

VANET에서 V2I/V2V 협력 기반 멀티채널 MAC 프로토콜

허성만*, 유상조^o

Multi-Channel MAC Protocol Based on V2I/V2V Collaboration in VANET

Sung-Man Heo*, Sang-Jo Yoo^o

요 약

네트워크(Vehicular Ad-hoc Networks; VANET) 기술은 텔레매틱스/지능형 교통시스템을 구축하여 실시간 정보를 수집 및 공유하여 교통 체증 완화, 교통사고 예방뿐만 아니라, 차량 안에서 인포테인먼트(Infotainment) 서비스를 제공한다. 요구하는 서비스 증가로, 고정된 프레임 안에서 한정된 자원을 사용하는 기존의 기술은 효율적인 차량통신 서비스에 한계가 있다. 따라서 주변 상황에 따라 유연한 동작의 프로토콜 설계와 정보를 효율적으로 인식, 예측, 분배, 공유를 할 수 있도록 적응적인 설계가 필요하다. 본 논문에서는 차량과 RSU(Road Side Units) 기반의 V2I(Vehicle to Infrastructure) 구조와 차량간 통신 V2V(Vehicle to Vehicle) 구조를 상호 결합하여 차량 통신에 할당된 자원을 보다 효율적으로 관리, 사용하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 성능 평가를 통해 제안된 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지 전송을 통해 높은 자원 이용률을 달성할 수 있음을 보였고, 제어정보를 넓은 범위의 신속한 전송을 위한 최적 전송 기회 시간과 2차 릴레이 차량 전송 확률 값을 도출하였다.

Key Words : VANET, WAVE, DSRC, V2I/V2V collaboration, MAC protocol, multi-channel

ABSTRACT

VANET technologies provide real-time traffic information for mitigating traffic jam and preventing traffic accidents, as well as in-vehicle infotainment service through Telematics/Intelligent Transportation System (ITS). Due to the rapid increasement of various requirements, the vehicle communication with a limited resource and the fixed frame architecture of the conventional techniques is limited to provide an efficient communication service. Therefore, a new flexible operation depending on the surrounding situation information is required that needs an adaptive design of the network architecture and protocol for efficiently predicting, distributing and sharing the context-aware information. In this paper, Vehicle-to-Infrastructure (V2I) based on communication between vehicle and a Road Side Units (RSU) and Vehicle-to-Vehicle (V2V) based on communication between vehicles are effectively combined in a new MAC architecture and V2I and V2V vehicles collaborate in management. As a result, many vehicles and RSU can use more efficiently the resource and send data rapidly.

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0301-14-1042)

^o 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2014R1A2A2A01002013)

• First Author : School of Information and Communication Engineering, Inha University, sungman0311@gmail.com, 학생회원

^o Corresponding Author : School of Information and Communication Engineering, Inha University sjyoo@inha.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2014-09-361, Received September 26, 2014; Revised December 7, 2014; Accepted December 15, 2014

The simulation results show that the proposed method can achieve high resource utilization in accordance. Also we can find out the optimal transmission relay time and 2nd relay vehicle selection probability value to spread out V2V/V2I collaborative schedule message rapidly.

I. 서론

최근 자동차 기술이 발전됨에 따라, 과거의 단순한 기계 분야를 벗어나 전자, 통신 기술 분야의 융합으로 다양한 부가적인 기능을 수행할 수 있게 되었다. 이로 인해 차량 운행의 안전성, 편리성과 인포테인먼트의 제공을 위해 차량 네트워크(VANET: Vehicular Ad-hoc Network) 기술이 개발이 되어 연구되고 있으며, 차량 ITS 서비스를 제공하기 위해, 미국 연방통신위원회(FCC: Federal Communication Commission)는 5.9GHz 전용 주파수 대역에 75 MHz DSRC(Dedicated Short Range Communication) 대역폭을 할당하며, 동시에 여러 단체가 표준화 연구를 진행하고 있다. 대표적으로 IEEE 802.11p와 IEEE 1609 표준을 기반으로 발전된 웨이브(WAVE: Wireless Access in Vehicular Environment)가 있으며, 차량의 빠른 이동성과 짧은 연결 시간의 특성에 적합하게 설계되었다.^[1] 또한, 국제 표준화 기구인 ISO(International Standard Organization)는 TC204 WG16에서 차량 통신과 인프라 표준 연구를 진행하고 있다.^[2]

기존의 VANET 연구는 차량간 또는 차량과 기존 네트워크와의 신뢰성 있는 통신 환경을 제공하기 위한 네트워크 구조와 차량을 이용한 다양한 응용을 제공하기 위한 방안에 집중되어 왔다. 최근 상황 인식(context-aware) 기술을 적용하여 실시간 변화하는 운전자 및 차량의 상태, 주변 환경을 인지하여 사고 예측 및 대처 방법과 운전자의 관심사항을 스스로 파악, 필요한 서비스를 적절히 제공하기 위한 상황 인식 기반 차량 네트워크에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있다.^[3] 이처럼 차량 운행에 요구되는 정보를 효율적으로 전달하기 위해서는 한정된 자원의 문제는 효율적인 채널 스케줄링과 자원 배분에 대한 기술 연구 통해 해결해야 한다.^[4]

차량 간(V2V), 노변 장치 간 또는 차량과 노변 장치 간(V2I) 서로가 협력하면서 차량에 제공될 수 있는 교통 안전, 인포테인먼트 서비스가 많아질 것으로 예상하고 있다. 국내외적으로 많은 연구기관들이 지능형 교통 시스템 및 협력 지능형 교통 시스템(Cooperative ITS, C-ITS) 개발에 힘을 기울이고 있으

나, 요구하는 정보의 양이 증가됨으로써, 향후 제공될 서비스 및 데이터 증가로 인한 할당된 자원의 부족이 예상되고 있다. 즉, 한정된 자원을 차량 통신 표준의 고정된 프레임 안에서 사용하는 기존의 기술은 효율적인 차량 통신 서비스에 한계가 있다.^{[5][6]} 이를 해결하기 위해, 토폴로지 및 환경 변화가 수시로 변하는 차량 통신에 맞추어 상황을 예측하고, 주변 상황 정보에 따라 유연한 동작의 프로토콜 설계가 필요하다. 또한, 상황에 대한 정보를 효율적으로 인식, 예측, 분배, 공유를 할 수 있도록 적응적인 상황 통신의 네트워크 구조 설계가 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문은 RSU(Road Side Unit)의 제어를 통해 지리적으로 멀티채널의 스케줄을 다르게 하여 서로간의 간섭을 줄여 채널 사용의 효율성을 높이고자 하였다. 그리고 릴레이 차량들을 통해 멀티채널의 스케줄이 다른 지역에 정보를 전달하여 전송 거리를 확장하는 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 VANET 표준 기술 연구와 기존 MAC 프로토콜 연구에 대해 살펴본다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 기법을 3장에 기술하며 4장에서 제안하는 MAC 프로토콜의 성능 평가 결과를 나타낸다.

II. 관련 연구

2.1 VANET 표준 기술 연구

미국에서는 미국 의회에서 IHVS (Intelligent Vehicle Highway System) 프로그램을 진행하는 ISTEА (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act)의 법안이 통과하면서 차량 통신 연구에 박차를 가하며, 미국 연방통신위원회는 5.0 GHz 전용 주파수 대역에 75MHz DSRC(Dedicated Short Range Communication) 대역폭을 할당하고 여러 단체가 표준화 연구와 동시에 VANET 연구가 활발히 진행하고 있다. 대표적으로 IEEE 802.11p와 IEEE 1609 표준을 기반으로 발전된 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)가 있다. 그 외에 국제 표준화 기구인 ISO는 TC204 WG16에서 차량 통신과 인프라 관련 표준을 정의하였다.

차량 통신의 표준 WAVE 참조 모델은 IEEE

802.11p에서 OFDM 기반으로 PHY와 MAC 계층을 규정하고 있다. IEEE 1609에서 정의된 MAC 모델은 멀티채널로 구성되어 있다. IEEE 1609.4는 멀티 채널 스위칭, IEEE 1609.3은 IPv6 네트워크 계층과 긴급 메시지 전송을 위한 WSMP(WAVE Short Message Protocol), IEEE 1609.2는 인증 및 보안 계층, IEEE 1609.1은 상위 응용 계층 표준을 규정한다. 채널 운용의 관리 정보를 위한 CCH(Control Channel) 단일 채널과 서비스를 제공하기 위한 SCH(Service Channel) 6개의 멀티채널을 통해 데이터를 전송한다.^[11]

멀티채널의 교대 동작의 스케줄링을 위해 CCH 인터벌 때는 모든 차량이 멀티채널의 운용 정보 및 안전 관련 정보를 위해 CCH의 동기를 맞추으로써 동작하게 된다. WSM(WAVE Short Message)는 CCH과 SCH 두 채널에서 전송 가능하며, IP datagram은 SCH에서만 전송한다. 또한, CCH과 SCH 앞부분에는 guard interval이 있어 채널 스위칭과 다른 장비와 타이밍을 조절하는데 역할을 한다. ISO TC204 WG16은 초기 짧은 거리의 통신 방식인 DSRC(Dedicated Short Range Communication)에 대한 연구를 시작으로 중장거리 통신인 CALM(Continues Air interfeace-Long and Medium range)로 연구가 진행 중이다. 해당 연구는 7개의 Sub-Working group으로 나누어 architecture, data link, network, probe data, application, Emergency notification, Non-IP Network, Security 등에 관한 표준화 연구가 진행 중이다.^[12]

2.2 VANET MAC 프로토콜 기술 연구

멀티채널의 교대 동작 스케줄링을 위해 모든 차량이 멀티채널의 운용 정보 또는 SCH의 채널 할당을 받기 위해 CCH의 동기를 맞추으로써 동작하게 된다. 이 때, 서로의 경쟁으로 전송의 기회를 갖기 때문에 차량 밀도가 높거나 환경이 나쁘면 데이터 전송을 보장하기 어렵게 된다. 따라서 메시지 전송 기회의 평등한 분배와 데이터 전송의 보장을 향상하기 위해서, 프레임의 상황에 따라 유연한 구조로 변경 가능한 형태로 설계하는 연구가 요구된다. 더불어 VANET 연구에서는 프레임의 기능별 분할, 데이터 종류에 따른 분할 등을 고려하여 탄력적인 스케줄링으로 한정된 자원을 최대한 효율적으로 사용하여 데이터 전송의 QoS 개선을 할 수 있는 MAC 프로토콜 구조 설계가 핵심 과제이다. 차량 통신의 MAC 프로토콜 구조 설계 연구는 다음과 같은 연구가 진행되고 있다.

경쟁을 통한 자원 할당 예약은 한 차량이 데이터

전송에 필요로 하는 시간만큼 예약한 time slot 안에서 데이터 전송을 보장할 수 있다. 하지만 이런 경우에도 CSMA/CD 방식 또는 라운드 모니터링을 통해 예약하는 방법을 하게 되며 그로 인해 슬롯 예약의 경쟁에 대한 오버헤드가 발생되고 예약할 수 있는 slot의 제한으로 모든 차량을 수용할 수 없는 경우가 발생한다. 논문 [7][8]에서는 CCH을 안전 메시지를 전송하는 구간과 WAVE 서비스 메시지를 전송하는 WSA 구간으로 나누어 차량의 수에 따라 구간의 길이를 조절하는 프로토콜을 제안하였으며, 논문 [9]의 DMMAC 프로토콜은 안전 메시지 또는 제어메시지는 CCH의 ABF 구간에서 예약하여 전송하고, CRP 구간은 SCH 사용을 예약하는 경쟁 기반으로 구성하였다. 그리고 논문 [10]에서 제안한 DR-MMAC은 CCH와 SCH의 모든 구간을 contention-free 채널 접속 방법으로 서비스의 QoS를 보장하였고, 논문 [11]은 beacon 메시지의 발생 시점에 대한 제한을 없애고, 각 노드의 beacon 메시지가 CCH 구간 전체에 분산되는 브로드캐스팅 시스템을 제시하여 메시지 전송률을 개선하였다. 또한, 논문 [12]은 밀집에 따라 CCH와 SCH의 구간을 조절하여 안전메시지의 전송 성공률을 향상시키는 방법을 제안하였다. 논문 [13]은 차량의 속도를 이용하여 도로 위 차량 밀도를 예측하여 슬롯의 수, 전파세기를 조절하여 향상된 통신 상태를 만드는 방법을 제안하였다. 또한 차량은 기본적으로 GPS를 장착하고 있기 때문에, GPS의 위치 기반으로 방향이 다른 차량과 RSU로 구분하여 각 프레임을 분배할 수 있다. 그리고 RSU를 기준으로 지역 범위에 따라 각 채널의 이용할 수 있는 채널 또는 기능을 제한함으로써 MAC 프로토콜을 설계하거나^[14-16], 데이터에 따른 자원 할당으로 차량의 환경(밀집도, 처리량, 데이터 종류 등)에 따라 CCH와 SCH의 길이를 조절하는 방법이 있다. 예를 들어, 데이터 분석을 통해, 데이터의 종류를 구별하고 데이터의 비중에 따라 time 프레임을 분할하여 할당하는 방법을 사용할 수 있다. 이러한 경우에는 빅데이터, 온톨로지, 마코브 체인, 게임 이론 등으로 각 데이터의 양을 예측하여 각 라운드 또는 시간적으로 데이터의 비율에 따라 자원을 분배한다. 또한, 차량의 빠른 이동 속도로 토폴로지가 수시로 변화하면서 각 차량의 통신 링크 유지 시간이 짧고 ad-hoc의 특성 때문에 숨은 터미널 문제로 채널의 할당에 충돌을 야기할 수 있으며, 방향성으로 채널 할당의 충돌 시간이 길수도 있고 짧을 수 있다. 그러므로 서로의 정보를 공유를 하면서, 상황과 환경에 따라 미리 예측하여 자원을 할당해야 하며 이를 위해, 다양한

파라미터들을 정의하고 많은 경우의 수를 고려해야 한다.

III. 채널 효율성 향상을 위한 V2I/V2V 협력 MAC 프로토콜

3.1 V2I/V2V 협력 MAC 프로토콜 시스템 모델

본 논문에서는 차량 통신의 V2I 구조와 V2V 구조를 상호 협력하는 방식을 제안하였다. RSU 범위 안에 있는 차량은 V2I 스케줄로 동작하고, RSU 범위 밖에 있는 차량은 V2V 스케줄로 동작하여 서로간의 간섭을 줄임으로써 멀티채널의 효율성을 높이는 MAC 프로토콜을 제안한다. V2I와 V2V의 스케줄을 협력적으로 동작하기 위해, RSU 또는 노변장치는 자원을 관리, 차량의 채널 할당과 스케줄링 제어의 역할을 수행한다. RSU는 V2I 통신 범위 안에 있는 차량 중에 릴레이 차량을 지정한다. 선정된 릴레이 차량은 V2V 스케줄에서 V2I 스케줄 정보와 상황 인식 정보를 전달하여 V2V 영역의 차량이 V2I 영역으로 진입할 경우, V2I 스케줄로 동작하게 유도하고 V2I 영역의 상황을 미리 파악하여 교통의 안전성을 향상시키고자한다.

제안된 V2I/V2V 협력적 멀티채널 구조는 그림 1에서와 같이 V2I와 V2V의 통신 영역을 공간적으로 구별하면서 시간에 따라 V2I CCH(V2V CCH)과 V2I SCH(V2V SCH)의 주기를 교대로 채널을 사용하며 서로의 간섭 영역을 최소화한다. 그리고 V2I 또는 V2V 각 해당 영역에 위치한 모든 차량은 안전메시지, 채널 제어 메시지를 송수신하기 위해, 차량이 위치한 영역의 CCH의 동기를 맞추으로써 동작한다. 각 차량들은 자신의 데이터를 전송하기 전에 RSU의 메시지 또는 이웃 차량의 메시지를 전송받아 해당 지역의 멀티채널 스케줄에 동기화하여 동작한다. 그리고 각 CCH 동안, 서비스를 제공하는 차량 또는 RSU는 자신이 전송 할 SCH에 대한 정보를 공유하고, 해당 서

비스를 이용하고자 하는 사용자인 차량 또는 RSU는 전송된 정보의 SCH에 조정하여 서비스를 제공받는다. 이러한 과정에서 CCH를 통해 전송되는 메시지는 송신 차량의 정보를 포함하고 있으며, 이 정보를 수신한 차량은 이웃 차량에 대한 테이블을 완성하게 된다. 즉, 전송되는 정보를 통해 이웃 차량의 위치, 방향, 속도 등의 정보를 보유할 수 있으며, 테이블을 공유하면서 2-hop의 이웃 차량 정보도 알 수 있다. 그러므로 RSU는 V2I 영역으로 진입하는 차량을 예측 할 수 있으며 해당 지역의 차량 밀집도를 추정할 수 있다. 각 차량은 표 1과 같이 정보 테이블을 가지고 있으며, CCH 동안에 이웃에게 받은 정보를 기반으로 정보 테이블을 완성한다.

표 1. 차량 *i*의 정보 테이블
Table. Vehicle *i*'s Information Table

Vehicle ID	<i>i</i>		
Vehicle Information			
1 st Relay Vehicle	Yes / No		
2 nd Relay Vehicle Probability	$0 \leq p \leq 1$		
Channel Information			
Service Channel Information	SCH_1	...	SCH_6
ACL (Available Channel List)	Yes/ No	...	Yes/ No
ASL (Available Slot Information)	$slot_1 \dots slot_n$...	$slot_1 \dots slot_n$
Neighbor Information			
NL (Neighbor List)	N_1	...	N_i
Vehicle Location	Latitude /Longitude	...	Latitude /Longitude
Vehicle Direction	Left / Right	...	Left / Right
NCI (Neighbor Channel Information)	SCH_1	...	SCH_6
NSI (Neighbor Slot Information)	$slot_1 \dots slot_n$...	$slot_1 \dots slot_n$

3.2 V2I 프레임 구조

V2I 프레임 구조는 그림 2와 같다. CCH는 RSU의 Beacon 인터벌과 경쟁 구간인 CAP(Contention Access Period) 인터벌, 비경쟁 구간인 CFP(Contention Free Period) 인터벌으로 구성되어 TDMA 방식으로 동작한다. CCH 단일 채널과 SCH 멀티 채널은 서로 교대하며 주기적으로 반복하여 동작한다. CCH 인터벌과 SCH 인터벌 시작부분의 guard interval은 라디오 스위칭과 다른 장비 간의 부정확한 타이밍을 조절하는 역할을 한다.

V2I CCH에는 RSU의 beacon이 두 차례 전송되며, 각 CCH의 처음과 끝 부분에 고정적으로 슬롯을 차지하여 해당 V2I/V2V 협력 스케줄 정보, 릴레이 차량 선정 정보, 차량의 자원 할당 정보, 안전 메시지를 전

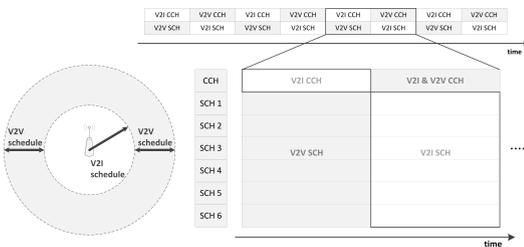


그림 1. V2I/V2V 영역과 V2I/V2V의 협력적 멀티 채널 구조
Fig. 1. V2I/V2V area and V2I/V2V collaborative multi-channel architecture

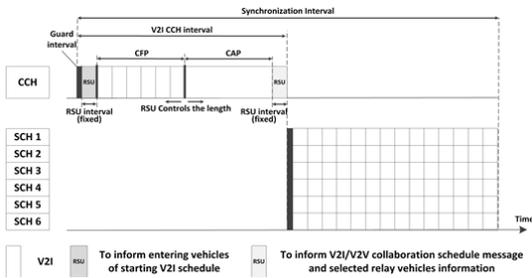


그림 2. V2I 프레임 및 멀티 채널 구조
Fig. 2. V2I frame and multi-channel architecture

달한다. V2I CCH의 첫 번째 RSU의 beacon은 새롭게 진입하는 차량에게 V2I 통신 영역으로 진입했다는 것을 브로드캐스트로 알리고, 해당 beacon을 받은 차량 중, RSU 통신 범위에 새롭게 진입한 차량은 V2V 스케줄에서 V2I 스케줄로 전환하여 동작한다.

V2I CCH에서 두 번째 RSU의 beacon은 차량들이 요청한 SCH의 정보, RSU에서 인지한 안전 메시지, V2V 영역으로 전달하는 선택된 차량 정보를 브로드캐스트로 전송한다. 릴레이 차량으로 선정된 차량은 두 번째 RSU의 beacon을 전송 받은 후, 유니캐스트로 RSU에게 릴레이 차량의 역할에 대한 응답한다. 그 다음 릴레이 차량은 V2V CCH에서 RSU로부터 전송 받은 정보를 RSU 범위 밖에 있는 V2V 차량에 전송한다.

첫 번째 RSU의 beacon 후, CFP 구간이 시작한다. CFP 구간은 RSU 범위 안에 있는 긴급 차량들에 배정되는 구간이다. CFP은 해당 슬롯의 사용 권한이 없는 차량은 접속을 제한하며, RSU로부터 사용 권한을 할당 받은 차량이 해당 슬롯을 사용한다. 긴급 차량이란, 경찰차, 구급차 또한, 운전자의 상태, 차량의 상태 등의 상황 인식 정보를 기반으로 긴급한 정보를 전송해야 하는 차량과 안전 메시지의 전송 빈도가 높은 차량에게 고정적인 자원을 할당하여 안전 메시지 또는 우선순위가 높은 데이터를 다른 차량과 경쟁 없이 보장된 전송을 한다. CFP의 슬롯 획득은 CAP에서의 요청하며, 요청한 V2I CCH의 다음 V2I CCH 구간의 CFP를 할당받는다. 만약 CFP의 슬롯을 요청하는 차량이 없을 경우, CFP은 배정되지 않으며, 그만큼 CAP 구간이 증가한다.

CAP 구간은 V2I 영역 범위 안의 차량이 CSMA/CD 메커니즘을 사용하여 여러 차량이 경쟁을 통해 V2I의 네트워크 등록과 동시에 V2I SCH의 자원을 배정 받기 위한 메시지 또는 안전 메시지가 전송한다. V2I SCH의 자원 배정을 위한 메시지를 전송하기

전에, RTS/CTS/ACK를 전송하여 숨은 터미널 문제를 방지하며 안전 메시지는 브로드캐스트로 전송한다.

3.3 V2V 프레임 구조

V2V 프레임 및 채널 구조는 그림 3과 같다. V2I 영역을 제외한 V2V 영역에서의 프레임 구조로써, guard interval과 CAP 인터벌, SBTD(Scheduled Broadcast Time Duration), SRBID(Scheduled RSU Beacon Time Duration)으로 구성되어 있다. V2V CCH 프레임의 guard interval 다음으로 SBTD 구간 동안 RSU가 선정한 1차 릴레이 차량과 1차 릴레이 차량으로부터 정보를 받은 V2V 영역의 이웃 차량 중 p 의 확률로 2차 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 전송한다. SBTD은 V2I/V2V 협력 스케줄 정보와 RSU의 안전 메시지를 V2V 영역의 차량에 브로드캐스트로 전달하기 위한 시간이다. RSU는 교통의 상황에 따른 차량의 밀집도에 따라 SBTD의 구간 사이즈와 2차 전송 확률 p 를 조절하여 V2V 영역에 있는 많은 차량에게 해당 정보를 전달하기 위한 최적의 SBTD 사이즈와 확률 p 로 조절한다.

SBTD 동안 1차 릴레이 차량 또는 2차 릴레이 차량으로부터 정보를 전달받은 차량은 V2I의 CCH와 SCH 프레임 스케줄을 알 수 있다. SBTD 이후부터 V2V의 차량들은 경쟁을 통해 안전 메시지 또는 V2V SCH 할당에 대한 요청 메시지를 전송 할 수 있다. SRBTD은 V2V 영역에 있는 차량 중, SBTD 동안 V2I/V2V 협력 스케줄 정보를 받은 차량이 CCH에 머무르는 시간이다. 즉, SBTD 동안 릴레이 차량의 V2I/V2V 협력 스케줄 정보를 전송 받은 차량은 기존의 V2V CCH 인터벌 시간에서 V2V SCH 인터벌로 바로 이동하지 않고, SRBTD 동안 CCH에 머물러 V2I CCH의 첫 번째 RSU의 beacon을 전송 받도록 대기한다. 만약 SRBTD 동안에 RSU의 beacon을 직접 받은 차량은 V2I 스케줄로 변경하여 동작하고,

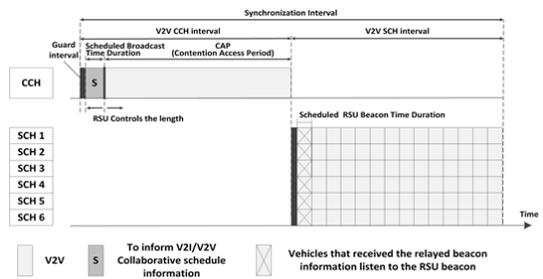


그림 3. V2V 프레임 및 멀티 채널 구조
Fig. 3. V2V frame and multi-channel architecture

V2I CCH에서 CAP 동안 RSU에 등록 절차를 실행한다. 반대로 SRBTD 동안에 RSU의 메시지를 받지 못하는 차량은 V2V 스케줄로 동작하여 V2V SCH로 이동한다. V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 한번이라도 받은 차량은 V2V CCH에서 SRBTD를 추가로 적용하여 RSU의 beacon을 전송 받도록 대기하여 V2I/V2V 협력 스케줄에 따르도록 유도한다.

3.4 릴레이 차량 선택

릴레이 차량은 V2I/V2V 협력을 위한 스케줄 정보와 안전 메시지를 V2V 영역에 있는 차량에 전달하여 보다 더 넓은 범위에 있는 차량에게 전송하는 역할을 하며 차량과 RSU 또는 차량 간의 멀티채널의 스케줄 동기화를 유도한다. 그리고 RSU가 V2I 범위 안의 차량 중에 1차 릴레이 차량을 선정한다. V2I CCH의 CAP 동안, V2I 차량은 안전 메시지 또는 SCH의 할당 받기 위해 beacon 메시지를 전송하면 RSU의 이웃 차량 리스트에 등록된다. 1차 릴레이 차량은 차량의 beacon 메시지가 RSU에게 성공적으로 전송된 차량 중에 선정한다. 그리고 RSU는 V2I CCH 마다 매번 릴레이 차량을 선정할 수도 있다.

1차 릴레이 차량은 V2V 영역 안의 이웃 차량 수와 차량의 위치 정보를 기반으로 선정되어 최대한 많은 V2V 영역의 이웃 차량에게 RSU의 스케줄 정보와 긴급메시지가 전송될 수 있도록 선정된다. 차량은 GPS를 통해 자신의 위치와 방향을 알 수 있으며, 이러한 정보는 beacon 메시지에 포함되어 전송한다. 그리고 각 차량들은 이웃 차량이 전송한 beacon 메시지로 테이블이 완성된다. RSU는 범위 안에 있는 차량들이 전송한 beacon을 통해 2-hop 차량의 이웃 정보를 알 수 있으며, 2-hop 차량의 위치, 방향성 정보로 V2I 영역에 진입하는 이웃 차량의 수를 판단할 수 있다. 그래서 V2I 영역의 차량 중 V2V 영역의 이웃차량이 많은 차량이 1차 릴레이 차량으로 선택된다.

그림 4의 도로 구조인 경우, V2V 영역은 RSU를 기준으로 좌우로 배치되어 있다. 즉, RSU에서 전송되는 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지의 1차적인 릴레이 전송을 위해 도로 좌우측에 있는 2대의 릴레이 차량이 선정되며, Vehicle A와 Vehicle B가 1차 릴레이 차량으로 선정된다. RSU는 차량으로부터 전송 받은 이웃 차량 리스트와 RSU의 이웃 차량 리스트를 비교를 하여, 차량 i 이웃으로 V2I 영역으로 진입하는 차량의 수를 측정하고 다음과 같이 표현한다.

$$vehicle_N_i - (RSU_N \cup RSU_preN) = PV_N_i$$

$vehicle_N_i$ 는 차량 i 의 이웃 차량 리스트, RSU_N 는 RSU의 이웃 차량 리스트, RSU_preN 는 RSU의 이전 이웃 차량 리스트이며 PV_N_i 는 V2I 영역으로 진입하는 차량 리스트이다. 위의 식으로 PV_N_i 인 V2I 영역으로 진입하는 차량 리스트를 알 수 있다. 첫 번째로, PV_N_i 의 리스트에 있는 이웃 차량의 수가 가장 많은 차량을 릴레이 차량으로 선택한다. 선정된 릴레이 차량 중, V2V 영역에 있는 이웃 차량 수가 같다면 차량의 위치가 RSU로부터 거리가 더 멀거나 차량의 방향이 곧 V2V 영역으로 진입하는 차량이 1차 릴레이 차량으로 선정된다. RSU가 선정한 1차 릴레이 차량은 V2I CCH의 두 번째 RSU의 beacon을 전송 받고, RSU가 정한 슬롯에서 릴레이 차량의 역할에 대한 여부를 응답한다. 1차 릴레이 차량에 대한 응답을 한 차량은 V2I CCH이 끝나도 해당 CCH에 머물러 V2V CCH에서 받은 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 V2V CCH 인터벌의 SBTD이 시작하자마자 가장 높은 우선순위로 자신의 이웃 차량에게 재전송한다. 2차 릴레이 차량은 1차 릴레이 차량의 이웃차량 중에 p 의 확률로 선정 되어 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 SBTD 동안 경쟁을 통해서 재전송한다. 이러

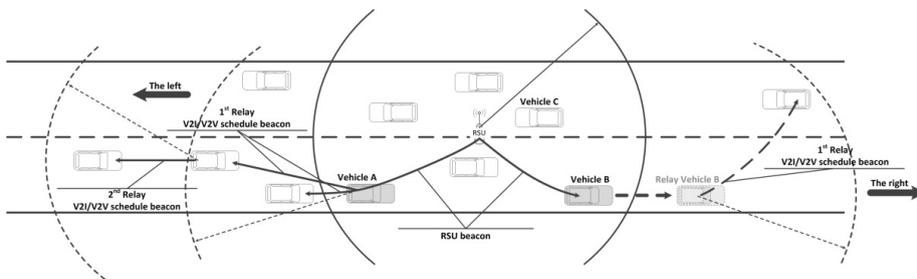


그림 4. 1차 릴레이 차량과 2차 릴레이 차량 동작 과정
Fig. 4. 1th relay vehicle and 2nd relay vehicle operation process

한 2차 릴레이에 대한 확률 p 와 SBTD의 길이는 RSU에서 측정을 한 차량의 밀집도에 따라 결정된다.

3.5 동작 과정

RSU는 가속하는 차량의 속도 제한 또는 도로의 상황에 따른 차량 속도를 조절, 교통 흐름을 제어 할 수 있으며, 도로에 사고 발생을 감지하였을 경우, 사고에 따른 조치를 취할 수 있도록 메시지를 전송한다. 또한, RSU는 중앙에서 V2I CCH 동안 차량으로부터 받은 정보를 종합한 상황 판단으로 각 차량에 대한 채널 할당, 스케줄링을 제어하며, 릴레이 차량을 선정하여 V2I/V2V 협력구조를 수행 할 수 있는 정보를 전송한다. RSU를 이용한 V2I/V2V 협력 스케줄 동작은 그림 5와 같다. V2I 영역으로 새롭게 진입한 차량은 SRBTD동안 RSU의 beacon을 전송받으면서 V2I 영역에 진입했다는 것을 감지한다. RSU의 beacon을 전송 받은 차량은 V2V 스케줄에서 V2I 스케줄로 변경하고 CAP에서 경쟁을 통해 자신의 정보를 RSU에 전

송한다. RSU는 V2I CCH 동안 여러 차량으로부터 전송 받은 정보를 분석하여, V2I SCH의 슬롯을 할당하고 1차 릴레이 차량을 선정한다. 그 다음, RSU는 V2I CCH의 두 번째 RSU의 beacon을 통해 V2I SCH 할당 정보와 선정된 1차 릴레이 차량의 정보를 브로드캐스트로 전송한다. 선정된 릴레이 차량은 RSU가 정해 준 슬롯에서 릴레이 차량 동작에 대해 응답한다. RSU에 응답을 한 1차 릴레이 차량은 V2I SCH로 채널을 곧바로 이동하지 않고, V2V CCH의 SBTD에서 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 전송한다. 1차 릴레이 차량은 V2V CCH의 SBTD에서 최우선으로 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 V2V 영역의 이웃 차량에 전송하고 다시 V2I 스케줄로 동작을 한다. 1차 릴레이 차량의 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 전송 받은 V2V 영역의 차량은 p 의 확률로 SBTD 동안 경쟁을 통해 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 재전송하여 보다 더 넓은 범위로 전송한다. 그리고 릴레이 차량으로부터 정보를 받은 V2V 영역의 차량들은 V2I 영역으로 진입하는 것을 고려하여 SCH에서의 데이터 전송 여부를 결정한다. 그림 6은 CCH 프레임 과정을 나타내고 있다. 차량 C는 CFP 구간을 할당 받아 해당 구간에서 경쟁 없이 메시지를 전송 할 수 있다. CFP 구간 후, CAP 구간에서는 각 차량들이 경쟁을 통해 메시지를 전송한다. 그리고 RSU는 RSU의 두 번째 슬롯에서 1차 릴레이 차량으로 차량 A를 선정한 정보를 브로드캐스트로 전달한다. 해당 브로드캐스트를 받은 차량 A는 이에 응답 메시지를 전송하여, 1차 릴레이의 역할을 맡게 된다. 차량 A는 V2I CCH 구간이 끝나면 V2I SCH로 곧바로 변경하지 않고, V2V CCH의 SBTD까지 CCH에 남아서 V2V 영역의 차량에게 V2I/V2V 협력 메시지를 전송한 후, V2I SCH로 이동

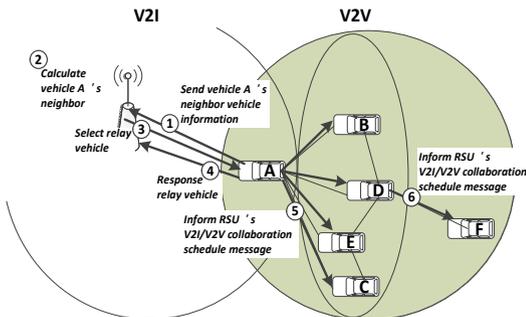


그림 5. V2I/V2V 협력 메시지 전송 과정
Fig. 5. V2I/V2V collaboration message transmission process

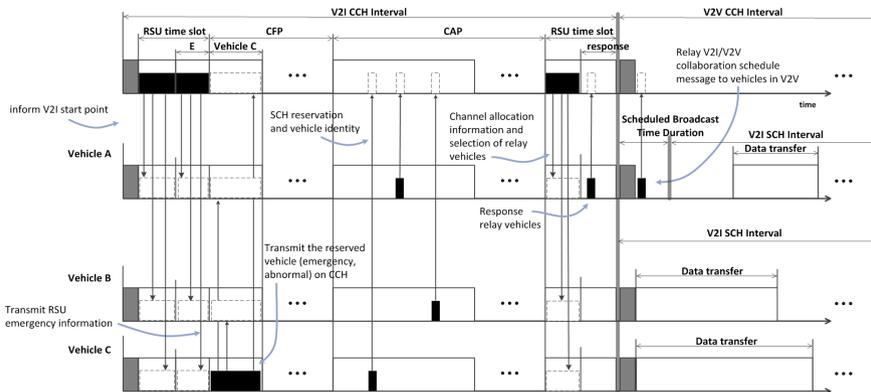


그림 6. 프레임 동작 과정
Fig. 6. frame operation process

하여 데이터를 전송하게 된다.

IV. 모의 실험 및 성능평가

본 장에서는 제안된 V2I/V2V 협력 멀티 채널 MAC 프로토콜의 성능을 검증하기 위해 MATLAB을 이용하여 성능평가를 수행한다. 실험을 통해 모의 실험 환경에서 차량의 밀집도에 따른 최적의 SBTD 인터벌 값, 2차 릴레이 차량의 p 의 값, V2V 범위 안의 차량 전송 실패율과 그에 따른 지연에 대한 결과를 도출하였다. 본 장에서의 실험은 주로 V2I 및 V2V의 CCH 채널을 통한 제어정보 전송에 국한하여 수행하였다. SCH 서비스 채널의 경우 자원할당 모델에 따라 다른 처리율을 보일 수 있으나, 본 논문에서와 같이 RSU 범위 밖의 V2V 차량들이 V2I의 프레임 구조 타임 정보를 활용하여 V2I의 CCH 동작기간 V2V 차량이 SCH를 사용하면서 기존 방법에 비해 처리율을 약 2배 이상의 향상시킬 수 있다.

4.1 모의 실험 환경

모의실험에서 사용한 파라미터는 표 2과 같다. 네 트워크 전체 크기는 18000m x 20m로 4차선 고속도로의 구조로 구현했다. RSU는 도로의 중앙에 위치하였으며, RSU의 전송 범위에 따라 중앙을 기준으로 좌우 총 600m를 V2I 영역으로 설정하고, V2I 영역을 제외한 양 옆 부분을 V2V 영역으로 설정했다. 전체 차량 수는 50, 100, 200대로 각각 변경하였으며, 차량의 분포는 무작위로 V2I 영역과 V2V 영역에 균등하게 배치하였다. 차량은 실험 시간동안 한대의 차량이

해당 영역 범위를 벗어나면, 그 만큼의 차량이 추가로 영역 범위로 진입하여 총 차량의 수는 변하지 않도록 구현했다. V2I CCH와 V2V CCH는 시간에 따라 교대로 동작을 하며, V2V 영역에 있는 차량 또는 해당 도로에 새롭게 진입하는 차량은 V2V CCH를 센싱하여 1차 릴레이 차량 또는 2차 릴레이 차량이 전송하는 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 전송 받는다. V2I CCH 인터벌은 RSU의 beacon 인터벌을 제외하고 CAP로 구현하여 차량의 beacon을 전송한다. 해당 구간에서 beacon 전송을 성공한 차량 중에서 1차 릴레이 차량을 선정하고, 1차 릴레이 차량의 이웃 중에 2차 릴레이 차량이 될 확률 p 와 SBTD 사이즈를 조절하여 결과를 분석하였다.

4.2 제안한 V2I/V2V 협력 멀티채널 MAC 프로토콜 성능평가

그림 7은 차량 50대, 100대와 200대의 경우에 대해 SBTD의 인터벌과 2차 릴레이 전송 확률 p 를 조절하여, 각 SBTD의 사이즈에 따른 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지의 평균 전송률의 차이를 분석하였다. SBTD의 사이즈가 길수록 전반적으로 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지의 평균 전송 성공률이 증가되는 것을 알 수 있다. 또한, 각 SBTD에 따른 평균 전송 성공률은 공통적으로 2차 릴레이 전송 확률 p 값이 증가할수록 평균 전송 성공률이 높아지다가 일정 p 의 확률 값부터 낮아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 p 의 값이 낮으면 2차 릴레이 차량의 수가 적게 되고, 그만큼 많은 이웃 차량으로 메시지의 전달 가능성이 낮기 때문에 낮은 전송률을 나타낸다. 또한, 릴레이 차량이 적정 수보다 많이 증가하면 메시지 전송에 충돌의 빈도수가 증가하여 전송률이 낮아진다.

그림 7(a)에서는 SBTD가 1ms인 경우, 50대, 100대, 200대 순으로 높은 전송 성공률을 보이고 있으며, 차량의 수가 많아질수록 2차 릴레이 차량이 많아져, 충돌의 빈도수가 높아지기 때문에 충돌이 적은 50대인 경우는 78.76%로 전송 성공률을 보이는 반면, 200대인 경우는 69.6%로 낮은 전송 성공률이 나타난다. 100대와 20대는 20%의 2차 릴레이 차량의 전송 확률부터 충돌의 빈도수가 증가되면서 전송 성공률은 떨어지고 있으며, 200대는 50대, 100대보다 충돌의 빈도수가 더욱 증가되어 전송성공률의 그래프가 급격하게 떨어지는 것으로 나타난다. 그림 7(b)는 각 SBTD의 길이가 2ms인 경우로, 2차 릴레이 전송을 보낼 수 있는 시간이 길어져 SBTD가 1ms인 경우보다 더 많은 차량이 2차 릴레이를 전송할 수 있다. 그렇기 때문

표 2. 시뮬레이터 파라미터
Table 2. Simulation parameters

Parameter	Value
Highway length	1.8 km
Average vehide speed	100 km/h
Standard deviation of vehide speed	20 km/h
Transmission range (RSU/Vehide)	300 m
CCH and SCH interval	50 ms
Guard interval	4 ms
SIFS time	32 μ s
DIFS time	58 μ s
RTS/CTS/ACK packet size	58 byte
Beacon packet size	450 byte
Transmission rate	12 Mbps

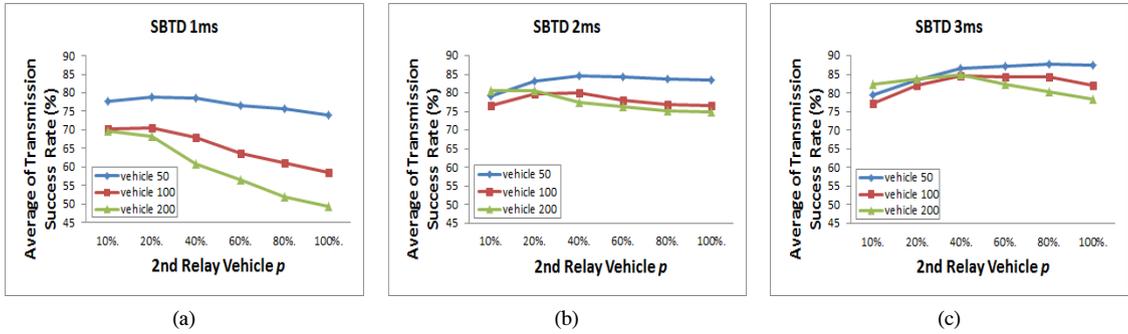


그림 7. Scheduled Broadcasted Time Duration가 1, 2, 3ms 일 때, 평균 V2I/V2V 협력 메시지 전송 성공률
Fig. 7. Average of transmission success rate on different Scheduled Broadcast Time Duration size

에 50대와 100대가 배치된 환경에서 SBTD가 1ms일 때보다 2차 릴레이 전송 확률 p 가 높은 40%일 때 84.53%, 79.98%으로 최대 평균 전송 성공률을 나타낸다. 200대인 경우, 10%의 2차 릴레이 차량의 전송 확률일 때, 평균 전송 성공률이 80.74%으로 50대와 100대보다 높은 전송률을 나타냈다. 이 이유는, 차량의 수가 많아지면 2차 릴레이 차량의 수가 증가되어 충돌의 빈도수가 늘어나지만, 최대한 멀리 전송할 수 있는 위치인 차량이 2차 릴레이 차량으로 선택될 수 있는 폭이 넓어지기 때문이다. 그림 7(c)는 각 SBTD의 길이가 3ms인 경우로, 2차 릴레이 전송 확률 p 가 50대는 80%, 100대는 40% 그리고 200대는 40%에서 각각 87.73%, 84.56% 84.82%으로 평균 전송 성공률로 나타내며, SBTD가 1ms, 2ms일 때보다 전반적으로 평균 전송 성공률이 높아진 것을 나타낸다.

그림 8은 차량의 수, 2차 릴레이 전송 확률 p 와 SBTD의 변화에 따른 V2V 영역 안에 있는 차량이 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지 전송을 한번도 받지 못한 실패율을 나타낸다. RSU의 영역에서 거리상으로 멀리 떨어져 있고, 반대 방향으로 이동하는 차량에이 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 전송 받지 못하면 전

송 실패가 발생된다. 차량의 수와 상관없이 공통적으로 SBTD의 시간이 길어질수록 전송 실패율은 줄어드는 반면, 2차 릴레이 전송 확률 p 가 증가하면서 충돌의 빈도수가 증가하면서 실패율이 증가되는 것을 나타낸다. 차량의 수가 200대인 경우, 차량의 수가 많아지면서 다양한 위치에 있는 차량을 2차 릴레이 전송 차량으로 선정할 수 있어 100대인 환경에서 보다 적은 실패율을 나타내며, 50대인 경우는 충돌이 빈도수가 적기 때문에 100대보다 적은 실패율이 나타낸다.

그림 9는 SBTD의 시간에 따라 V2V 영역의 차량이 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지를 전송 받기까지의 지연 시간을 나타낸다. RSU에서 1차 릴레이 차량을 통해 전송하기까지 최소 50ms의 지연이 발생하게 되며, V2V안의 차량이 2차 릴레이 차량 전송 범위 안으로 이동하는데 지연이 발생하게 된다. 그림 9(a)에서는 SBTD이 1ms인 경우를 나타내며, 100대인 경우는 50대인 경우보다 충돌 빈도수가 더 많이 발생하기 때문에 지연이 크게 발생한다. 200대인 경우, 다양한 위치의 2차 릴레이의 선정으로 넓은 범위로 전송할 수 있는 가능성이 높아지기 때문에 2차 릴레이 전송 확률 p 가 낮아도 50대와 200대보다 지연이 적지만, 40%

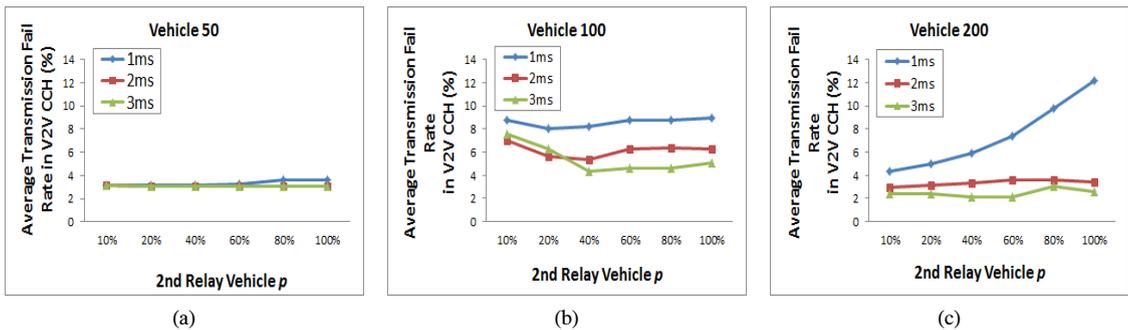


그림 8. 차량의 수가 50, 100, 200대인 경우, V2V 영역 안 차량의 평균 V2I/V2I 협력 메시지 전송 실패율
Fig. 8. Average transmission fail rate on different the number of vehicles

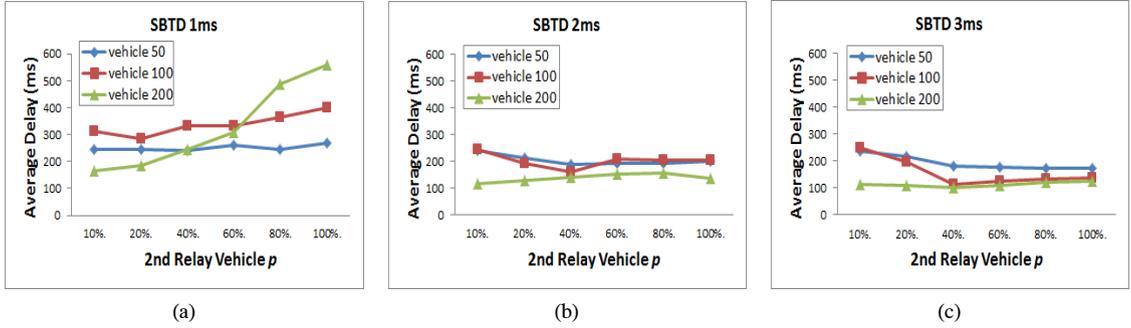


그림 9. Scheduled Broadcast Time Duration이 1, 2, 3ms인 경우, V2I/V2V 협력 스케줄 메시지 전송의 지연
Fig. 9. Average delay on different Scheduled Broadcast Time Duration size

이상이 되면 충돌 빈도수가 커지면서 지연이 커지는 것으로 나타낸다.

그림 10은 최상의 2차 릴레이 전송 확률 p 가 정해진 상태에서 각 SBTD에 대해 측정된 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지의 평균 전송 성공률을 나타낸다. SBTD 시간이 길수록 평균 전송 성공률은 높아지는 것으로 나타낸다. 또한, SBTD가 1ms인 경우에는 차량이 많을수록 충돌이 많이 발생하기 때문에 차량의 수가 증가하면서 성공률이 떨어지는 것으로 나타낸다. SBTD가 2ms 이상부터는 많은 2차 릴레이 차량이 전송할 수 있는 시간이 되면서 100대와 200대와 비슷한 평균 전송 성공률을 나타낸다. 그림 11은 각 SBTD에서 최상의 2차 릴레이 전송 확률 p 일 때, 측정된 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지의 평균 전송 지연을 나타낸다. SBTD 시간이 길어지고 차량의 수가 증가하면서 평균 전송 지연이 줄어드는 것을 나타나고 있다. 이는 차량의 수가 증가하면서 다양한 위치에 차량이 분포되고, 2차 릴레이 차량의 수가 증가하면서 넓은 범위로 신속한 전송이 이루어지기 때문이다.

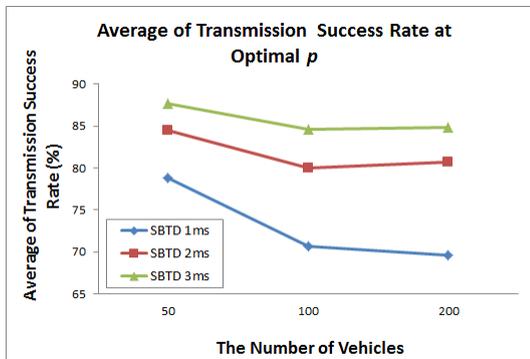


그림 10. 최상의 2차 릴레이 전송 확률 p 에서의 평균 전송 성공률
Fig. 10. Average of transmission success rate at optimal p

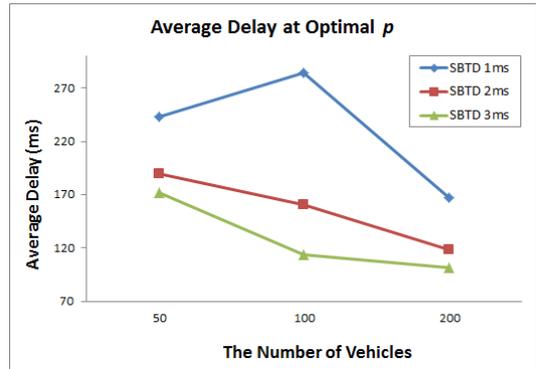


그림 11. 최상의 2차 릴레이 전송 확률 p 에서의 평균 지연
Fig. 11. Average delay at optimal p

V. 결론

본 논문에서는 VANET 환경에서 상황인지 데이터를 V2I 범위 밖 차량에게 효율적으로 신속히 전송하고 V2I 및 인접 V2V 네트워크 차량이 동시에 자원을 공유하여 전체적인 데이터 전송률을 높이기 위한 V2I/V2V 협력 멀티채널 MAC 프로토콜을 제안하였다. V2I와 V2V의 협력을 위해, RSU는 릴레이 차량을 선정하고 V2V 영역의 이웃 차량에 정보를 전달한다. 릴레이 차량으로부터 해당 정보를 전달받은 V2V 영역의 차량 중에, 해당 영역의 차량의 수에 따라 2차 릴레이 차량의 전송 확률을 설정하여 적절한 SBTD 시간 동안 재전송하는 방법을 통해 더욱 신속하게 넓은 범위로 정보를 전파할 수 있다. 성능 평가를 통하여 차량의 수에 따른 SBTD와 2차 릴레이 차량 전송 확률을 변화하며 V2V 범위 안에 있는 2차 릴레이 차량의 V2I/V2V 협력 스케줄 메시지 전송 성공률, 전송 지연 시간과 같은 다양한 파라미터를 측정했다. 그 결과 각 파라미터 조합에서 최상의 SBTD 값과 1차 릴

레이 전송 확률 p 의 값을 도출하여 RSU에서 전송되는 V2V/V2I 협력 스케줄 메시지를 신속하게 전달할 수 있었다. 제한한 V2I/V2V 협력 스케줄 방법은 안전 메시지를 신속하게 전달하여 차량 네트워크 운용에 있어서 안정적인 차량 운행과 제어를 유도할 수 있으며, V2V와 V2I의 스케줄을 달리하는 동작은 차량의 많은 데이터 전송을 분산하면서, 하나의 스케줄로 동작보다 데이터 전송을 분산하면서 채널의 효율성을 높일 수 있다. 하지만, 차후에는 다양한 파라미터를 파악하고 이를 최적화할 방안에 대한 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] IEEE, *IEEE standard for wireless access in vehicular environments (WAVE- multichannel operation*, IEEE Std. 1609.4, Feb. 2011.
- [2] Communications in Cooperative Intelligent Transport Systems-CALM for C-ITS, <http://calm.its-standards.info>. (2014)
- [3] S. Al-Sultan, A. Al-Bayatti, and H. Zedan, "Context aware driver behaviour detection system in intelligent transportation systems (ITS)," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 62, no. 9, pp. 4264-4275, Nov. 2013.
- [4] K. Abrougui, A. Boukerche, and R. W. N. Pazzi, "Design and evaluation of context-aware and location-based service discovery protocols for vehicular networks," *IEEE Trans. Intelligent Transportation Syst.*, vol. 12, no. 3, pp. 717-735, Sept. 2011.
- [5] S. Zeadally, R. Hunt, Y.-S. Chen, A. Irwin, and A. Hassan, "Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges," *Telecommun. Syst. (Online First)*, pp. 1-25, Dec. 2010.
- [6] H. T. Cheng, H. Shan, and W. Zhuang, "Infotainment and road safety service support in vehicular networking: From a communication perspective," *Mechanical Syst. Signal Process.*, vol. 25, no. 6, pp. 2020-2038, Aug. 2011.
- [7] Q. Wang, S. Leng, H. Fu, and Y. Zhang, "An enhanced multi-channel MAC for the IEEE 1609.4 based vehicular ad hoc networks," *INFOCOM*, Mar. 2010.
- [8] Q. Wang, S. Leng, H. Fu, and Y. Zhang, "An IEEE 802.11 p-based multichannel MAC scheme with channel coordination for vehicular ad hoc networks," *IEEE Trans. Intell. Transportation Syst.*, vol. 13, no. 2, pp. 1-10, Jun. 2011.
- [9] N. Lu, Y. S. Ji, F. Q. Liu, and X. H. Wang, "A dedicated multi-channel MAC protocol design for VANET with adaptive broadcasting," in *Proc. WCNC*, pp. 1-6, Apr. 2010.
- [10] N. Lu, X. Wang, P. Wang, P. Lai, and F. Liu, "A distributed reliable multichannel MAC protocol for vehicular ad hoc networks," in *Proc. IEEE Intell. Veh. Symp.*, pp. 1078-1082, Jun. 2009.
- [11] D. Jeong, "Modeling of the distributed broadcasting in IEEE 802.11p MAC based vehicular network," *J. Commun. Networks (JCN)*, vol. 38, no. 11, pp. 924-933, Nov. 2013.
- [12] D. Kim, H. Yoo, and D. Kim, "Density-aware dynamic channel allocation for safety message in VANETs," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.2011 (KICS ICC 2011)*, pp. 176-177, Nov. 2011.
- [13] D. Lee, S. Chang, and S. Lee, "Velocity based self-configuring time division broadcasting protocol for periodic messages in vehicle to vehicle communication," *J. Commun. Networks (JCN)*, vol. 39, no. 3, pp. 169-179, Mar. 2014.
- [14] Q. Liu, X. Wang, and G. B. Giannakis, "A cross-layer multihop data delivery protocol with fairness guarantees for vehicular networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 55, no. 3, pp. 839-847, May 2006.
- [15] K. Liu, J. Guo, N. Lu, and F. Liu, "RAMC: A RSU-assisted multi-channel coordination MAC protocol for VANET," *GLOBECOM*, pp. 1-6, Dec. 2009.
- [16] H. 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.

허 성 만 (Sung-Man Heo)



2012년 8월 : 인하대학교 정보통신공학과(공학사)
2012년 9월~현재 : 인하대학교 정보통신공학부 석사과정
<관심분야> Vehicular Ad-hoc Network, Sensor Network, Cognitive Radio, Policy based Networks

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)



1988년 2월 : 한양대학교 전자통신학과(공학사)
1990년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
2000년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
1990년 3월~2001년 2월 : KT 연구 개발본부
2001년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신공학부 교수
<관심분야> 무선 네트워킹 프로토콜, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive Radio Network, 무선 센서네트워크, 미래인터넷