

# 차량 애드 혹 네트워크를 위한 캐리어 감지와 슬롯 상태 공유 기반 시분할 채널 접근 기법

윤여훈\*, 이응규\*, 정우성\*\*, 송유승\*\*, 고영배<sup>o</sup>

## A Carrier Sensing and Slot-State Sharing TDMA for Vehicular Ad Hoc Networks

Yeo-Hoon Yoon\*, Eung-Kyu Lee\*, Woo-Sung Jung\*\*, Yoo-Seung Song\*\*, Young-Bae Ko<sup>o</sup>

### 요약

본 논문에서는 차량 네트워크에서의 신뢰성 있는 안전 메시지 전송을 위한 TDMA 방식의 MAC 프로토콜을 제안한다. 현재 V2X 통신 표준인 IEEE 802.11p의 MAC 프로토콜은 차량이 밀집된 환경에서 다량의 메시지가 발생할 경우 패킷 손실이 급격히 증가하는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 제안된 기존 TDMA 연구들은 스케줄링을 위한 오버헤드가 여전히 큰 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 기존 연구보다 오버헤드를 줄이고 숨겨진 노드 문제를 해결하며 경쟁기반 CSMA/CA의 장점을 갖는 새로운 TDMA 프로토콜을 제안한다. 제안 알고리즘은 슬롯 상태 정보를 교환하여 슬롯을 선정하고, 선정된 슬롯에서 캐리어 감지 후 매체에 접근하도록 설계되었다. NS-3 시뮬레이터를 통해 제안 스킴의 패킷 수신율과 채널 사용량이 기존 프로토콜에 비해 증가됨을 확인하였다.

**Key Words** : Vehicular Ad Hoc Networks(VANET), V2X, IEEE 802.11p, TDMA, WAVE

### ABSTRACT

In this paper, we propose a novel TDMA-based MAC protocol for reliably transmitting safety messages in vehicle ad hoc networks. The MAC protocol of IEEE 802.11p, which is the current V2X communication standard, has a problem in that packet loss increases rapidly when large numbers of messages occur within a dense environment. The existing TDMA studies proposed to solve this problem tend to have a large overhead for scheduling. The proposed TDMA protocol can reduce such an overhead, solve the hidden node problem, and even share the advantages of CSMA based approaches. The proposed algorithm is designed to select slots by exchanging slot state information and to access media after detecting the carrier in the selected slot. We have confirmed through a NS-3 simulation study that the packet reception rate and channel usage of the proposed scheme is greater compared to the existing protocol.

※ "이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2015 RID1A1A01059049)"

• First Author : Ajou University Department of Computer Engineering, yeohoon@uns.ajou.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Ajou University Department of Computer Engineering, youngko@ajou.ac.kr, 종신회원

\* Ajou University Department of Computer Engineering, eungkyu@uns.ajou.ac.kr, 학생회원

\*\* ETRI, Electronics and Telecommunications Research Institute, woosung@etri.re.kr 정회원, yssong00@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-01-020, Received January 16, 2017; Revised April 12, 2017; Accepted May 29, 2017

## I. 서 론

최근 스마트카 혹은 자율주행자동차에 대한 관심이 높아지면서 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신 기술에 대한 중요성이 더욱 증대되고 있다. 자율주행자동차는 카메라와 레이더 등의 센서를 통해 주변 도로 상황을 파악하지만 이러한 센서만으로 감지할 수 있는 범위에는 한계가 있기 때문에 자율주행차가 사람의 안전을 보장하기 위해서는 다른 차량이나 인프라를 통해서 안전 관련 정보를 제공받아야 한다. 이에 따라 주변 노드와 안전 메시지(Basic Safety Message, BSM)를 안정적으로 교환하기 위한 기술의 중요성이 부각되고 있다<sup>1)</sup>.

V2X 통신 표준으로는 WLAN을 기반으로 차량 통신 환경을 고려하여 설계된 IEEE 802.11p와 IEEE 1609가 있다. IEEE 802.11p는 차량 네트워크에서 안전 메시지 전송을 위한 PHY, MAC 계층을 규정하고 있으며, IEEE 1609는 MAC의 상위 계층에 대해 정의하고 있다. IEEE 802.11p에서 노드는 경쟁기반의 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance) 방식으로 채널에 접근한다. 노드의 밀도가 낮은 환경에서는 CSMA/CA 방식의 통신으로 처리율(throughput)을 높일 수 있지만 제한된 전송 속도와 단일 채널, 넓은 통신 거리, 낮은 백-오프 슬롯 개수 등으로 인해 밀집도가 높은 환경에서는 메시지 충돌이 증가하는 단점이 있다<sup>2)</sup>.

이러한 CSMA/CA의 단점을 극복하기 위해 유럽의 표준화 단체인 ETSI에서는 TDMA 방식의 통신 기법인 STDMA(Self Organizing Time-Division Multiple Access)<sup>3)</sup>를 제안하였다<sup>4)</sup>. STDMA를 사용할 경우 CSMA/CA의 단점인 고밀도 환경에서의 메시지 충돌 문제를 개선할 수 있다. 하지만 ITS 서비스가 점점 다양해지고, V2X 통신을 지원하는 차량이 급속히 증가함에 따라 기존의 TDMA 알고리즘보다 높은 처리율을 안정적으로 지원할 수 있는 채널 접근 기법이 필요하게 되었다. 이를 위해 TDMA를 기반으로 하는 다양한 연구가 진행되고 있고, [5,6,7]에서는 차량이 주변 노드들과 채널 정보를 공유하여 숨겨진 노드 문제를 해결하고자 하였다. 하지만 이러한 방식들은 노드 ID를 공유하기 때문에 큰 오버헤드가 발생하여 패킷 전송 시간을 증가시키는 문제가 있다.

본 논문에서는 경쟁 방식과 시분할 방식의 이점을 취하고, 시간 슬롯 정보를 공유하여 숨겨진 노드 문제를 방지하면서 기존의 방식보다 오버헤드를 줄인 기법을 제안한다. 제안 기법을 통해 차량 네트워크에서

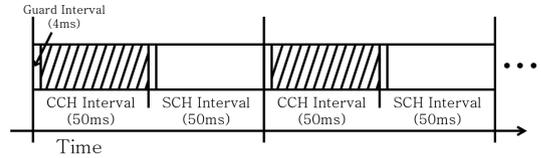


그림 1. IEEE 1609.4의 교차 채널 접근 방식  
Fig. 1. Alternating Channel Access mechanism in IEEE 1609.4

기존의 연구보다 향상된 패킷 수신율과 처리율을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

## II. 관련 연구

### 2.1 V2X 통신 기술 표준

IEEE 1609는 WAVE(WAVE, Wireless Access for Vehicular Environments)를 위한 MAC 계층과 상위 계층에 대해 정의하고 있고, 그 중 IEEE 1609.4는 MAC 계층의 다채널 동작을 정의한다. 그림 1은 IEEE 1609.4의 교차 채널 접근(Alternating Channel Access)을 나타낸 그림이다. 이 방식에서는 채널이 컨트롤 채널(Control Channel, CCH)과 서비스 채널(Service Channel, SCH)로 나뉘고, 각 채널은 4ms의 가드 시간을 포함하여 50ms씩 반복된다. CCH는 차량 간 안전 메시지를 교환하기 위해 사용되며, SCH는 ITS 서비스 애플리케이션을 지원하기 위해 주로 사용된다. 채널 대역폭은 5.850GHz와 5.925GHz 사이에서 10MHz씩 7개의 채널로 나뉘는데 1개의 컨트롤 채널과 6개의 서비스 채널로 구성된다.

IEEE 802.11p는 WAVE를 위한 PHY와 MAC 계층에 대해서 정의하고 있다. IEEE 802.11p는 도플러 효과로 인해 고속의 이동성을 거의 지원하지 못하는 IEEE 802.11a를 개선한 표준으로 차량들이 안정적으로 전파를 송수신할 수 있도록 대역폭을 20MHz에서 10MHz로 줄인 것이 가장 큰 특징이다. 하지만 IEEE 802.11p는 IEEE 802.11의 CSMA/CA MAC 방식을 사용하고 있기 때문에 고밀도의 차량 네트워크를 지원하는 것에는 한계를 나타낸다. 이러한 IEEE 802.11p의 단점을 해결하기 위한 다양한 TDMA가 현재 활발히 연구되고 있다<sup>3,5-7)</sup>.

### 2.2 V2X 통신 채널 접근 관련 기법

충돌 감지를 할 수 없는 무선 환경에서 TDMA 방식의 채널 접근 방법을 사용할 때 발생하는 문제로는 접근 충돌 문제(access collision problem)와 결합 충돌 문제(merging collision problem) 문제, 숨겨진 노

드 문제(hidden terminal problem)가 있다<sup>6)</sup>. 접근 충돌이란 두 개 이상의 노드가 하나의 시간 슬롯에 동시에 접근할 때 패킷 충돌을 일으키는 현상을 지칭하고, 결합 충돌은 노드의 이동성이 있을 때 발생하는 문제로 서로의 통신 범위 바깥에서 같은 슬롯에 할당되어 있던 두 노드가 같은 통신 범위 안에 들어오면서 메시지 충돌을 일으키는 문제를 뜻한다. 숨겨진 노드 문제는 무선 통신 환경에서 발생하는 대표적인 패킷 충돌 문제로, IEEE 802.11에서는 터미널과 AP(Access Point)와의 RTS/CTS 교환을 통해 이 문제를 해결하고 있다. 하지만 차량 네트워크에서는 인프라 네트워크가 없는 환경에서의 통신이 가능해야 하므로 AP에 독립적인 프로토콜이 필요하다.

숨겨진 노드 문제를 해결하기 위해 기존에 연구된 정보 공유 기법은 차량이 TDMA 슬롯의 채널 상태를 감지하고 패킷 수신(busy), 패킷 충돌(drop), 휴지(idle) 상태를 나타내는 정보를 헤더에 추가하여 브로드캐스팅하는 방식이다. 전송되는 패킷은 각 슬롯에서 어떤 ID를 가지는 차량이 메시지를 송신하였는지, 또는 해당 슬롯에서 메시지 손실이 발생하였는지, 슬롯이 휴지 상태인지 등의 정보를 포함한다. 메시지를 수신하는 차량은 이 정보를 통해 채널 접근 시간을 스케줄링 하며 어느 슬롯이 사용 가능한지 파악하고, 랜덤하게 슬롯을 선택하여 패킷을 전송한다<sup>7)</sup>. 이 방식은 송신 패킷이 모든 슬롯에서 전송한 차량의 ID를 포함하고, 슬롯의 상태 정보를 추가적으로 표시하여 커다란 오버헤드를 갖는다.

SOFT MAC에서는 프레임을 경쟁 구간과 비경쟁 구간으로 분할하였다<sup>5)</sup>. 경쟁 구간에서는 DCF, CSMA, 또는 Slotted Aloha 방식으로 랜덤하게 경쟁하고 코디네이터에 접근하여 비경쟁 구간에 사용할 슬롯을 예약한다. SOFT MAC은 이렇게 비경쟁 구간을 두는 방식으로 채널이 혼잡할 때에도 안정적인 전송이 가능하도록 하였고, SDMA와 OFDMA를 적용한 클러스터 방식을 사용함으로써 숨겨진 노드 문제를 해결하고 있다.

하지만 이 방식은 클러스터 방식을 사용함으로써 몇 가지 문제를 갖는다. 첫째로 클러스터 방식은 핸드오프의 오버헤드로 인해 데이터 패킷과 안전 메시지 전송이 지연된다. SOFT MAC은 EDCA를 기반으로 패킷에 서로 다른 우선순위를 부여하며 안전 메시지에 높은 우선순위를 주고 있다. 하지만 안전 메시지보다 핸드오프를 위한 패킷에 더 높은 우선순위를 주고 있어, 스케줄링 동작에서 안전 메시지의 순위가 낮아진다. 또한 차량의 이동방향에 따라 채널을 구분하지

않기 때문에 고속으로 달리는 양방향 고속도로에서는 핸드오프가 더욱 자주 일어난다. SOFT MAC 방식의 두 번째 문제점은 스케줄링을 위한 코디네이터와의 통신에서 발생한다. 채널에 새로 접근하는 차량은 슬롯을 할당받기 위한 지연 시간이 필요하며, 이를 위해 경쟁과 비경쟁 방식으로 채널을 분할하기 때문에 처리율의 최대치가 떨어진다.

STDMA는 완전 분산 방식으로, 노드가 채널에 접근을 시도하기 전에 한 프레임 동안 수신한 메시지를 바탕으로 비어있는 슬롯 중에서 랜덤하게 선택하여 전송한다. STMDA에서는 한 프레임을 송신 주기(report rate)로 나눈 값을 NI(Nominal Increment)라고 하고, 노드는 각 NI마다 한 번씩 메시지를 송신하도록 한다. 노드가 NI 구간에서 NSS(Nominal Start Slot)를 선택하면 NSS를 중심으로 일정 구간(Selection Interval, SI) 내의 랜덤한 슬롯에서 데이터를 전송한다. 선택한 슬롯에서 노드는 3에서 8 사이의 정수  $n$ 을 헤더에 추가하여 전송한다. 그 때부터  $n$  프레임 동안 해당 슬롯을 노드가 점유하게 된다. STDMA는 메시지 충돌 문제를 해결하기 위해 SI 안의 모든 슬롯이 사용 중일 때 자신으로부터 가장 멀리 떨어져 있는 노드의 슬롯과 같은 슬롯을 선택하여 전송한다. 주변의 차량들의 메시지 송신을 방해하지 않기 위해 자신으로부터 가장 먼 차량이 사용하는 슬롯을 우선적으로 사용하였지만 숨겨진 노드 문제를 해결하지는 못했다.

[8]의 Hybrid MAC에서는 TDMA의 슬롯 스케줄링 방식에 필요한 지연 시간과 패킷 오버헤드를 줄이기 위해 CSMA의 캐리어 감지 기법을 TDMA에 적용하였다. 채널의 바쁜 상태가 끝나면 DIFS(DCF Interframe Space)만큼 기다린 후에 추가적으로 랜덤하게 선택한 시간 슬롯의 개수만큼 기다렸다가 송신한다. 그리고 슬롯을 점유한 차량은 점유하지 못한 차량보다 높은 우선순위를 갖고 채널에 접근하여 슬롯을 점유한 차량이 안정적으로 채널을 사용할 수 있도록 설계되었다. Hybrid MAC은 브로드캐스트 환경에서 TDMA의 접근 충돌에 대처하기 어려운 점을 극복하였고, 지연 시간도 일반적인 TDMA에 비해 CSMA에 근접할 만큼 감소시켰다. 또한 채널 사용량에서 CSMA보다 월등히 높은 성능을 냈지만, 숨겨진 노드 문제는 해결하지 못하였다.

본 논문에서는 [3,8]에서 고려하지 못한 숨겨진 노드 문제를 채널 정보 공유를 통해 해결하였다. 또한 슬롯 안에서의 캐리어 감지를 통해 접근 충돌을 확률적으로 방지하는 기법을 제시한다.

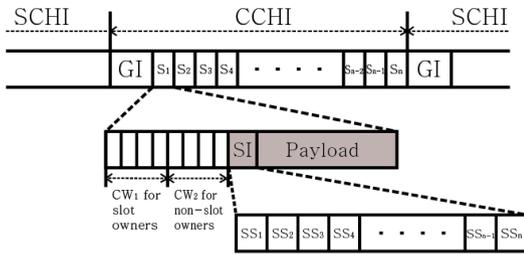


그림 2. 제안 기법 구조도  
Fig. 2. Frame structure of proposed scheme

### III. 제안 기법

본 논문에서 제안하는 기법은 경쟁 방식으로 슬롯을 점유하는 방식과, 채널 슬롯의 정보를 통해 충돌을 판단하고 회피하는 방식 두 가지 기법으로 구성된다. 컨트롤 채널을 96개의 슬롯( $S_i$ )으로 나누고 각  $S_i$ 의 앞부분은 두 개의 경쟁 구간  $CW_1$ 과  $CW_2$ 로 구성된다. 차량이 경쟁을 통해 스스로 슬롯을 점유한 뒤에는 헤더에 추가한 슬롯 정보를 활용하여 충돌 발생을 판단하고 통신을 복구할 수 있도록 하였다.

3-1절에서는 캐리어 감지를 통해 경쟁적으로 슬롯을 점유하는 방식에 대해 설명하고, 3-2절에서는 채널 슬롯 정보 공유 기법에 대해 설명한다.

#### 3.1 경쟁 기반 슬롯 점유 기법

그림 2에서  $CW_1$ 과  $CW_2$ 는 슬롯의 앞부분에서 안전 메시지 송신을 위해 경쟁하는 구간이며, 각  $CW$ 에서 0-3 사이의 백오프 값을 랜덤하게 선택한다.  $CW_2$ 에서는 슬롯을 점유하지 못한 차량이 선택한 백오프  $r$ 에 따라  $(r \cdot 4)\mu s$  동안 캐리어 신호를 감지하다가 그 때까지 채널이 휴지하면 즉시 메시지를 송신한다.  $4\mu s$ 의 단위는 DSRC(Dedicated Short-Range Communication)의 최대 전파 거리인 1km의 전파 지연 시간을 고려하여 설정하였다. 한 번 메시지를 송신한 차량은 이후에 동일한 슬롯에서 메시지 충돌이 발생할 때까지 자신이 슬롯을 점유한 것으로 판단하고,  $CW_1$ 에서 경쟁하게 된다.

슬롯을 점유한 차량은  $CW_1$ 에서 경쟁하여 슬롯에 접근함으로써 결합 충돌 문제를 방지한다. 경쟁을 통해 슬롯을 차지한 차량은 다음 프레임에도 계속해서 사용하고, 경쟁에서 밀려난 차량은 점유를 포기하고 다음 슬롯에서 새로 접근을 시도한다. 또한 경쟁 구간에서 동일한 백오프 슬롯을 선택한 차량들이 자신이 슬롯을 점유하였다고 잘못 판단하는 경우에도 다음

프레임에서 충돌을 판단할 수 있다.

#### 3.2 슬롯 상태 정보 공유 기법

본 논문에서 제안하는 기법의 두 번째는 슬롯 상태 정보 공유 기법이다. 이 방식을 사용함으로써 캐리어 신호를 감지하는 방법만으로는 해결할 수 없는 숨겨진 노드 문제를 해결할 수 있다.

$SI$ (Slot Information)는 본 기법에서 정보를 공유하기 위해 MAC 계층에서 추가되는 헤더이다. 차량은 메시지를 송신하기 직전 슬롯까지 한 프레임 동안 수신한 모든 슬롯의 상태 정보를 1 또는 0으로 표현하여 각 슬롯마다 1bit씩  $SI$  헤더에 기록한다. 메시지를 성공적으로 수신한 슬롯은 1, 그렇지 못한 슬롯은 0으로 표시된다. 본 논문에서 가정된 96개의 슬롯의 경우에는 96bits, 총 12Bytes의 오버헤드가 발생한다.

모든 차량은 매 슬롯 시간마다 다른 차량으로부터 수신하는 패킷의  $SI$ 를 읽어 2-홉 이내의 슬롯 사용 정보를 파악한다. 그림 3은 이 기법의 동작 과정을 개략적으로 표현한 그림이고, 동작 과정에서 슬롯 상태 정보 공유 기법을 통해 두 가지의 정보를 파악할 수 있다. 첫째로 2-홉 이내의 휴지한 슬롯을 파악하고, 패킷을 송신할 슬롯을 판단한다. 각 슬롯에서 수신하는  $SI$ 에는  $n$ 개의  $SS$ 가 1비트씩 포함되어 있고, 차량은 이 비트를 통해 각 슬롯마다 성공적으로 수신한 차량의 수를 카운트할 수 있다. 특정 슬롯의 카운트가 0이면 이 슬롯이 휴지하다고 판단한다. 둘째로  $i$ 번째 슬롯에서 패킷을 송신한 차량은 이후 한 프레임 동안 수신한 패킷의 수와 슬롯의 카운트 정보를 비교하여 패

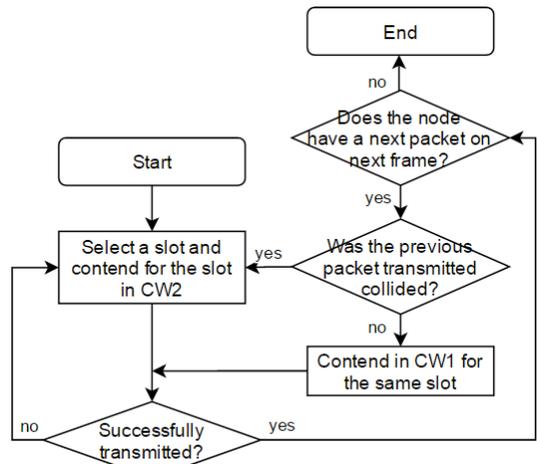


그림 3. 패킷 전송을 위한 슬롯 경쟁 과정  
Fig. 3. Slot competition process for packet transmission

킷의 충돌 여부를 판단한다. 만약 슬롯  $i$ 의 카운트가 수신한 차량의 수보다 낮으면 슬롯  $i$ 에 패킷 손실이 있다는 것으로 패킷 충돌을 판단한다.

본 논문에서 제안하는 기법은 이전의 슬롯 정보를 공유하는 기법들과 오버헤드 측면에서 차별성을 갖는다. [5,6,7]은 슬롯마다 전송하는 패킷의 헤더에 모든 슬롯에서 수신한 차량의 ID와 슬롯 상태 정보, 메시지 종류를 포함한다. ID는 MAC 주소 기반이기 때문에 최대 6 bytes이고, 추가적으로 상태 정보에 2비트를 사용하고 있어서 오버헤드가 크지만 논문에서는 헤더 크기로 인한 오버헤드에 대해 자세히 언급하지 않고 있다. 반면, 본 논문에서 제안하는 기법은 한 슬롯 당 1 bit를 할당하기 때문에 총 12 bytes로 상대적으로 작은 헤더를 사용한다.

#### IV. 성능 분석

본 장에서는 NS-3 시뮬레이터를 사용하여 본 논문에서 제안한 슬롯 정보 공유 기법과 STDMA, IEEE 802.11p의 도로 환경에 따른 처리량, 패킷 수신율(Packet Reception Ratio, PRR) 성능을 비교하였다. 이때, 도로 환경이란 숨겨진 노드 문제가 발생하지 않는 도로 상황과, 4차선 고속도로, 도심의 교차로 환경을 포함하며, 모든 도로는 양방향을 가정하였다.

손실 패킷은 기법 간의 차이를 비교하기 위해 메시지 충돌로 인한 패킷 손실만을 카운트한다.

PRR은 (받은 패킷의 수) / (받은 패킷의 수 + 손실 패킷의 수) \* 100 (%)로 계산하며, 처리율은 (받은 패킷의 수 / 전체 노드의 수 / 시뮬레이션 시간 \* 300 (bytes) / 1024) (kB/s)이다.

통신 범위 이내의 차량 수는 (받은 패킷의 수 + 손실 패킷의 수) / (보낸 패킷의 수)로 계산한다.

그 외의 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

그림 4와 5는 숨겨진 노드 문제가 발생하지 않는 도로 환경에서의 처리량과 패킷 수신율을 나타내는 그래프이다. 이 환경에서는 숨겨진 노드 문제가 발생하지 않도록 도로의 크기를 통신 범위보다 작은 60m로 설정하였다. 통신 범위는 신호 세기 감쇄로 인한 패킷 손실이 전혀 일어나지 않는 범위로, Nakagami 전파 손실 모델을 적용하였을 때 60~70m 이내의 범위에 해당한다. 숨겨진 노드 문제가 있는 환경을 실험하기 전에, 숨겨진 노드 문제가 없는 환경에서는 경쟁 기반 슬롯 점유기법의 우수성을 확인할 수 있다. 제안 기법은 송신하기 전에 다른 노드가 송신중인지 확인

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Frequency	5.9 GHz
Channel bandwidth	10 MHz
Modulation	BPSK, QPSK
Data rate	6 Mbps
Packet generation frequency	10 Hz
Payload size	300 bytes
Topology length	2.5 km
Topology	1-hop highway / Highway / Urban
Average vehicular speed	100 km/h (1-Hop highway, highway) / 30 km/h (Urban)
Number of nodes in a transmission range	10 to 90 nodes
Propagation loss model	Nakagami
Transmission range	300 m
Simulation time	20 s
Repetition	5 times

하므로 감지가 가능한 범위 내에서 충돌을 피할 수 있는 경쟁방식의 장점과, 시간 슬롯을 점유한 뒤로는 동일 슬롯에서 충돌이 발생하기 전까지 전송을 보장받는 TDMA의 장점을 동시에 갖는다. 경쟁을 통해 시간 슬롯을 점유하더라도 지속적으로 캐리어 신호를 감지하여 충돌을 방지한다. 따라서 숨겨진 노드 문제가 발생하지 않는 그림 4, 5의 결과는 타 기법에 비해 상대적으로 높은 패킷 수신율과 처리율을 보이는 제안기법의 장점을 잘 보여주고 있다.

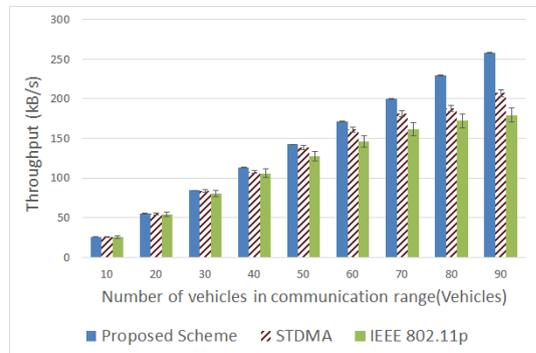


그림 4. 숨겨진 노드 문제가 발생하지 않는 도로 환경에서의 처리율  
Fig. 4. Throughput on highway environments where hidden terminal problems don't occur

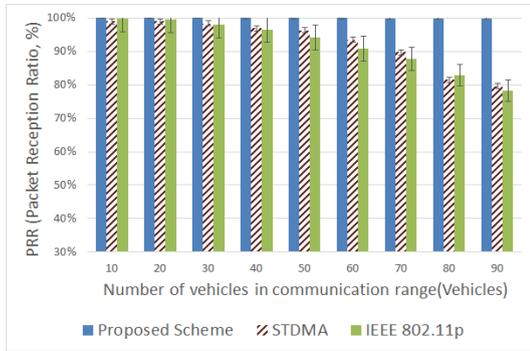


그림 5. 숨겨진 노드 문제가 발생하지 않는 도로 환경에서의 패킷 수신율  
Fig. 5. PRR on highway environments where Hidden terminal problems don't occur

그림 6과 7은 고속도로 환경에서의 처리량과 패킷 수신율을 나타낸 그래프이다. 처리율은 통신범위에 차량이 90대까지 증가함에 따라 IEEE 802.11p가 약 140kB/s에 수렴하여 세 기법 중 가장 낮은 성능을 나타내었고, STDMA는 190kB/s에, 제안 기법은 220kB/s에 근접하였다. 패킷 수신율에서는 제안기법이 통신범위 안에 70대의 차량이 존재할 때에도 90%

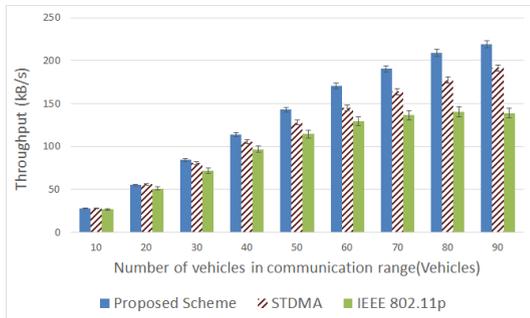


그림 6. 고속도로 환경에서의 처리율  
Fig. 6. Throughput on highway environments

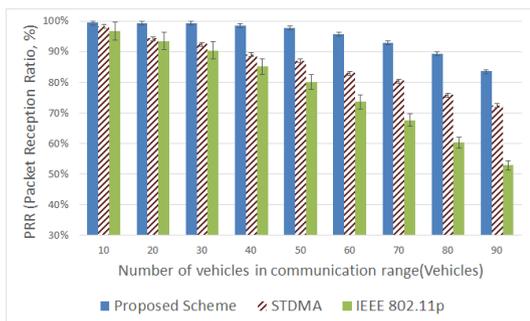


그림 7. 고속도로 환경에서의 패킷 수신율  
Fig. 7. PRR on highway environments

이상의 가장 높은 성공률을 보여준다.

그림 8과 9는 도심 모델에서의 처리율과 패킷 수신율을 나타내는 그래프이다. 802.11p는 처리율이 120kB/s에 수렴하고, 패킷 수신율은 40%대까지 떨어져 노드가 증가함에 따른 성능 하락이 뚜렷하게 나타나고 있다. STDMA는 슬롯 정보 공유 기법에 비해서는 대체적으로 낮은 성능을 보였고, 슬롯 정보 공유 기법은 혼잡하지 않은 환경에서 특히 높은 처리율과 패킷 수신율을 나타내었다.

고속도로의 통신 범위 이내에 90대의 차량이 존재하는 고밀도 환경에서 제안기법의 수신율이 83.6%인 것에 비해 도심 환경에서는 69.8%로 성능 감소가 크게 나타나는데, 본 연구에서 토폴로지 간에 성능 차이가 나타나는 현상의 원인을 파악하기 위해 이동속도에 따른 성능 변화를 측정하였다. 그 결과, 이동속도는 패킷 수신율과 처리율에 영향을 거의 미치지 않았으며, 성능에 영향을 미치는 주요한 요인은 교차로의 존재에 따른 밀도 차이인 것으로 파악되었다.

그림 4-5와 그림 6-9의 패킷 수신율과 처리율 차이

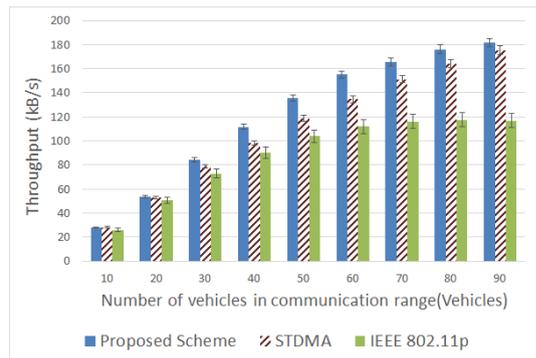


그림 8. 도심 환경에서의 처리율  
Fig. 8. Throughput on urban environments

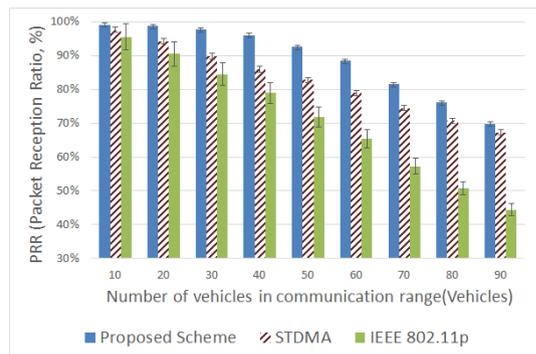


그림 9. 도심 환경에서의 패킷 수신율  
Fig. 9. PRR on urban environments

는 숨겨진 노드 문제에 의해 나타나는데, 도로 환경 전체에서 차량 간에 유사한 밀도를 나타내는 고속도로 환경과 비교했을 때에도 크게 감소하고, 특히 차량 밀집도가 높아질수록 성능 저하가 뚜렷하게 나타나고 있다. 고밀도 환경에서 제안기법이 99.9%에서 83.6%로 16.3% 감소하였고, STDMA가 79.6%에서 72.4%로 7.2%, IEEE 802.11p는 78.2%에서 52.9%로 25.3% 감소하였다. 통신 범위 이내의 차량 수 30대 이하의 저밀도 환경에서는 제안 기법이 99% 이상의 높은 패킷 수신율을 보이면서 92%에서 90%까지 저하되는 타 기법에 비해, 숨겨진 노드 문제에 대처하는 슬롯 정보 교환 기법의 효과를 보여주고 있다. 60대 이하의 중간 밀도의 환경에서도 83%에서 73%까지 저하되는 타 기법에 비해 95% 이상의 높은 패킷 수신율을 나타낸다. 제안기법은 패킷 정보 공유 기법을 통해 저밀도 환경에서 숨겨진 노드 문제를 해결하였고, 고밀도 환경에서도 기존의 기법에 비해 높은 처리량과 패킷 수신율을 나타내고 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 V2X 표준과 기존 연구들의 한계점을 극복하기 위한 경쟁 기반의 슬롯 정보 공유 TDMA 기법을 제안하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였고, 96개 슬롯의 상태 정보를 12 bytes의 낮은 헤더로 공유하여 특히 저밀도 환경에나 타내었다.

본 논문의 시뮬레이션에서는 실제 도로 환경과 유사한 Nakagami 전파 손실 모델을 사용하고 있어, 거리가 멀어짐에 따라 손실 모델에 의한 패킷 손실률이 높아진다. 또한 간섭에 의한 패킷 손실이 발생하는, 보다 현실적인 실험 환경에서 시뮬레이션을 진행하였다. 하지만 제안기법은 손실 모델로 인해 슬롯 점유 상태를 잘못 판단하는 문제에 대한 대안이 적용되지 않았으므로 이후에 이 문제를 해결하는 방안에 대한 연구가 추가될 것이다.

## References

[1] L. Zhou, J. W. Watts, and T. Nakamoto, *The Rise of Safety Innovations in Intelligent Mobility*(2013), Retrieved, Jan. 31, 2013, from <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/deloitte-review/issue-12/the-rise-of-safety-innovations-in-intelligent-mobility.html>

[2] C. Qi, D. Jiang, and L. Delgrossi, "IEEE 1609.4 DSRC multi-channel operations and its implications on vehicle safety communications," in *Proc. IEEE VNC 2009*, Tokyo, Japan, Oct. 2009.

[3] H. Lans, *Position Indicating System*, Patent: US patent 5,506,587, 1996.

[4] ETSI TR 102 862 V1.1.1 (2011-12) Intelligent Transport Systems (ITS); *Performance Evaluation of Self-Organizing TDMA as Medium Access Control Method Applied to ITS*; Access Layer Part.

[5] M. A. Abu-Rgheff, G. Abdalla, and S. M. Senouci, "SOFT MAC: Space-Orthogonal frequency-time medium access control for VANET," in *Proc. IEEE GITS 2009*, pp. 1-8, Hammamet, Tunisia, Jun. 2009.

[6] H. A. Omar, W. Zhuang, and L. Li, "VeMAC: A TDMA-based MAC protocol for reliable broadcast in VANETs," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 12, no. 9, pp. 1724-1736, Sept. 2013.

[7] M. Hadded, et al., "A fully distributed TDMA based MAC protocol for vehicular Ad Hoc networks," *IFIP PEMWN 2015*, Hammamet, Tunisia, Nov. 2015.

[8] W. Cho, "Hybrid MAC scheme for vehicular communications," *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 2013, Jan. 2013.

윤 여 훈 (Yeo-Hoon Yoon)



2015년 8월 : 아주대학교 미디어학 학사  
 2015년 8월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학 석사과정  
 <관심분야> 차량통신시스템, 정보중심네트워크

**이 응 규 (Eung-Kyu Lee)**



2016년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학 학사  
2016년 2월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학 석사과정  
<관심분야> 차량통신시스템, 소프트웨어 정의 네트워킹

**송 유 승 (Yoo-Seung Song)**



2001년 : Wichita State University 박사 졸업  
2005년 5월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
2011년 1월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 겸임교수  
2001년 10월~2005년 4월 : 삼성전자 통신연구소 책임 연구원  
<관심분야> 차량통신, C-ITS, WAVE, 5G

**정 우 성 (Woo-Sung Jung)**



2007년 8월 : 아주대학교 전자공학, 정보 및 컴퓨터공학 학사(복수전공)  
2009년 8월 : 아주대학교 정보통신공학 석사  
2015년 8월 : 아주대학교 컴퓨터공학과 박사

2015년~2016년 : 미국 PSU 포스트닥 연구원  
2016년 7월~2017년 1월 : 네오리플렉션 기술이사  
2017년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
<관심분야> Wireless Network, Embedded system, IoT, Device-to-Device communication

**고 영 배 (Young-Bae Ko)**



1991년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학 학사  
1995년 2월 : 아주대학교 경영정보학(MIS) 석사  
2000년 7월 : 미국 Texas A&M University (College Station) 컴퓨터공학 박사  
2000년 8월~2002년 8월 : 미국 IBM T.J Watson 연구소 전임연구원  
2002년 9월~2011년 : 아주대학교 정보통신대학 정보컴퓨터공학부 조/부교수  
2012년~현재 : 아주대학교 정보통신대학 소프트웨어학과 정교수  
<관심분야> 이동 애드혹 네트워크, Connected Cars, 무인 이동체 네트워킹(Drone Networking), 사물인터넷(IoT)