

논문 2006-43TC-9-8

교통사고 예방을 위한 차량안전메시지 중계노드 선택방법

(A Relay Node Selection Method of Vehicle Safety Messages for Protecting Traffic Accidents)

유 석 대*, 이 문 근**, 조 기 환**

(Sukdea Yu, Moonkun Lee, and Gihwan Cho)

요 약

미리 설정된 연계성이 없는 차량들 사이에 무선통신을 이용하여 긴급정지, 차량사고, 장애물 출현 등의 차량안전과 관련이 있는 정보를 주고받을 수 있는 지능적 차량안전 시스템을 구성될 수 있다. 대부분의 차량안전 통신 응용 시스템에서 차량안전 메시지는 브로드캐스트의 형태로 전파된다. 이러한 브로드캐스트 형 전파방법은 다중 홉 전송과 패킷 충돌 문제로 그 성능과 효율성 측면에서 많은 문제를 안고 있다. 본 논문에서는 교통사고 예방을 위한 차량안전메시지를 다중 홉 거리까지 효과적으로 전송하기 위해 우선순위 방식의 중계노드 선택방법을 제안하고 있다. 무선 전송환경에 포함된 여러 노드들 중에서 적절한 거리에 위치한 하나의 노드만 중계에 참여하도록 한다. 따라서 중복 패킷의 수를 줄여 패킷 오버헤드를 낮추고 부가적으로 네트워크 성능의 향상도 얻고 있다. 제안된 방법의 성능은 네트워크 시뮬레이션을 통하여 여타의 방법에 비해 우수한 것으로 판명되었다.

Abstract

Using the wireless communication among unacquainted vehicles, an intelligent vehicle safety system can be constructed to exchange vehicle safety-related information, such as urgency stop, traffic accident and road obstacles. In the majority of vehicle safety applications, vehicle safety messages are propagated in the form of broadcast. However, this approach causes some effectiveness and performance problems with massive radio collision, multi-hop propagation. This paper presents a priority based relay node selection method for propagating vehicle safety messages of traffic accident protection system. With this method, vehicle safety messages are relayed by a node that locates in proper distance out of the nodes that are included in the radio transmission range. By decreasing the number of duplicated messages, the packet overhead is lessened while the communication performance is raised. The proposed method was proven to be better than other schemes through network simulations.

Keywords : Relay node selection, Vehicle safety message, Broadcasting, Multihop propagation

I. 서 론

도로 위를 달리고 있는 차량들은 기후, 도로 모양, 노면의 상태, 차량의 결함, 운전자 부주의 등으로 탑승자들의 안전을 위협하고 있다. 특히 운전자의 시각으로

도로 상황을 충분하게 인식할 수 없는 경우 대형 교통사고로 이어질 가망성이 커지게 된다. 자동차 제조사들은 보다 안전한 자동차를 제작하기 위해서 천문학적인 연구비를 투자하여 다양한 위험요소로부터 탑승자의 안전을 고양하려 하고 있다. 충돌대비시스템, 지능에어백, 런플랫타이어, 구겨지는 프레임 등의 차량 사고가 발생할 때 피해를 최소화하려는 시스템과 차량자세안정화시스템, 차량간격자동유지시스템, 사각보상시스템 등의 차량 사고를 최대한 회피하려는 시스템으로 나타나고 있다. 하지만 이러한 시스템들은 피동적인 안전대책일 뿐 교통사고의 발생률 자체를 줄이는 데는 큰 기여가 되지 못하고 있다.

* 정회원, 전북대학교 컴퓨터통계정보학과
(Department of Computer Statistic & Information,
Chonbuk University)

** 정회원, 전북대학교 전자정보공학부 차세대컨버전스
정보서비스기술연구센터
(CACIST, Division of Electronic & Information
Engineering, Chonbuk University)

접수일자: 2006년8월14일, 수정완료일: 2006년9월11일

최근의 지능적 도로와 승객안전 기술을 많이 도입하여 교통사고의 사망자 수가 감소하고 있는 추세이다. 그렇지만 차량의 수가 증가하고 도로가 복잡해짐에 따라 매년 교통사의 수는 크게 줄어들지 않고 있는 실정이다.

미국의 경우 1980년대 이후로 교통사고 건수는 매년 2,000,000건에 육박하고, 2003년을 기준으로 약 43,000명의 사망자와 약 2,889,000명의 부상자가 발생하였다. 미국 내 교통사고에 따른 경제적인 손실은 약 2,300억 달러로써 미국 국민총생산의 2.3%에 해당한다. 유럽의 경우 2003년에 약 43,000명의 사망자와 약 1,912,000명의 부상자가 발생하였다. 일본도 1990년대 이후로는 매년 1,000,000건의 교통사고가 발생하고 있고, 2003년 기준으로 948,000건의 교통사고와 8,877명의 사망자 그리고 1,181,431명의 부상자가 발생하였다^[1].

우리나라의 경우 2004년 약 240,000건의 교통사고가 발생하였고, 6,563명의 사망자와 346,987명의 부상자가 발생하였다. 자동차 1만대 당 교통사고 발생건수는 132.5건으로 다른 OECD 회원국들보다 월등하게 높은 편이다^[2].

응급상황에서 운전자는 전적으로 바로 앞차의 후미 브레이크 등화에 의존하여 자신의 브레이크 조작을 결정한다. 일반적인 운행상황을 가정할 때, 여러 가지 이유로 이 방법은 추돌사고를 피할 수 있는 최선의 방법은 아니다. 운전자가 차량시스템이 직접 감지할 수 있는 영역을 다른 수단을 이용하여 확장하는 것은 차량안전에 많은 도움이 된다. 대부분의 경우 운전자가 상황을 감지하고 반응하는데 필요한 시간은 0.7초에서 1.5초 사이라한다^[3]. 또한 OFCOM^[4]의 조사보고서에 의하면, 운전자에게 실제 사고를 감지하는 시간보다 1초 미리 정보를 제공하면 약 90%의 추돌사고를 방지할 수 있다고 보고하고 있다^[5]. 1차 차량사고가 발생한 이후 후미의 차량들에게 미리 정보가 제공된다면 추가적인 연쇄 추돌 사고는 획기적으로 줄일 수 있을 것이다^[6].

최근의 무선 네트워크 기술의 발달로 고속으로 이동 중인 차량 사이에서도 정보전달이 가능한 통신기술들이 나타나고 있다. 노변에 설치한 기지국을 이용하는 정보 제공 중심의 V2R (Vehicle to Roadside) 기술과 차량 사이에서 정보교환을 목적으로 하는 V2V (Vehicle to Vehicle) 기술로 나누어진다^[7]. V2R은 교통상황 정보제공 서비스, 인터넷 접속 서비스, 엔터테인먼트 서비스 등을 주목적으로 하고 있고, V2V는 차량안전 관련 정보 교환, 차량 플래투닝, 교차로 진입 제어 등의 차량

주변의 상황을 고려한 실시간 서비스에 주목적을 두고 있다^[8].

차량안전을 위한 V2V 통신기술은 대부분 긴급 상황을 가정하고 있기 때문에 다른 서비스들에 비해서 엄격한 요구사항을 제시하고 있다. 이러한 차량 간 통신을 VSC (Vehicle Safety Communication)^[9]이라 한다. 고속으로 이동 중인 차량들 사이에서의 통신이기 때문에 통신모델은 MANET (Mobile Ad-hoc NETwork)^[10]과 유사하지만 기존의 MANET 프로토콜을 적용하여 차량 안전메시지를 전파하는데 많은 어려움이 있다^[9].

VSC는 같은 도로를 달리고 있는 차량들 사이에서 이루어지는 통신이고, 통신에 참여하는 차량들은 미리 설정된 상호 연계성이 없는 상태에서 메시지를 주고받기 때문에 정보전달을 위해서 브로드캐스트를 사용한다^[11]. 순수 브로드캐스팅은 한 홉 거리 전송만을 고려하고 있다. 수 홉 거리에 있는 차량들에게 전달하기 위해서는 다중 홉 전송이 필수적이다. 연속적으로 브로드캐스팅이 일어나면서 전달되는 방식을 플러딩이라 하는데, 이러한 플러딩은 차량 밀도가 높아질수록 무선 대역폭 효율을 심각하게 떨어트리고, 메시지의 잦은 충돌로 전송지연과 전달정보 손실이 빈번하게 발생한다^[11]. 이러한 문제를 해결하기 위해서 기존의 V2V 통신기술에서는 지향성 브로드캐스팅이나 선택적 재전송 방법을 사용하고 있다^{[11]-[13]}.

제안된 논문에서는 교통사고 예방을 위한 차량안전 메시지를 전파하는데 차량의 위치정보를 활용하는 중계노드 선택 방법을 제안하고 있다. 차량안전메시지를 발생시킨 차량이나 그 메시지를 중계하는 차량들은 무선 전송 반경을 고려하며 현재 자신의 위치, 이동방향, 속도를 이용하여 다음 중계노드의 이상적인 위치인 DP (Designated Point)를 선정하고, 이 DP를 메시지에 포함시켜 전송한다. 메시지를 수신한 차량들은 그 위치와 자신의 위치를 비교하고 그 거리에 비례하는 만큼 재전송 지연시간을 가져 자연스럽게 선택의 우선순위를 부여 받는다. 우선순위가 높은 차량이 중계노드로 선택되는 방식을 사용하고 있다. 위치정보를 활용하고 있으면서도 주변 차량과 위치정보를 교환할 필요성이 없기 때문에 프로토콜 오버헤드가 낮고, 우선순위에 의해서 자치적으로 선택되기 때문에 높은 우선순위의 차량이 선택되지 못할 경우 자연스럽게 다음 순위의 차량이 선택되는 백업기능을 포함하고 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안된 방법의 필요성과 관련연구에 대해서 살펴보고 III장에서는

제안된 중계노드 선택방법에 대해서 자세히 살펴본다. IV장에서는 제안된 방법의 성능을 측정하기 위하여 실시한 네트워크 시뮬레이션의 결과를 가지고 성능요소를 비교/분석한다. 본 논문의 결론은 V장에서 다루어진다.

II. 연구 배경 및 관련 연구

1. 선택적 재전송 방법의 필요성

브로드캐스트 서비스는 모든 종류의 네트워크에서 매우 중요한 방법이다. 네트워크 전체를 대상으로 메시지를 보낼 때나 받을 대상이 어디에 위치하는지 알 수 없는 상황에서 브로드캐스트 형태의 메시지 전달 방법이 필요하다. 교통사고와 관련이 되어있는 차량안전메시지도 문제가 발생한 차량을 선두로 불특정 다수의 차량들이 영향을 받는다. 따라서 브로드캐스트 형태의 메시지 전파 방식이 필연적이다.

이전에 미리 설정된 연계성이 없는 차량들 사이에서 VSC를 위해서 사용할 메시지 전파 방법은 브로드캐스트 서비스의 특징을 가지면서 동시에 전송 지연의 최소화, 효율성 증대, 신뢰성 보장 등의 강력한 통신 측면의 요구사항이 필요하다. 플러딩을 이용하여 차량안전메시지를 전달하면 무선 네트워크의 단점이 그대로 반영되어 메시지 충돌이 많이 발생하고, 신뢰도가 떨어지게 되며, 정보전파의 신속성도 해치게 된다. 안전을 최우선으로 해야 되는 VSC에서는 순수 브로드캐스트 서비스를 그대로 사용할 수가 없다. 순수 브로드캐스트로 인해 발생하는 '브로드캐스트 폭풍 문제'를 완화하기 위하여 재전송에 참여할 노드의 수를 제한할 필요성이 있다. 차량안전과 관련이 있는 메시지는 차량의 이동방향에 영향을 받기 때문에 메시지 전달에 있어 방향성을 갖는다. 또한 차량안전메시지는 근원 차량에서 일정거리 안에 포함된 차량들에게만 필요한 정보이기 때문에 전달 범위를 제한할 필요성이 있다.

2. 관련연구

차량안전메시지를 전달하는데 있어 중계노드 선택방법은 메시지를 전송하는 노드에서 다음 중계할 노드를 결정하는 '지정방식'과 메시지를 수신한 노드들 중에서 경합에 의해서 중계노드가 선출되는 '경쟁방식'으로 크게 나누어진다. 지정방식의 선택방법들은 이웃 차량들과 주기적인 정보교환을 통하여 항상 주변상황을 유지하는 proactive 방식의 선출방법이고, 경쟁방식의 선택방법들은 메시지가 브로드캐스트 된 이후의 주변 상황

에 따라 여러 가지 조건에 의해서 변동적으로 선정되는 reactive 방식의 선출방식이다.

차량들 사이에서 정보를 주변에 효과적으로 전파하기 위해서 위치정보를 활용하는 'TRADE (TRAck DEtection) 프로토콜'과 'DDT (Distance Defer Transmission) 프로토콜'을 제시하고 있다^[11].

TRADE 프로토콜^[11]에서는 각 노드가 이웃노들의 위치에 따라 미리 전방그룹, 후방그룹 그리고 나머지 그룹으로 나눈 뒤 전달할 메시지를 각 그룹 중에서 가장 멀리 있는 노드에게 전송하여 재전송의 역할을 부여하는 지정방식의 중계노드 선택방법이다. 고속으로 이동 중인 차량 사이의 위치정보를 활용하기 때문에 이웃과 위치정보 교환에 많은 비용이 요구된다.

DDT 프로토콜^[11]은 메시지를 전송하는 노드가 자신의 위치를 기록하여 전송하고 수신한 차량들이 메시지에 포함된 송신노드의 위치 값과 현재 자신의 위치 사이의 거리에 반비례하는 만큼 대기한 후 재전송을 수행한다. 도로의 모양을 기준으로 무선전송범위의 경계선에 가까운 차량들이 중계를 수행한다. 송신노드와 중계노드들 사이에 포함된 차량들은 불필요한 재전송을 수행하지 않는 방식의 경쟁방식의 중계노드 선택방법이다. 차량의 이동방향을 고려하지 않고 전역적인 전송만 가능하고, 불필요한 중복전송의 요소가 여전히 포함되어 있다.

DSRC (Dedicated Short Range Communications) 표준에 포함되어 있는 지향성 브로드캐스팅 방법인 'NB: Naïve Broadcast 프로토콜'^[14]을 제시하고 있다. 중계노드를 특별하게 지정하지 않는 방식이다. 차량의 이동방향을 고려하며 메시지가 전달되도록 메시지 전달에 있어 방향성만을 고려하고 있다. 다중 홉 전송이 필요한 상황에서 차량 밀집도가 높아지면 브로드캐스트 폭풍현상이 발생한다.

NB 프로토콜의 문제를 해결하기 위해서 'IB: Intelligent Broadcast 프로토콜'^[15]에서는 랜덤선정기법을 사용하고 있다. 메시지를 수신한 노드들은 각자 랜덤시간을 설정하고 그 시간만큼 재전송을 대기한다. 대기시간 동안 다른 노드가 재전송을 수행하면 자신은 재전송을 포기한다. 각자가 생성하는 랜덤시간에 의해서 중계노드가 선택되는 경쟁방식을 사용하고 있다. 차량들이 배치되어 있는 위상을 전혀 고려하고 있지 않기 때문에 효율성이 떨어지고 충분한 거리까지 전달되지 못하는 상황이 발생한다.

III. 중계노드 선택방법

1. 차량안전메시지 전파

차량안전메시지는 도로를 따라 이동하는 차량들 사이에서 이동 방향의 반대방향으로 전달된다. 그림 1은 중계노드를 이용하여 다중 홉까지 차량안전메시지를 전달하는 과정을 보이고 있다.

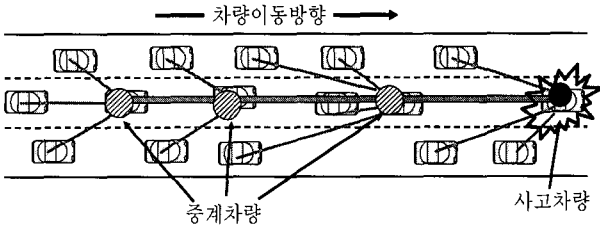


그림 1. 중계노드를 이용한 차량안전메시지 전파
Fig. 1. Vehicle safety message propagation using relay nodes.

메시지를 발생시킨 사고차량은 문제가 발생한 이후 일정기간 동안 주기적으로 사고 상황을 브로드캐스트한다. 송신된 메시지를 수신한 차량들 중 하나의 차량이 중계노드로 선정되어 다음 홉에 전달한다. 이때 사고 차량과 중계노드 사이에 포함된 차량들은 같은 메시지를 중복적으로 수신하게 되어 이미 다른 노드에 의해서 차량안전메시지가 정상적으로 중계되었다는 것을 인지한다. 중계가 성공적으로 이루어지고 나서 다음 홉도 마찬가지로 최초 중계노드와 적당한 거리에 있는 다음세대 중계노드가 선정되고 사이에 포함된 차량들은 다음세대 중계노드의 재전송 과정을 감지하여 정상적으로 중계되었음을 인지한다. 메시지에 포함된 TTL에 의해 한정되는 거리까지 재전송을 반복하며 일정거리까지 차량안전메시지를 전달한다.

2. 중계노드 사이의 최적거리 설정

무선 미디어는 전송거리가 멀어질수록 수신신호의 세기가 매우 떨어진다. 특히 무선 도달거리의 경계선 부근은 수신 신호가 매우 불안정한 구간으로서 송·수신 노드의 위치가 고정되어 있다고 하더라도 주변 상황에 따라 수신감도가 변하여 연결/끊김을 반복하는 핑퐁현상이 발생한다. 식 (1)은 거리에 따른 무선 신호의 수신 세기를 나타내고 있다. 송신신호의 세기 X_0 dB, 수신신호의 세기 X_R dB 파장은 λ , 거리는 d 를 나타낸다.

$$X_R = \frac{X_0 \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \tag{1}$$

안정적인 수신신호의 세기를 X_S dB라 가정하고 식 (1)을 이용하여 그때의 거리를 구하면 식 (2)와 같다.

$$d = \sqrt{\frac{X_0}{X_R}} \cdot \frac{\lambda}{2\sqrt{\pi}} \tag{2}$$

$$d_s = \sqrt{\frac{X_0}{X_S}} \cdot \alpha \quad (\text{where } \alpha = \frac{\lambda}{2\sqrt{\pi}}) \tag{3}$$

식 (2)에서 $\frac{\lambda}{2\sqrt{\pi}}$ 는 사용하는 무선 미디어 별로 항상 일정한 상수 값이고, 안정적인 수신신호의 세기를 X_S 라 가정하면, 신호의 세기가 안정적인 거리 값 d_s 는 식 (3)으로 표현할 수 있다.

무선 네트워크가 운용되고 있는 주변 환경과 비슷한 무선대역을 사용하는 기기 존재 여부에 따라 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 값이 변하기 때문에 X_S 도 상황에 따라 변하고 결과적으로 d_s 의 값도 시시각각 변한다. 도로 주변상황을 가지고 예를 들어 설명하면 차선 폭도 넓고 도로주변에 빌딩과 수많은 무선기기들이 포함되어 있는 도심에서는 SNR 수치가 높기 때문에 자연스럽게 d_s 값은 작아지고, 시외의 한적한 도로는 반대로 SNR 수치가 매우 낮기 때문에 d_s 값이 커진다.

차량안전메시지 전달을 위해 사용할 무선 네트워크 기술은 IEEE 802.11a 무선랜 기술을 근간으로 설계되었다^[16]. 무선랜에서 도달거리는 실내에서는 30m, 실외에서는 150~250m 정도를 예상하고 있으나, 주변 환경의 영향을 받아 실제거리는 많은 차이가 보인다. 제안된 논문에서는 중계노드 선택을 위하여 중계노드 사이의 간격을 무선랜에서 최대 전송거리를 250m라고 가정하고 있는 것과 비교하여 100~200m 사이에서 유동적으로 적용 가능하도록 하고 있다. 중계노드 사이의 거리를 무선전송반경보다 작게 하는 이유는 메시지 전달의 신뢰성을 높이고, 핑퐁현상의 발생을 최소화하기 위해서이다. 그림 2는 무선전송반경과 안정적인 신호를 수신할 수 있는 거리 안에 DP가 설정되는 상황을 보이고 있다.

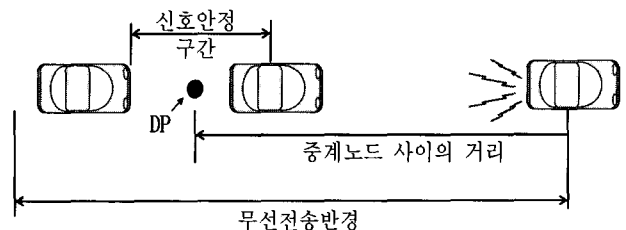


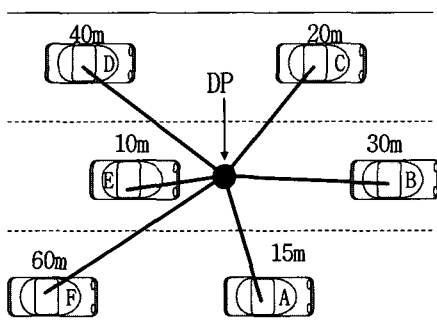
그림 2. 중계노드 사이의 거리
Fig. 2. Inter-distance between relay nodes.

3. 중계노드 선택

차량안전메시지를 전송하는 노드들은 메시지를 전송하기 위해서 자신의 위치, 이동 방향, 속도를 고려하며 DP를 계산한다. DP는 송신노드가 생각하는 가장 적절한 후임 중계노드의 위치이다. 각 차량들은 별개이기 때문에 메시지를 수신한 수신노드들은 DP 값에 종속적이지 않다. 따라서 송신노드는 전송할 메시지에 계산해 놓은 DP를 포함시켜 전송한다. DP의 위치는 송신차량의 이동방향과 반대방향으로 2절에서 제시한 d_s 만큼 떨어진 거리에 설정된다.

DP 부근의 차량들은 잠재적인 중계노드의 후보들이다. 도로 구조를 고려할 때 DP 주변은 어느 곳이라도 중계노드의 후보지로서 충분한 의미가 있다. 그렇지만 DP와 가까울수록 더욱 중계차량의 후보로서 적당하다. 이러한 이유 때문에 DP 주변의 어느 차량이 중계노드로 선택되어도 전체적인 관점에서는 크게 영향을 주지 않는다.

그림 3은 DP가 설정된 위치와 그 주변의 차량들의 위치를 나타내고 있다. 각 차량들은 DP와 거리에 의해서 중계를 위해 대기할 시간을 거리에 비례해서 설정되고 그에 따르는 우선순위를 나타내고 있다. DP와 가장 가까이 위치한 차량 E는 DP와 직선거리로 10m 떨어져 있고 이에 따르는 지연시간이 $10 * DPM$ (Defer Per Meter: 미터 당 지연시간)이다. 제안된 방법에서는 네트워크 시뮬레이션을 위해서 DPM은 0.5msec으로 설정하였다. 따라서 차량 E는 5msec 대기 후 가장 먼저 차량



- DP와의 거리와 우선순위 :
- A : 15 * DPM : 2번째 우선순위
 - B : 30 * DPM : 4번째 우선순위
 - C : 20 * DPM : 3번째 우선순위
 - D : 40 * DPM : 5번째 우선순위
 - E : 10 * DPM : 1번째 우선순위**
 - F : 60 * DPM : 6번째 우선순위

그림 3. 거리에 따른 지연시간 설정 및 우선순위
Fig. 3. Defer time assignment by the distance from the DP and their priority.

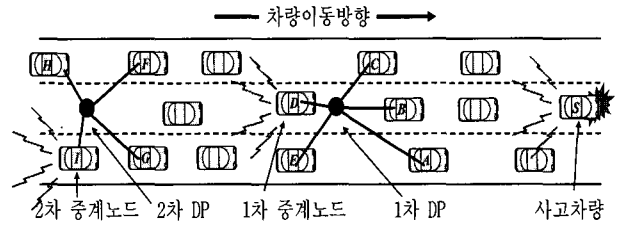


그림 4. 차량안전메시지 중계 과정
Fig. 4. Relaying procedure of vehicle safety message.

안전메시지를 재전송한다. 이웃하는 차량 A, B, C, D, F는 E가 재송신한 메시지를 받자마자 재송신을 위해서 준비 중이던 모든 과정을 중지시킨다.

그림 4는 차량안전메시지가 다중 홉을 거쳐 후미로 전달되는 과정을 보이고 있다. 사고차량이 차량안전메시지를 1차 DP값과 함께 브로드캐스트하면, 1차 DP 주변의 차량 A, B, C, D, E 중에서 가장 DP와 가까운 차량 D가 선택되어 재전송을 수행한다. 차량 S와 D 사이에 위치하는 모든 차량들은 이 재전송된 메시지를 수신하고 이미 중계노드가 선택되었음을 인식한다. 차량 D가 송신한 메시지에는 2차 DP가 포함되어 다음 홉까지 동시에 전달된다. 차량 D가 중계한 메시지를 처음 송신한 노드들은 2차 DP와 자기의 위치 차이에 의해서 대기 시간을 갖는다. 2차 DP에 가장 가까운 차량 I가 2차 중계노드가 되어 후방으로 재전송한다. 각 메시지에 포함된 'Source ID'와 'Source Sequence Number'를 통해서 각 메시지는 유일하게 구분되므로 메시지 중복현상을 완화시키고 있다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 분석

1. 시뮬레이션 환경

제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여 차량 이동환경을 모델링하고 네트워크 시뮬레이션을 통하여 성능을 측정한다. 차량의 이동 환경은 고속도로를 달리는 차량을 대상으로 하고 있으며, 네트워크 시뮬레이션은 NS-2^[17]을 이용하였다.

차량의 이동모델은 실제 자동차가 도로를 주행하는 상황을 고려하여 이동방향과 속도의 속성을 설정하였다. 시뮬레이션이 시작될 때 차량들은 같은 도로의 서로 다른 위치에서 시작한다. 시뮬레이션이 진행되는 동안 모든 차량들은 방향 전환은 수행하지 않고, 같은 방향으로 이동한다. 편도 4차선의 도로를 가정하고 있으며 차량들의 이동 속도는 가속과 감속을 반복하면서 변

표 1. 네트워크 시뮬레이션 파라미터들
Table 1. Network simulation parameters.

파라미터	값
차량 밀도	30~130 대
이벤트의 개수	10 개
MAC프로토콜	802.11a MAC
메시지의 TTL	5 hop
시뮬레이션 시간	30초
Defer Per Meter	0.5msec
비교대상	Naïve Broadcast 프로토콜 ^[14]
	Intelligent Broadcast 프로토콜 ^[15]

속주행을 수행한다. 속도가 낮은 차량을 속도가 높은 차량이 추월하면서 이동한다.

차량안전메시지가 전파되는 영역을 제어하기 위해서 모든 메시지는 TTL을 5로 제한한다. 시뮬레이션을 수행하는 동안 총 10회의 차량안전메시지를 임의의 간격으로 발생시킨다. 표 1은 시뮬레이션에 사용한 파라미터를 나타낸다.

성능을 비교하기 위해서 사용하는 NB 프로토콜^[14]은 중계 개념을 사용하지 않는 단순한 지향성 브로드캐스트 방법이다. IB 프로토콜^[15]은 메시지를 수신한 차량들이 바로 재전송을 실행하지 않고 랜덤시간 씩 대기한 후 재전송을 시도하는 방법이다. IB 프로토콜에서 사용하는 랜덤시간은 0~10msec으로 설정하고 있다. 중계 개념을 사용하지 않는 방법론인 NB 프로토콜과 랜덤에 의한 선택적 중계 개념을 사용하는 IB 프로토콜 그리고 제안하는 방법을 비교한다.

2. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

성능의 결과는 중계 기능을 사용하지 않는 NB 프로토콜을 NR (No Relay)로, 랜덤선택 중계를 사용하는 IB 프로토콜을 RR (Random Relay), 거리에 근간한 중계개념을 사용하는 제안 방법론을 DR (Distance based Relay)라고 표기한다. 성능 결과는 송·수신 패킷의 수와 관련이 되어 있는 패킷 오버헤드 분야와 전송 성과와 관련이 있는 네트워크 성능 분야로 나누어 결과를 보여준다.

가. 패킷 오버헤드

(1) 전송 패킷의 수

그림 5는 시뮬레이션을 수행하는 동안 네트워크 전체에서 발생한 패킷의 수를 나타내고 있다. 중계 개념을 사용하지 않는 NR은 차량의 수의 증가함에 따라 비례적으로 지속적으로 증가한다. 그러나 랜덤선택이긴

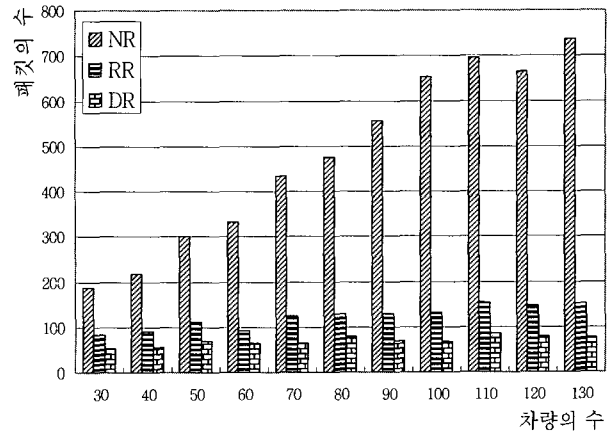


그림 5. 전송 패킷의 수
Fig. 5. The number of transmitted packets.

하지만 중계기능을 활용하는 RR은 차량의 수가 증가함에 따라 약간 증가하기는 하지만 그 경사가 완만하게 증가하는 상황을 보인다. DR은 차량의 수의 증가와 상관없이 거의 일정한 패킷의 수를 유지하고 있다. 제안된 방법론은 평균적으로 RR에 비해서 약 57.5%만을 사용하고 있고 NR에 비해서 14.7%의 패킷만을 사용하고 있다. 동일한 무선 네트워크에서 패킷의 수가 적으면 무선 자원의 가용성이 늘어날 뿐만 아니라 차량안전메시지 전송에 있어 잠재적인 패킷 충돌 가능성을 줄일 수 있어 전송 신뢰도를 높일 수 있다.

(2) 수신 패킷의 수

그림 6은 시뮬레이션을 수행하는 동안 네트워크 전체 노드들이 수신한 총 패킷의 수를 나타내고 있다. 한번의 패킷 전송으로 무선전송환경에 포함된 모든 노드에 전달되기 때문에 패킷의 대부분이 중복패킷이다. 수

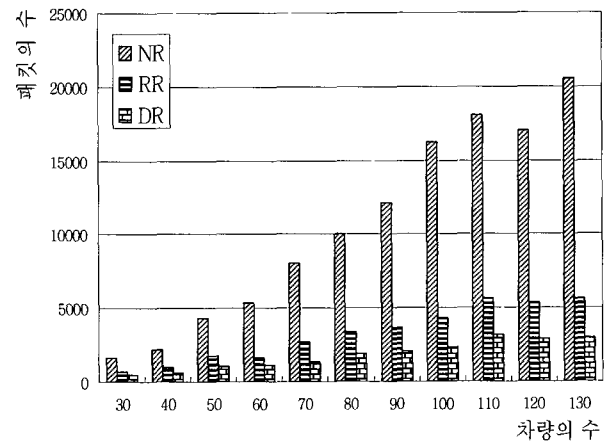


그림 6. 수신 패킷의 수
Fig. 6. The number of received packets.

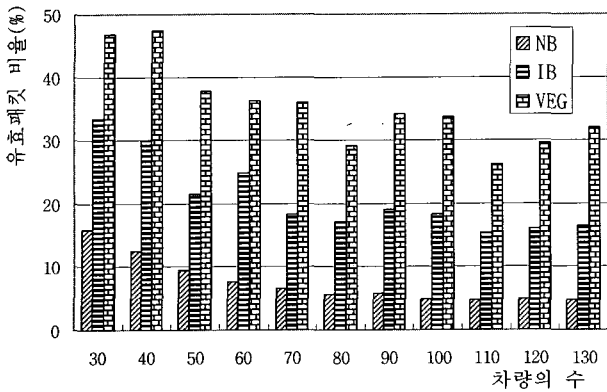


그림 7. 유효 수신 패킷의 비율
Fig. 7. The ratio of effective packets.

신 패킷의 수는 전송 패킷의 수에 비례하게 증가되는 상황을 보이고 있다.

(3) 유효 패킷의 비율

그림 7은 유효 수신 패킷의 비율을 나타내고 있다. 유효 수신 패킷이란 동일 패킷을 여러 번 중복 수신했을 경우 처음 받았던 패킷을 유효패킷이라고 정의한다. 만약 어떤 노드에서 똑같은 메시지를 5회 수신하였을 경우, 처음 메시지는 유효패킷이고 나머지 4회는 중복 패킷이 된다. 이때 유효패킷의 비율은 1/5이 되어 20%가 된다. NR은 전송 패킷의 수가 증가할수록 중복 수신하는 패킷의 수가 증가하여 패킷 효율성을 크게 떨어트린다. RR도 비교적 우수한 성능을 보이고 있지만 랜덤선택의 한계로 인해서 차량의 수가 증가할수록 떨어지는 경향을 보이고 있다. DR도 차량의 수가 증가함에 따라 약간 효율이 떨어지는 경향을 보이고 있으나 거의 26%~47%가까운 효율을 보이고 있다.

나. 네트워크 성능

(1) 패킷 전송 지연시간

그림 8은 최초 차량안전메시지를 발생시킨 차량이 메시지를 발생한 시간 이후 TTL로 한정된 범위까지 차량안전메시지가 전달되는데 걸린 평균시간을 나타내고 있다. NR은 차량의 수와 관계없이 거의 일정한 성능을 보여주고 있다. 그러나 RR과 DR의 경우 중계 기능을 활용하기 때문에 수 홉의 거리에 있는 차량들에게도 좀더 빠른 속도로 전파가 가능해진다. 특히 DR의 경우 거리에 기반하고 있기 때문에 차량의 밀도가 희박한 경우 DP와 중계노드 사이의 거리가 멀어서 전송지연이 많이 발생하다가 차량의 수가 증가하면서 DP와 중계노

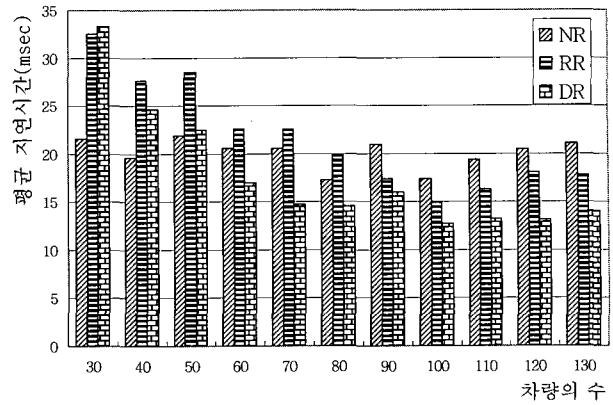


그림 8. 평균 전송 지연시간
Fig. 8. The average of transfer-delay time.

드 사이의 거리가 확률적으로 작아져 홉 당 대기 시간이 짧아져 차량의 수가 증가할수록 평균지연시간이 짧아진다. 다양한 교통상황을 고려한다면 NR이나 RR보다는 DP가 더욱 좋은 메시지 전달 성능을 보인다고 할 수 있다.

(2) 차량안전메시지 전파 완료시간

그림 9는 임의의 차량안전메시지가 발생하고 정해진 영역까지 메시지가 전달되는 상황에서 더 이상 동일한 메시지의 재송신 현상이 발생하지 않는 때까지 걸리는 시간을 나타낸다. 즉, 정해진 영역에 포함된 모든 차량들이 그 차량안전메시지에 대한 전파를 완료한 시간을 나타낸다. NR의 경우 IEEE 802.11 MAC의 Carrier Sense 기능으로 Drop 패킷을 최소화하기 때문에 패킷이 발생하는 수가 많아지고 메시지 충돌이 많아져 차량 안전메시지의 전파완료시간이 늦어지게 된다. NR의 경우 차량의 수가 증가하고 패킷의 수가 증가할수록 이에

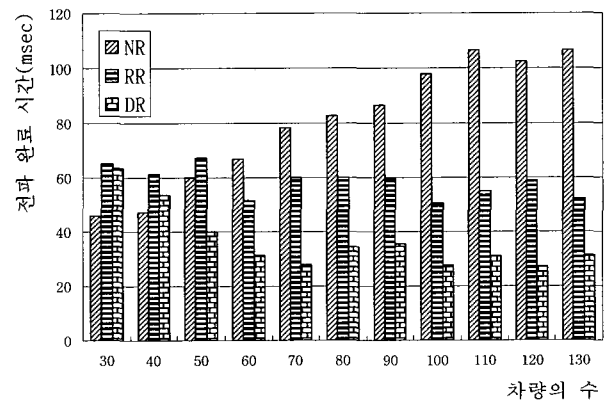


그림 9. 차량안전메시지 전파 완료시간
Fig. 9. The completion time of vehicle safety message propagation.

비례하게 완료시간이 지연된다. 그러나 RR의 경우 중계기능을 활용하고 있어 메시지 충돌 현상을 완화시킬 수 있기 때문에 차량의 수와 관계없이 거의 일정한 수준의 완료시간을 보이고 있다. DR은 중계노드 사이의 거리를 고려하면서 메시지가 후미로 전달되기 때문에 중복송신의 여지가 적으며 차량의 밀집도가 높아질수록 각 홉 당 대기시간이 줄어드는 효과가 발생하여 오히려 차량의 수가 증가할수록 통신완료시간이 줄어드는 효과를 내고 있다.

다. 시뮬레이션 결과 토의

차량안전메시지 전송을 위해서 사용되는 무선미디어 (예, 5.9 GHz DSRC^[14])는 CSMA (Carrier Sense Multiple Access)를 사용하는 802.11 무선랜 기술과 유사하다. 따라서 패킷의 수가 증가하면 자연스럽게 전송 지연이 늘어난다. 또한 필요이상의 패킷 송수신이 발생하여 대역폭의 효율을 심각하게 떨어뜨린다. 제안된 중계노드 선택 방법을 사용하면 차량안전메시지를 원하는 영역까지 전송하기 위해서 다중 홉 전송이 필요한 경우 네트워크 패킷 오버헤드를 상당히 줄일 수 있다.

네트워크 시뮬레이션 결과에 따르면 네트워크 성능적인 부분에서 기존의 프로토콜들과 유사하거나 오히려 더 좋은 성능을 보이면서 패킷의 오버헤드를 최소 57.5%에서 최대 14.7% 정도 까지 줄일 수 있음을 보여 주고 있다. 송신 차량이 차량안전메시지를 전송 후 다음 중계노드가 그 메시지를 재송신하는 경우 처음 송신 차량은 자신이 전송한 메시지가 후미에 적절하게 전달 되었음을 확인할 수 있다. 그렇기 때문에 패킷의 효율성 측면에서 살펴봤을 때, 대부분의 프로토콜들은 패킷의 효율성이 최대 50%를 넘어설 수 없다. 제안된 중계노드 선택 방법을 사용하여 패킷을 전송하는 경우 26%~47% 정도의 패킷 효율성을 보이고 있다.

차량의 수가 증가함에 따라 기존의 프로토콜들은 성능이 나빠지는 경향을 보이고 있으나 제안된 방법론은 오히려 성능이 좋아지고 있다. 또한 우선순위 개념을 도입하여 중계노드를 선택하고 있기 때문에 가장 우선순위가 높은 차량이 시기적절하게 메시지를 전송하지 못하는 경우 다음 우선순위를 가지고 있는 차량이 자연스럽게 재전송을 수행하여 재전송 신뢰성을 확보하고 있다.

V. 결 론

제안된 중계노드 선택 방법은 경쟁방식의 중계노드 선택 방법론이다. 송신차량의 위치와 비교하여 수신 차량들의 상대적인 거리에 의해서 중계노드가 선정됨으로서 랜덤방식으로 선정하는 프로토콜에 비해서 많은 이득을 보이고 있다. 제안된 방법을 적용하여 차량안전메시지를 필요영역까지 전파하는 경우 전송 패킷의 수를 줄여 무선 대역폭의 효율을 높이고 패킷 충돌의 가능성을 낮출 수 있다.

시뮬레이션 결과에 따르면 제안된 중계노드 선택 방법을 이용하는 경우 기존의 차량안전메시지 전파 프로토콜들에 비해서 전송한 패킷의 수와 패킷의 효율성 측면에서 좋은 결과를 보여주고 있다. 특히 거의 똑같은 영역에 차량안전메시지를 전달하기 위해서 사용한 패킷의 수가 차량 수의 증가에도 불구하고 일정하게 유지되는 성능을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] 교통안전관리공단, "2003년 OECD회원국 교통사고 비교," 2006.
- [2] 교통안전관리공단, "2004년 대한민국 교통사고 통계자료," 2006.
- [3] X. Yang, et al., "A Vehicle-to-Vehicle Communication Protocol for Cooperative Collision Warning," *Proc. of the 1st IEEE Int'l. Conf. on Mobile and Ubiquitous System Networking and Services*, pp. 114-123, Boston, USA, Aug. 2004.
- [4] The Office of Communication in UK, <http://www.ofcom.gov.uk/>
- [5] D. Scherrer, "Short Range Devices, Radio Frequency Identification Devices, Bluetooth, Ultra Wideband Systems, Automotive Short Range Radars, Overview and Latest Developments," *OFCOM*, 2003.
- [6] Q. Xu, et al., "Design and Analysis of Highway Safety Communication Protocol in 5.9 GHz Dedicated Short-Range Communication Spectrum," *Proc. of the 57th IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 2451-2455, Jeju, Korea, Apr. 2003.
- [7] Q. Xu et al., "Layer-2 Protocol Design for Vehicle Safety Communications in Dedicated Short Range Communications Spectrum," *Proc. of the 7th IEEE Int'l Conf. on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1092-1097, Washington, DC, USA, Oct. 2004.

[8] T. Hasegawa, et al., "A Concept Reference Model for Inter-Vehicle Communications (Report2)," *Proc. of the 7th IEEE Int'l Conf. on Intelligent Transportation Systems*, pp. 810-815, Washington, DC, USA, Oct. 2004.

[9] W. Chen and S. Cai, "Ad Hoc Peer-to-Peer Network Architecture for Vehicle Safety Communications," *IEEE Communications Magazine Vol. 43(4)*, pp. 100-107, 2005.

[10] IETF Mobile Ad hoc Networks Working Group, <http://www.ietf.org>

[11] M.T. Sun, W.C. Feng, et al., "GPS-Based Message Broadcast for Adaptive Inter-Vehicle Communications," *Proc. of the 52th IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 2685-2692, Rhodes, Greece, Sep. 2000.

[12] T. Fukuhara, T. Warabino, "Broadcast Methods for Inter-Vehicle Communications System," *Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 2252-2257, New Orleans, L.A., USA, Mar. 2005.

[13] M. Torrent-Moreno, et al., "Broadcast Reception Rates and Effects of Priority Access in 802.11-Based Vehicular Ad-Hoc Networks," *Proc. of the 1st ACM Int'l Conf. on Vehicular Ad hoc Networks*, pp. 10-18, Philadelphia, USA, Oct. 2004.

[14] ASTM, "Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems - 5GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," *ASTM E2213-03*, Sep. 2003.

[15] S. Biswas, et al., "Vehicle-to-Vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety," *IEEE Communications Magazine, Vol. 44(1)*, pp. 74-82, 2006.

[16] Z. Jing and S. Roy, "MAC for Dedicated Short Range Communications in Intelligent Transport System," *IEEE Communications Magazine Vol. 41(12)*, pp. 60-67, 2003.

[17] Network Simulator Version 2.29, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

저 자 소 개



유 석 대(정회원)
 2000년 전북대학교 컴퓨터
 정보학과 학사 졸업.
 2002년 전북대학교 전산통계학과
 석사 졸업.
 2002년~현재 전북대학교 컴퓨터
 통계정보학과 박사과정.

<주관심분야 : 교통안전통신, Ad-hoc네트워크,
 센서네트워크>



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

1987년~1997년 한국전자통신연구원 선임연구원
 1997년~1999년 목포대학교 컴퓨터과학과
 전임강사

1999년~현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수
 <주관심분야 : 이동컴퓨팅, 컴퓨터통신, 무선네트
 워크 보안, 센서네트워크, 분산처리시스템>



이 문 근(정회원)
 1989년 미국 Pennsylvania
 주립대학교 컴퓨터과학과
 이학사 졸업.
 1992년 미국 Pennsylvania
 주립대학교 컴퓨터정보
 과학과 이공학석사 졸업.

1995년 미국 Pennsylvania 주립대학교
 컴퓨터정보과학과 이공학박사 졸업

1992년~1996년 미국 Computer Command and
 Control Company, Computer Scientist

1996년~현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수
 <주관심분야 : 소프트웨어 재·역공학, 실시간시
 스템, 운영체제, 형식언어, 병렬함수언어, 컴파일
 러>