번째 전달 차량이 가속을 해서 두 차량이 서로의 전송 범위를 벗어나는 경우이고, 그림 3(b)는 n 번째 전달 차량이 메시지가 전달되어야 하는 방향과 반대 방향으로 이동하고 ($n+1$)번째 전달 차량은 그 반대 방향으로 이동할 때 두 차량의 거리가 멀어져 메시지를 수신하지 못하는 경우이다. ($n+1$)번째 전달 차량으로 선택된 차량이 n 번째 전달 차량의 전송 범위에서 벗어나 메시지를 수신하지 못하는 문제를 해결하기 위해 Reliable Broadcast routing scheme based on Mobility Prediction (RB-MP)^[8]은 현재 전달 차량의 이웃 차량 중에서 전달 차량의 전송 범위에 머물 수 있는 시간을 예측하여 머무는 시간이 미리 정의한 임계치 보다 큰 차량 중에서 가장 먼 거리에 위치한 차량을 다음 전달 차량으로 선택한다. 그런데 CBF 동작을 고찰해 본다면 이와 같은 메시지 전달이 실패하는 문제도 발생하지 않음을 알 수 있다. 즉, CBF는 메시지를 수신한 차량 측에서 직접 다음 전달 차량을 결정하기 때문에 메시지를 수신한 차량만 다음 전달 차량의 후보가 될 수 있어 ($n+1$)번째 전달 차량이 n 번째 전달 차량의 전송 범위 밖에 있는 문제는 발생하지 않는다.

종합적으로 볼 때 CBF 방법으로 메시지를 전파하는 경우 차량의 이동 방향이 관계없이 전달 차량을

선택하더라도 CBF는 전달 차량을 결정하는 시점에서의 위치 정보를 바탕으로 현재 전달 차량으로부터 가장 먼 거리에 위치한 차량이 다음 전달 차량이 되므로 두 전달 차량 간 위치 관계가 바뀌지 않아 라우팅 루프가 발생할 확률은 거의 희박하고 메시지를 수신한 차량이 전달 차량의 후보가 되는 receiver-oriented 기법의 특성에 따라 메시지 전달 실패 문제가 발생할 가능성은 전혀 없다.

III. 신호등이 있는 도로 환경에서 CBF의 신뢰성 향상을 위한 방안 (Reliable Contention-Based Forwarding, R-CBF)

2장에서의 CBF 기반 전달 차량 선택 시 차량의 이동 방향이 성능에 미치는 영향에 대한 고찰을 바

탕으로 본 장에서는 신호등이 있는 도로 환경에서 빠르고 신뢰성 높게 메시지를 브로드캐스트할 수 있는 신뢰성 기반 CBF를 제안하고, 이를 위해 전달 차량 선택 시 차량의 이동 방향에 대해 추가적으로 고려해야 할 부분을 살펴본다.

CBF는 주기적인 이웃 정보 교환 오버헤드 없이 메시지 전파가 빠르게 진전될 수 있도록 송/수신 차량의 거리를 고려하여 전달 차량을 선택하고, RAD로 인해 발생하는 지연 문제를 최소화하는 등 매우 효율적인 브로드캐스트 메시지 전파 방법이다. 또한 2장에서 살펴 본 바와 같이 차량의 이동 방향을 특별히 고려하지 않고 전달 차량을 선택해도 라우팅 루프나 전송 실패 등의 문제가 발생하지 않는다.

더 나아가 [9]에서는 CBF의 경우 차량의 이동 방향을 고려하지 않는 것이 메시지가 전파되는데 소

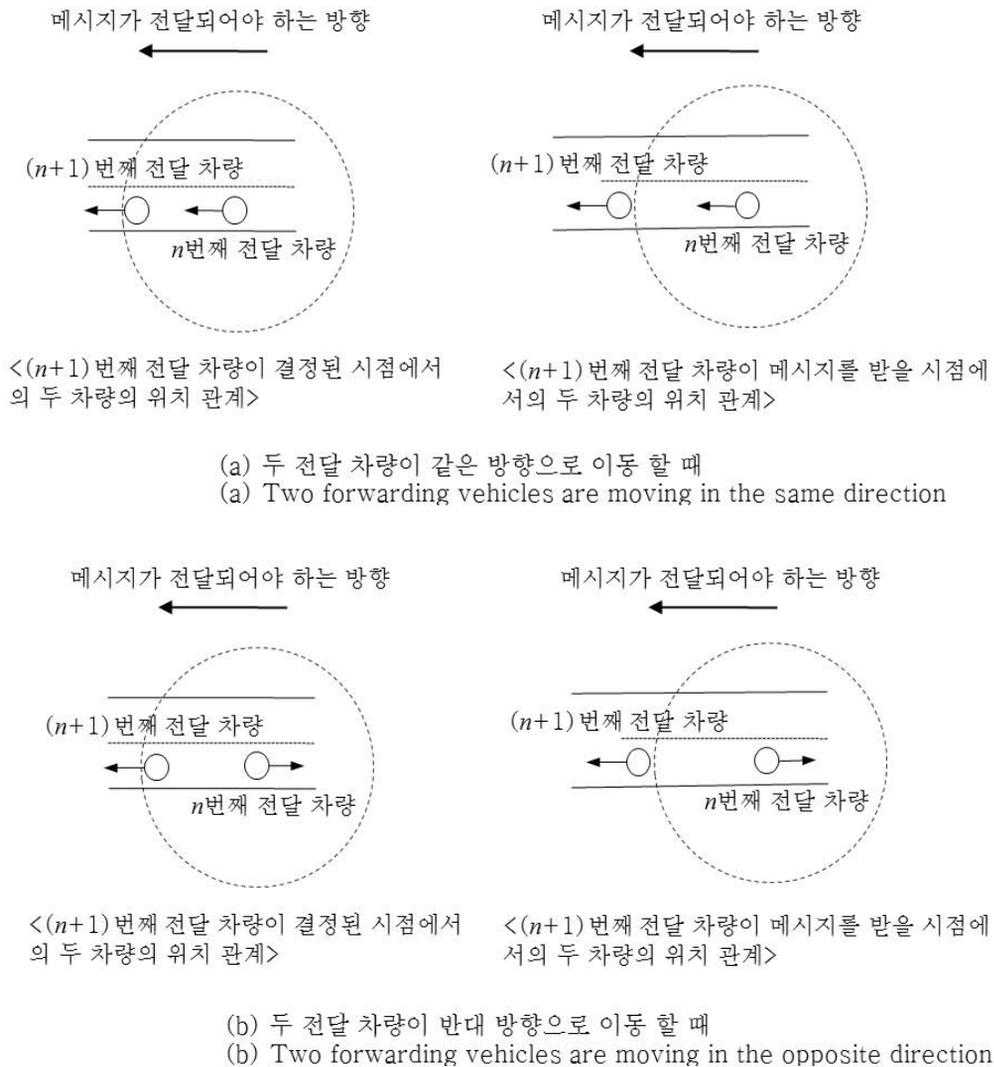


그림 3. 다음 전달 차량이 메시지를 수신하지 못하는 문제
Fig. 3. Next forwarding vehicle cannot receive the message

요된 홉 수와 전파 지연 관점에서 더 유리함을 보였다.

그러나 [9]는 신호등이 없는 직선 도로에서의 차량 분포만을 고려하고 있어, 교차로와 신호등이 빈번하게 나타나는 도시 환경에서 차량의 이동 방향에 관계없이 다음 전달 차량을 선택하는 방식이 메시지 전파에 어떠한 영향을 미치는지 고려되지 않고 있다. 또한 CBF의 기본 메커니즘에는 이웃 차량이 메시지를 수신했는지 확인하는 절차를 포함하지 않고 있어 신호등의 영향으로 차량 분포가 고르지 않은 도로 환경에서 메시지 전달의 신뢰성을 위한 메커니즘이 필요하다. 이에 본 논문에서는 CBF를 기반으로 전달 차량을 결정할 때 신호등이 있는 도로에서도 차량의 이동 방향을 고려하지 않고 전달 차량을 선택하는 것이 메시지 전파에 유리함을 밝히고, 기존 CBF를 보완하여 신호등이 있는 도로에서 메시지 전파의 신뢰성을 향상시키는 방안을 제안한다.

차량 분포가 고른 신호등이 없는 도로와 달리 교차로는 신호등의 영향으로 차량의 분포가 고르지 않다. 그림 4는 교차로에서의 차량 분포를 보인 것으로 도로 R1, R2는 정지 신호, 도로 R3는 주행 신호이다. 또한 일반적인 도로 환경에서 신호등 설치 간격은 최소 300m로 규정한다^[10]. 신호에 따라 각 차선에서의 차량 분포가 다르기 때문에 도로 R2에는 신호등 근처에 차량이 밀집되어 있고 신호등 뒤쪽으로는 차량이 없으며, 도로 R1은 R3의 주행 신호에 따라 R3에서 우회전 해 온 차량들로 인해 차량이 비교적 고르게 분포한다.

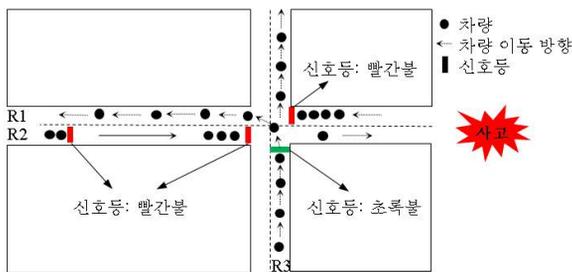
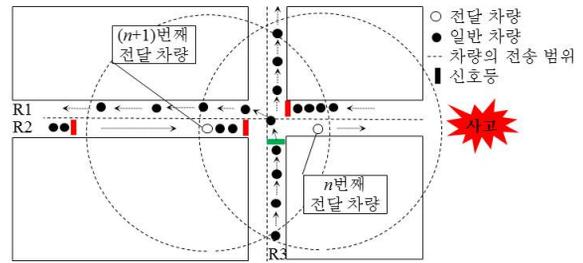
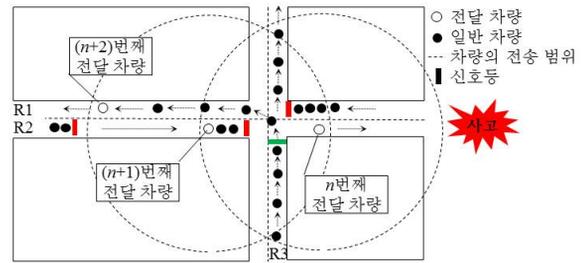


그림 4. 교차로에서의 차량 분포
Fig. 4. Vehicle distribution in the intersection

만약 교차로에서 전달 차량을 선택할 때 G-SRMB와 같이 메시지가 전달되어야 하는 방향과 반대 방향으로 이동하는 차량만을 전달 차량으로 고려한다면 그림 5(a)와 같이 (n+1)번째 전달 차량의 전송 범위 내에 도로 R2에 위치한 이웃 차량이 없어서 (n+2)번째 전달 차량이 선택되지 않을 가능성이 크



(a) 한 방향으로 이동하는 차량만 전달 차량 대상으로 하는 경우



(b) 이동 방향을 고려하지 않고 전달 차량을 선택하는 경우

그림 5. 교차로에서 CBF기반 전달 차량 결정 시 차량의 이동 방향이 성능에 미치는 영향
Fig. 5. Impact of movement direction of forwarding vehicles on the performance of data delivery cross intersection using CBF approach

고, 재전송 스킴을 통해 재전송을 하더라도 이는 메시지 전파 지연과 재전송으로 인한 오버헤드만 발생시킬 뿐이다. 그러나 차량의 이동 방향을 고려하지 않고 전달 차량을 선택한다면 그림 5(b)와 같이 이 경우 차량의 이동방향이 관계없이 (n+1)번째 전달 차량으로부터 가장 멀리 진출한 차량이 (n+2)번째 전달 차량이 되기 때문에 한 방향으로 이동하는 차량만 전달 차량의 대상으로 하는 경우 보다 CBF의 브로드캐스트 대기 시간이 짧게 설정되어 메시지 전파 지연 시간도 짧다. 즉 교차로에서는 차량의 이동 방향에 관계없이 전달 차량을 선택하는 것이 전파 속도 및 성공에 더욱 중요한 요인이 됨을 알 수 있다.

기존의 CBF는 이웃 차량의 메시지 수신 여부를 확인하고 필요한 경우에 재전송을 하는 메커니즘을 포함하지 않으므로 G-SRMB에서 신뢰성 향상을 위해 제안하는 방안을 CBF에 적합하게 적용하여 CBF의 신뢰성 문제를 보완하고자 한다(R-CBF). G-SRMB에서는 (n+1)번째 전달 차량의 브로드캐스트를 n번째 전달 차량이 들었을 때 수신 확인 메시지로 여겨 수신확인을 한다. 따라서 신뢰성을 위해 추가적인 비콘 사용이나 명시적인 수신 확인 메시지 교환을 필요로 하지 않아 차량 밀도가 높아 메시지 충돌 가능성이

높은 도시 도로 환경에 적합한 방안이다. 그러나 메시지가 전달되어야 하는 방향과 반대 방향으로 이동하는 차량만을 전달 차량으로 선택하는 G-SRMB와는 달리 CBF에서는 차량의 이동 방향을 특별히 고려하지 않고 전달 차량을 선택하므로 만약 n 번째와 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 반대 방향으로 이동하고 두 차량이 서로 멀어지는 위치에 있다면 n 번째 전달 차량이 메시지를 보낼 때는 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 n 번째 전달 차량의 전송 범위 내에 있어 메시지를 수신하지만 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 브로드캐스트 하는 시점에서는 n 번째 전달 차량의 전송 범위를 벗어나는 경우가 발생할 수 있다. 즉, CBF 자체는 2장에서 살펴본 바와 같이 전달 차량의 이동 방향을 고려하지 않아도 전송실패가 발생하지 않으나, CBF에서 다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지로 활용하는 경우에는 불필요한 재전송이 발생할 수 있게 된다.

이에 본 논문에서는 CBF에서 차량의 이동 방향에 관계없이 다음 전달 차량이 결정되도록 하면서 다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지로 활용하는 경우, n 번째 전달 차량이 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 브로드캐스트를 듣지 못해 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 수신하지 못했다고 여겨 불필요한 재전송을 발생시키는 문제를 보완하기 위한 방안을 제안한다. 제안 방안은 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 브로드캐스트한 메시지를 n 번째 전달 차량이 수신하는 시점에서 두 전달 차량 간의 거리를 예측하여 n 번째 전달 차량이 수신 확인 메시지를 받은 시점에서 n 번째 전달 차량과 통신이 가능한 차량만 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 대상이 되는 것이다. 이를 위해 브로드캐스트 메시지에 현재 전달 차량의 속도 벡터 정보 필드가 추가되어야 한다. n 번째 전달 차량과 $(n+1)$ 번째 전달 차량 후보가 각각 동, 서쪽으로 서로 멀어지는 방향으로 이동한다고 가정했을 때 브로드캐스트 메시지를 수신한 차량은 메시지에 삽입된 정보를 바탕으로 자신이 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 되어 메시지를 브로드캐스트하고 이 메시지를 n 번째 전달 차량이 수신할 시점에서 두 차량 간의 거리(D')를 다음과 같이 계산한다.

$$D' = \sqrt{(X'_n - X'_{(n+1)})^2 + (Y'_n - Y'_{(n+1)})^2}$$

- (X'_n, Y'_n)
 $= (X_n - V_n \times (2T_{trans} + T_{wait}), Y_n)$
 : n 번째 전달 차량이 $(n+1)$ 번째 전달 차량으로

부터 메시지를 수신할 때의 위치로 (X_n, Y_n) 과 V_n 은 브로드캐스트 메시지에 포함된 n 번째 전달 차량의 위치와 속도이고 T_{trans} 와 T_{wait} 는 각각 메시지 전파 지연 시간과 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 브로드캐스트하기 위한 대기 시간이다.

- $(X'_{(n+1)}, Y'_{(n+1)})$
 $= (X_{(n+1)} + V_{(n+1)} \times T_{wait}, Y_{(n+1)})$
 : $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 보낼 때의 위치로 $(X_{(n+1)}, Y_{(n+1)})$ 과 V_n 은 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 n 번째 전달 차량으로부터 메시지를 수신했을 때의 위치와 속도이고, T_{wait} 은 브로드캐스트 대기 시간이다.

위와 같은 계산을 통해 D' 가 차량의 전송 범위보다 작은 경우에만 전달 차량의 후보가 되어 메시지 브로드캐스트를 위한 대기 시간을 설정한다. 이를 통해 실제로는 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 수신했음에도 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 브로드캐스트를 n 번째 전달 차량이 듣지 못해 발생할 수 있는 불필요한 재전송을 방지할 수 있다.

IV. 성능 평가 및 분석

본 논문에서 제안하는 R-CBF와 G-SRMB의 성능을 비교하기 위해 OPNET을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 10,000m x 20m의 직선 도로의 가장 오른쪽에서 30초 간격으로 10개의 브로드캐스트 메시지를 발생시키고 메시지가 전달되어야 하는 방향은 도로의 동쪽에서 서쪽이라고 가정한다. 또한 신호등이 정지 신호일 일 때 신호등 앞에 차량이 밀집되는 특성을 반영하여 차량의 분포에 따른 성능을 비교하기 위해 신호등이 있는 도로와 신호등이 없는 도로에서 각각 실험을 진행하였다. 각 도로는 양방향 1차 직선 도로이고 신호등은 400m 간격으로 위치한다. 신호등이 없는 도로에서는 차량이 계속 주행을 하여 도로의 끝에 도달하면 반대 차선으로 유턴하여 반대 방향으로 주행하고, 신호등이 있는 도로에서는 신호등의 초록 불과 빨간 불이 30초씩 교대로 켜져 신호에 따라 차량들이 주행과 정지를 반복한다. 메시지 전파 지연 관점에서 성능을 평가하기 위해 전체 차량에게 메시지가 전파되는 데 걸리는 평균 시간을 측정하였고, 전파의 효율성을 평가하기 위해 10개의

메시지가 전체 네트워크에 전달되는 동안 발생한 불필요한 재전송 횟수를 측정하였다. 실험을 위한 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 차량의 전송 범위는 반경 250m이고, 차량의 이동속도는 15~18m/s, 메시지 브로드캐스트를 위한 CBF의 최대 대기 시간은 100ms로 설정하였다. 또한 차량 밀도가 성능에 미치는 영향을 평가하기 위해 차량의 초기 배치 간격을 70, 60, 50, 40, 30, 20m 로 변경하여 각 경우, 실험을 구성하는 전체 차량 수는 286, 334, 400, 499, 667, 998대가 된다.

다음은 신호등이 없는 도로에서 여섯 가지의 서로 다른 차량 밀도 별로 제안하는 R-CBF의 성능을 평가한 것으로 그림 6은 R-CBF와 G-SRMB 방법으로 메시지를 전달 할 때 전체 네트워크에 메시지가 전파되는 평균 시간을 측정한 것으로 두 방안 모두 차량 밀도가 클수록 메시지 전파 지연 시간이 짧고, 차량 밀도와 관계없이 모든 경우에서 R-CBF의 전파 지연 시간이 G-SRMB보다 짧음을 보인다. 차량 밀도가 클수록 현재 전달 차량의 전송 범위 내에 많은 차량이 포함되어 한 번의 브로드캐스트로 많은 차량이 메시지를 수신 할 수 있고, 메시지 전파 방향으로 많이 진출한 차량이 다음 전달 차량이 될 가능성이

크기 때문이다. 또한 2장에서 언급했듯이 G-SRMB에서는 메시지 전파 방향과 반대로 이동하는 차량, 즉 동일한 방향으로 이동하는 차량만 전달 차량이 될 수 있기 때문에 메시지 전파 방향으로 가장 많이 진출한 차량이 반대 차선에 있다라도 그 차량은 브로드캐스트에 참여할 수 없는 반면에 R-CBF는 차량의 이동 방향과 관계없이 현재 전달 차량으로부터 가장 먼 거리에 위치한 차량이 브로드캐스트를 하므로 모든 경우에서 G-SRMB보다 빠른 전파가 가능하다.

그림 7은 G-SRMB의 ‘다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지’로 여기는 방안’을 적용한 CBF(CBF-Acknowledgement)와 제안하는 R-CBF를 이용해 메시지를 전달 할 때 10개의 메시지가 전체 네트워크에 전달되는 동안 발생한 불필요한 재전송 횟수를 보인 것으로 10개의 메시지가 전파되는 동안 제안하는 R-CBF는 불필요한 재전송이 발생하지 않은 반면 G-SRMB의 신뢰성 향상 방안을 그대로 적용한 CBF-Acknowledgement는 차량 밀도가 클수록 불필요한 재전송이 많이 발생함을 볼 수 있다. 이를 통해 제안 방안을 적용한 R-CBF가 불필요한 재전송

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

시뮬레이션 파라미터		값
도로 길이		10,000m x 20m
신호등 간격		400m
브로드캐스트 메시지 개수		10개
전송 범위		250m
차량 속도		15 ~ 18m/s
최대 대기 시간		100ms
차량 밀도	차량 배치 간격	70, 60, 50, 40, 30, 20m
	차량 수	286, 334, 400, 499, 667, 998대
브로드캐스트 메시지 크기		100bytes
MAC 계층 프로토콜		802.11 DCF
채널 대역폭		10MHz

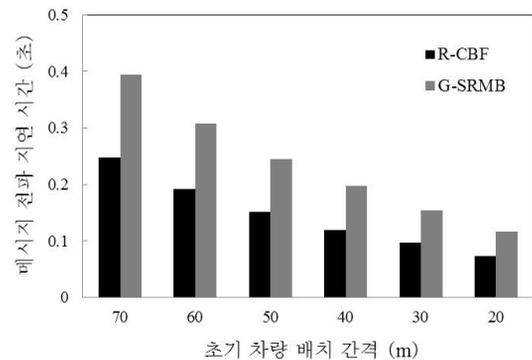


그림 6. 신호등이 없는 도로에서 전체 네트워크에 메시지가 전파되는 평균 시간

Fig. 6. Average propagation delay of the messages on the traffic light uninstalled roads

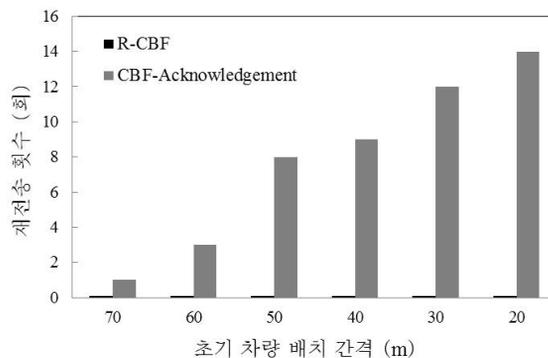


그림 7. 불필요한 재전송 발생 횟수

Fig. 7. The number of unnecessary retransmissions

을 하지 않아 무선 자원을 보다 효율적으로 사용을 확인할 수 있었다. CBF-Acknowledgement의 경우 차량 밀도가 클수록 불필요한 재전송 횟수도 증가하는데, 차량 밀도가 클수록 전달 차량의 전송 범위에 많은 차량이 포함되어 이들 중 현재 전달 차량으로부터 가장 멀리 진출한 차량이 전달 차량으로부터 멀어지는 방향으로 이동하는 차량일 가능성이 커지기 때문이다. 그래서 $(n+1)$ 번째 전달 차량의 브로드캐스트를 n 번째 전달 차량이 받을 시점에서 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 n 번째 전달 차량의 전송 범위를 벗어날 가능성이 커지므로 밀도가 클수록 불필요한 재전송이 많이 발생하는 것이다.

다음은 신호등이 있는 도로에서 여섯 가지의 서로 다른 차량 밀도 별로 제안하는 R-CBF와 G-SRMB의 성능을 비교하였다. 그림 8은 전체 네트워크에 메시지가 전파되는 데 걸리는 평균 시간, 그림 9는 10개의 메시지가 전체 네트워크에 전달되는 동안 발생한 불필요한 재전송 횟수를 보인 것으로 두 방안 모두 차량 밀도가 클수록 전파 지연 시간이 짧고, 차량 밀도와 관계없이 모든 경우에서 R-CBF의 전파 지연 시간이 G-SRMB보다 짧다. 특히 신호등이 있는 도로에서의 R-CBF는 G-SRMB에 비해 메시지 전파 지연 시간을 최대 38% 감소시킨다. 또한 R-CBF는 불필요한 재전송이 발생하지 않는 반면 G-SRMB는 차량 밀도가 클수록 불필요한 재전송이 많이 발생하는데 이유는 신호등이 없는 도로에서의 실험과 같은 이유이고, 재전송 횟수가 신호등이 없는 도로에서보다 더 많은 것은 그림 5에서 언급한 것과 같이 신호등으로 인해 차량의 분포가 고르지 않기 때문이다.

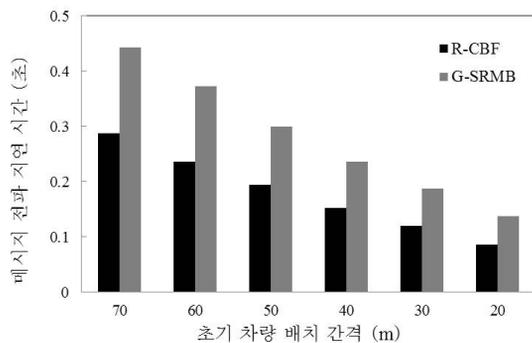


그림 8. 신호등이 있는 도로에서 전체 네트워크에 메시지가 전파되는 평균 시간
 Fig. 8. Average propagation delay of the messages on the traffic lights installed roads

V. 결 론

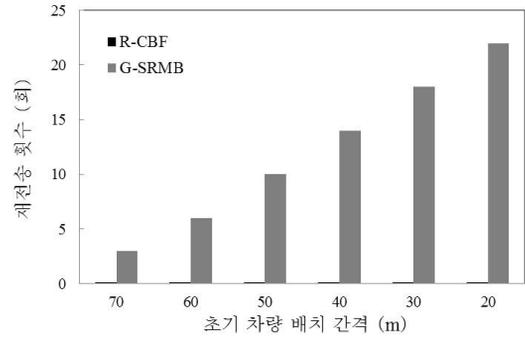


그림 9. 불필요한 재전송 발생 횟수
 Fig. 9. The number of unnecessary retransmissions

본 논문에서는 신호등이 있는 도로에서 CBF기반으로 다음 전달 차량을 선택할 때 차량의 이동 방향이 성능에 미치는 영향을 살펴보고, 이를 기반으로 CBF의 전파속도 및 신뢰성을 향상시키기 위한 방안을 제안하였다. 제안하는 방안에서는 G-SRMB와 같이 다음 전달 차량의 브로드캐스트를 수신 확인 메시지로 여기는 방법을 적용하되 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 보냈음에도 이를 듣지 못한 n 번째 전달 차량의 불필요한 재전송을 피하기 위해 $(n+1)$ 번째 전달 차량이 메시지를 보내고 n 번째 전달 차량이 메시지를 수신할 시점에서 두 차량이 서로의 전송 범위에 포함되는 차량만을 전달 차량의 대상으로 한다. 성능 평가를 위해 차량 밀도를 변화시켜보며 메시지가 전체 네트워크에 전파되는데 걸리는 시간과 10개의 메시지가 전파되는 동안 발생한 불필요한 재전송 횟수를 측정하였다. 실험을 통해 제안하는 R-CBF가 G-SRMB보다 38~35% 정도 전파 지연 시간을 감소시키고, 불필요한 재전송 없이 동작함을 확인하였고, 신호등이 있는 도로 환경에서 제안 방안의 효용이 더욱 큼을 알 수 있었다.

References

- [1] Nekovee M, "Sensor networks on the road: the promises and challenges of vehicular ad hoc networks and vehicular grids," *Proc. Workshop on Ubiquitous Computing and e-Research*, May 2005
- [2] Jiayu Gong, et al., "Predictive Directional Greedy Routing in Vehicular Ad hoc Networks", *27th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops(ICDCSW'07)*
- [3] H. Fuessler, et al., "Contention-based forwarding for Mobile Ad-Hoc Networks," *Ad Hoc Networks 1(2003)*:

351-369

- [4] Yuanguo Bi, et al., "A Directional Broadcast Protocol for Emergency Message Exchange in Inter-Vehicle Communications", *IEEE ICC* 2009
- [5] Tamer Nadeem, et al., "A Comparative Study of Data Dissemination Models for VANETs", *MobiQuitous* 2006
- [6] Martin Koubek, et al., "Reliable Broadcasting for Active Safety Application in Vehicular Highway Networks", *IEEE VTC* 2010
- [7] Jing Zhao, et al., "VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.57, No.3, May, 2008
- [8] Peiyuan Lai, et al., "A Reliable Broadcast Routing Scheme Based on Mobility Prediction for VANET", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium* 2009
- [9] S. Jo, M. Lee, "The effects of the mobile direction on the vehicle performance in forwarding vehicle decision with Contention-based forwarding(CBF)", *Proc. of the 38th KIISE Fall Conference*, vol.38, no.2(D), pp.180-183, 2011. (in Korean)
- [10] 도로교통법 제7조 제1항

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

사

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.

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 이

동 네트워크, etc.

조 선 미 (Sun-mi Jo)



2008년 2월 강남대학교 컴퓨터공학과 졸업 (학사)
 2008년 1월~2010년 1월 TTA 소프트웨어시험연구소 전임연구원
 2012년 2월 이화여자대학교 컴퓨터공학과 석사

<관심분야> VANETs, 무선 이동 네트워크, etc.